

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

HỒ VĂN HIẾN

# HỆ THỐNG ĐIỆN TRUYỀN TẢI và PHÂN PHỐI

(Tái bản lần thứ nhất có sửa chữa, bổ sung)

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - 2005

## MỤC LỤC

<i>Lời nói đầu</i>	13
<i>Chương 1</i>	
CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN	15
1.1 Mở đầu .....	15
1.2 Cấp phân phối của hệ thống điện .....	16
1.3 Hệ thống phân phối hình tia.....	17
1.4 Hệ thống mạch vòng thứ cấp .....	19
1.5 Mạch vòng sơ cấp .....	20
1.6 Hệ thống mạng điện phân phối thứ cấp .....	21
1.7 Hệ thống mạng điện sơ cấp.....	23
1.8 Cấp truyền tải phụ của hệ thống điện.....	24
1.9 Trạm biến áp phân phối.....	26
1.10 Cấp truyền tải của hệ thống điện .....	29
1.11 Cấp liên hợp hệ thống.....	32
1.12 Các bài toán chính của hệ thống điện .....	33
1.13 Giới thiệu hệ thống điện Việt Nam .....	34
<i>Chương 2</i>	
THÔNG SỐ ĐƯỜNG DÂY VÀ CÁP	38
2.1 Các đặc tính của dây dẫn .....	38
A. ĐIỆN CẢM CỦA DÂY TRUYỀN TẢI ĐIỆN	45
2.2 Các hệ thức cơ bản của điện cảm.....	45
2.3 Điện cảm và bán kính trung bình nhân của dây dẫn.....	48
2.4 Điện cảm của đường dây một pha.....	50
2.5 Điện cảm của đường dây ba pha .....	51
2.6 Đường dây đơn ba pha đối xứng.....	52
2.7 Đường dây đơn ba pha hoán vị.....	53
2.8 Đường dây ba pha lộ kép .....	54
2.9 Dùng bảng để tra cảm kháng của dây dẫn .....	55
B. ĐIỆN DUNG CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN	60
2.10 Điện trường đối với bán cực song song, điện tích điểm và dây dẫn hình trụ .....	60
2.11 Điện dung của đường dây một pha.....	62
2.12 Điện dung của đường dây ba pha đối xứng .....	63

2.13	Điện dung của đường dây lô kép.....	65
C.	TỔN HAO VÀNG QUANG CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN - ĐIỆN DẪN TÁC DỤNG CỦA ĐƯỜNG DÂY	67
2.14	Hiện tượng vàng quang và tổn hao do vàng quang .....	67
D.	ĐIỆN TRỞ CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN	70
2.15	Điện trở dây dẫn .....	70
2.16	Khả năng mang tải của dây dẫn trên không.....	71
E.	CÁC THÔNG SỐ CỦA ĐƯỜNG DÂY CÁP NGẦM	72
2.17	Điện trở và cảm kháng của cáp ngầm.....	73
2.18	Điện dung của đường dây cáp.....	77
	BÀI TẬP CHƯƠNG 2.....	81
<i>Chương 3</i>		
MÔ	HÌNH ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN VÀ KHẢO SÁT VẬN HÀNH	84
3.1	Mở đầu .....	84
3.2	Truyền tải điện ba pha .....	84
3.3	Đường dây truyền tải ngắn.....	85
3.4	Đường dây có chiều dài trung bình .....	86
3.5	Đường dây tải điện dài .....	88
3.6	Mạch tương đương của đường dây dài.....	94
3.7	Cách tính hằng số mạch $\bar{A}$ , $\bar{B}$ , $\bar{C}$ , $\bar{D}$ , của đường dây tải điện .....	96
3.8	Mô hình mạch điện một đường dây dài.....	101
3.9	Tính toán vận hành đường dây tải điện ngắn .....	102
3.10	Tính toán đường dây biểu diễn theo sơ đồ hình $\pi$ .....	110
3.11	Phương trình công suất của đường dây .....	114
	BÀI TẬP CHƯƠNG 3.....	118
<i>Chương 4</i>		
BIỂU	DIỄN CÁC PHẦN TỬ CỦA MẠNG ĐIỆN	122
4.1	Biểu diễn máy phát điện đồng bộ .....	122
4.2	Thanh cái vô hạn .....	125
4.3	Biểu diễn máy biến áp.....	125
4.4	Sơ đồ một sợi (đơn tuyến) .....	136
4.5	Biểu diễn các phần tử của mạng điện trong hệ đơn vị có tên.....	137
4.6	Biểu diễn các phần tử của mạng điện trong hệ đơn vị tương đối.....	139

4.7 So sánh đơn vị có tên và đơn vị tương đối .....	145
BÀI TẬP CHƯƠNG 4.....	146
<i>Chương 5</i>	
PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	151
5.1 Mở đầu .....	151
5.2 Ma trận tổng dẫn thanh cái ( $Y_{BUS}$ hay $Y_{TC}$ ) và ma trận tổng trở thanh cái ( $Z_{BUS}$ hay $Z_{TC}$ ).....	151
5.3 Các phép biến đổi ma trận trong mạng điện .....	153
5.4 Các phương pháp toán số chọn lọc.....	168
5.5 Định nghĩa bài toán phân bố công suất .....	179
5.6 Phân biệt các loại điểm nút trong hệ thống điện.....	180
5.7 Các phương trình cơ bản.....	180
5.8 Khảo sát phân bố công suất dùng ma trận $Y_{TC}$ bằng phép lặp Gauss – Seidel .....	185
5.9 Phân bố công suất dùng ma trận $Z_{BUS}$ bằng phép lặp Gauss–Zeidel .....	189
5.10 Phân bố công suất và phương pháp Newton– Raphson .....	190
5.11 Phương pháp phân lập Jacobi .....	199
BÀI TẬP CHƯƠNG 5.....	204
<i>Chương 6</i>	
ÁP DỤNG MATLAB VÀO HỘP CÔNG CỤ HỆ THỐNG ĐIỆN (POWER SYSTEM TOOLBOX)	210
6.1 Giới thiệu.....	210
6.2 Tính toán thông số đường dây.....	212
6.3 Mô hình đường dây .....	215
6.4 Tóm tắt các đặc trưng của đường dây tải điện .....	218
6.5 Bù đường dây.....	224
6.6 Các chương trình vận hành đường dây .....	228
6.7 Các chương trình phân bố công suất.....	237
6.8 Chương trình thành lập ma trận tổng trở thanh cái .....	250
6.9 Chương trình tính toán ngắn mạch không đối xứng .....	256
BÀI TẬP CHƯƠNG 6.....	266
<i>Chương 7</i>	
TÍNH TOÁN MẠNG PHÂN PHỐI	275
7.1 Mở đầu .....	275

7.2 Tính toán mạng điện hở và mạng điện kín đơn giản .....	275
7.3 Đường dây có phụ tải phân bố đều .....	294
7.4 Đường dây có phụ tải phân bố tăng dần.....	301
7.5 Các đặc trưng của đồ thị phụ tải .....	302
7.6 Tổn thất công suất trong máy biến áp.....	308
7.7 Tổn thất điện năng trong trạm biến áp.....	310
7.8 Chọn tiết diện dây trong mạng phân phối .....	314
<b>BÀI TẬP CHƯƠNG 7.....</b>	<b>321</b>
<i>Chương 8</i>	
<b>TÍNH TOÁN KINH TẾ HỆ THỐNG ĐIỆN</b>	<b>327</b>
8.1 Sự phát triển kinh tế của Hệ thống điện .....	327
8.2 Suất chi phí cố định hàng năm .....	331
8.3 Chi phí đầu tư.....	332
8.4 Chi phí vận hành hàng năm .....	332
8.5 Hàm mục tiêu trong so sánh phương án .....	337
8.6 Áp dụng tính tiết diện kinh tế của đường dây trên không và dây cáp .....	338
8.7 Lựa chọn tiết diện dây dẫn đường dây truyền tải trên không theo phạm vi kinh tế .....	340
<b>BÀI TẬP CHƯƠNG 8.....</b>	<b>343</b>
<i>Chương 9</i>	
<b>GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN</b>	<b>345</b>
9.1 Mở đầu .....	345
9.2 Tổn thất hệ thống tiêu biểu.....	346
9.3 Nguyên tắc phân tích tổn thất .....	347
9.4 Sự phân tán, công suất dự trữ và tổn thất trên tổn thất .....	348
9.5 Tính kinh tế của việc giảm tổn thất, lợi ích cho công ty .....	349
9.6 Các biện pháp giảm tổn thất điện năng .....	350
9.7 Nâng cao cosφ đường dây .....	352
9.8 Hệ số công suất kinh tế .....	359
9.9 Vận hành kinh tế trạm biến áp.....	361
9.10 Bù kinh tế trong mạng điện.....	362
9.11 Tính toán bù kinh tế bằng phương pháp ma trận .....	366
9.12 Bù công suất kháng trên đường dây phân phối .....	372

9.13 Phân bố dung lượng bù trong mạng điện xí nghiệp .....	379
9.14 Phân bố kinh tế công suất trong mạng điện kín.....	383
BÀI TẬP CHƯƠNG 9.....	388
<i>Chương 10</i>	
ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	391
10.1 Khái niệm chung về điều chỉnh điện áp.....	391
10.2 Điện áp sử dụng .....	391
10.3 Độ trễ điện áp.....	392
10.4 Những phương tiện để điều chỉnh điện áp trong hệ thống .....	393
10.5 Bù ngang trên mạng điện hình tia .....	394
10.6 Ảnh hưởng chính của tụ điện tĩnh bù ngang .....	497
10.7 Giảm điện kháng của đường dây - Bù dọc bằng tụ điện tĩnh.....	403
10.8 Điều chỉnh điện áp hệ thống phức tạp bằng cách đưa công suất kháng vào thanh cái .....	409
10.9 <b>Đầu phân áp của máy biến áp.</b> .....	414
10.10 <b>Chọn đầu phân áp của máy biến áp</b> .....	416
10.11 Máy biến áp điều khiển điện áp và góc pha .....	421
10.12 Các loại điều chỉnh điện áp.....	423
10.13 Bảo vệ quá kích thích bộ máy phát - máy biến áp .....	435
BÀI TẬP CHƯƠNG 10.....	436
<i>Chương 11</i>	
CÂN BẰNG CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ PHẢN KHÁNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	438
11.1 Sự phụ thuộc của tần số và điện áp vào cân bằng công suất.....	438
11.2 Sự cân bằng và dự trữ công suất tác dụng trong hệ thống điện .....	442
11.3 Sự cân bằng và dự trữ công suất phản kháng trong hệ thống .....	443
11.4 Phân bố thiết bị bù cưỡng bức trong mạng điện .....	443
11.5 Tính toán thực dụng bù cưỡng bức bằng phương pháp ma trận.....	445
<i>Chương 12</i>	
VẬN HÀNH KINH TẾ MÁY PHÁT	453
12.1 Mở đầu.....	453
12.2 Các ràng buộc về vận hành.....	453
12.3 Dự báo tải ngắn hạn.....	454

12.4	Sự phân bố kinh tế tải giữa các máy phát bên trong nhà máy .....	455
12.5	Kỹ thuật thừa số pha có xét tổn thất đường dây .....	459
12.6	Xác định phương trình tổn thất .....	460
12.7	Quá trình giải bài toán vận hành kinh tế .....	465
12.8	Biến đổi một hệ thống có m phụ tải thành một hệ thống có một phụ tải tổng hợp .....	473
12.9	Định thời biểu huy động của các tổ máy phát .....	475
	<b>BÀI TẬP CHƯƠNG 12 .....</b>	<b>478</b>
<i>Chương 13</i>		
	<b>XÁC ĐỊNH NHU CẦU ĐIỆN</b>	<b>479</b>
13.1	Mở đầu .....	479
13.2	Đồ thị phụ tải điện .....	480
13.3	Các định nghĩa và ký hiệu các đại lượng cơ bản .....	480
13.4	Các hệ số đặc trưng cho các thiết bị tiêu thụ điện và đồ thị phụ tải .....	483
13.5	Số thiết bị hiệu quả và cách xác định .....	497
13.6	Các phương pháp xác định phụ tải tính toán .....	501
13.7	Xác định phụ tải đỉnh nhọn .....	505
13.8	Trình tự tính toán phụ tải điện ở các cấp trong hệ thống .....	507
13.9	Sự phát triển của phụ tải điện .....	509
	<b>BÀI TẬP CHƯƠNG 13 .....</b>	<b>509</b>
<i>Chương 14</i>		
	<b>TRUYỀN TẢI ĐIỆN MỘT CHIỀU CAO ÁP (HVDC)</b>	<b>510</b>
14.1	Giới thiệu .....	510
14.2	Cấu hình hệ thống HVDC và các phần tử .....	511
14.3	Các phần tử của hệ thống truyền tải HVDC .....	512
14.4	Thuận lợi và không thuận lợi của hệ thống HVDC .....	514
14.5	Bộ biến đổi và các phương trình .....	515
14.5	Bộ biến đổi nhiều cầu .....	525
14.7	Điều khiển hệ thống HVDC .....	528
14.8	Ngắn mạch trên đường dây DC .....	533
14.9	Mô hình hệ thống HVDC .....	534
14.10	So sánh về kinh tế của hai đường AC và DC .....	543
14.11	Các dự kiến trong tương lai .....	545

## *PHẦN PHỤ LỤC*

### **PHỤ LỤC 1**

Bảng PL1.1. Đặc tính cơ lý của dây dẫn.....	546
Bảng PL1.2. Các số liệu tính toán của dây đồng và dây nhôm.....	547
Bảng PL1.3. Số liệu tính toán của dây nhôm lõi thép.....	548
Bảng PL1.4. Cảm kháng của đường dây trên không $\frac{\Omega \cdot 10^{-3}}{\text{km}}$ .....	549
Bảng PL1.5. Dung dẫn của đường dây trên không $\frac{1}{\Omega \text{km}} \cdot 10^{-6}$ .....	550
Bảng PL1.6. Điện trở và điện kháng của thanh cái phẳng .....	550
Bảng PL1.7. Thông số kỹ thuật của dây nhôm do hãng LENS (Pháp) chế tạo.....	551
Bảng PL1.8. Thông số kỹ thuật dây nhôm lõi thép do hãng LENS (Pháp) chế tạo .	552
Bảng PL1.9. Dây cáp nhôm lõi thép.....	553
Bảng PL1.10. Cáp hợp kim của nhôm lõi thép.....	554
Bảng PL1.11. Cáp đồng chất bằng nhôm hợp kim .....	555
Bảng PL1.12. Cảm kháng đường dây trên không.....	556
Bảng PL1.13. Dung dẫn đường dây trên không .....	558

### **PHỤ LỤC 2**

Bảng PL 2.1. Cáp 6 – 10 kV cách điện XLPE có đai thép vỏ PVC do hãng ALCATEL (Pháp) chế tạo.....	560
Bảng PL2.2. Cáp 12 – 24 kV cách điện XLPE có đai thép, vỏ PVC do hãng Alcatel chế tạo .....	561
Bảng PL2.3. Cáp nhôm hạ áp cách điện PVC do hãng LENS chế tạo .....	562
Bảng PL 2.4. Cáp đồng hạ áp 1, 2, 3 lõi cách điện PVC do LENS chế tạo .....	563
Bảng PL 2.5. Cáp đồng hạ áp 3, 4 lõi cách điện PVC do LENS chế tạo .....	564
Bảng PL 2.6. Cáp đồng 3 lõi 1,8 – 3 kV cách điện XLPE, đai thép, vỏ PVC do hãng FURUKAWA (Nhật) chế tạo.....	565
Bảng PL 2.7. Cáp đồng 3 lõi 3,6 – 6 kV cách điện XLPE, đai thép, vỏ PVC do hãng FURUKAWA chế tạo .....	566
Bảng PL 2.8. Cáp đồng 6 – 10 kV, 3 lõi cách điện XLPE, đai thép, vỏ PVC do hãng FURUKAWA chế tạo .....	567
Bảng PL 2.9. Cáp đồng 8,7 – 1,5 kV, 3 lõi, cách điện XLPE, đai thép, vỏ PVC do hãng FURUKAWA chế tạo .....	568

Bảng PL 2.10. Cáp đồng 3 lõi 12 – 24 kV cách điện XLPE, đai thép, vỏ PVC do hãng FURUKAWA chế tạo .....	569
Bảng PL 2.11. Cáp đồng 3 lõi, 18 – 36 kV, cách điện XLPE, đai thép, vỏ PVC do hãng FURUKAWA chế tạo .....	570
<b>PHỤ LỤC 3</b>	
Bảng PL 3.1. Dòng điện cho phép của dây không bọc (dây trần), A.....	571
Bảng PL 3.2. Dòng điện phụ tải cho phép của dây dẫn và dây chùm ruột đồng có cách điện bằng cao su và policlovinin, A .....	571
Bảng PL 3.3. Dòng điện phụ tải cho phép của dây dẫn ruột nhôm có cách điện bằng cao su và policlovinin, A .....	572
Bảng PL 3.4. Dòng điện phụ tải cho phép của cáp ruột đồng có cách điện bằng giấy tẩm nhựa thông và nhựa không chảy có vỏ chì hay nhôm đặt trong đất, A .....	572
Bảng PL 3.5. Dòng điện phụ tải cho phép của cáp ruột đồng có cách điện bằng giấy tẩm nhựa thông và nhựa không chảy, vỏ chì hay nhôm đặt trong không khí, A ....	573
Bảng PL 3.6. Dòng điện phụ tải cho phép của cáp ruột nhôm có cách điện bằng giấy tẩm nhựa thông và nhựa không chảy, vỏ chì hay nhôm đặt trong đất, A..	573
Bảng PL 3.7. Dòng điện phụ tải cho phép của cáp ruột nhôm có cách điện bằng giấy tẩm nhựa thông và nhựa không chảy, vỏ chì hay nhôm đặt trong không khí, A ....	574
Bảng PL 3.8. Dòng điện phụ tải cho phép của cáp có cách điện bằng giấy tẩm nhựa cách điện, vỏ bằng chất policlovinin (mã hiệu BM, BM, ABM, ABM) đặt trong đất, A .....	574
Bảng PL 3.9. Dòng điện phụ tải lâu dài cho phép của thanh cái bằng đồng và bằng nhôm (nhiệt độ tiêu chuẩn của môi trường xung quanh là +25°C ) .....	575
Bảng PL 3.10. Hệ số hiệu chỉnh $k_1$ về nhiệt độ của môi trường xung quanh đối với phụ tải của cáp, dây dẫn cách điện và không cách điện .....	576
Bảng PL 3.11. Hệ số hiệu chỉnh $k_2$ về số dây cáp cùng đặt trong một hầm cáp hoặc một rãnh dưới đất .....	576
<b>PHỤ LỤC 4</b>	
Bảng PL 4.1. Dây đồng cứng - AWG theo đơn vị MKS - Độ dẫn điện 100% .....	577
Bảng PL 4.2. Cáp đồng quấn đồng tâm - CM và AWG theo đơn vị MKS - Độ dẫn điện 100% .....	578
Bảng PL 4.3. Dây nhôm cứng - AWG theo đơn vị MKS - Độ dẫn điện 61% .....	579
Bảng PL 4.4. Đặc tính của dây đồng kéo cứng, độ dẫn điện 97,3% .....	580
Bảng PL 4.5. Dây nhôm lõi thép (ACSR) .....	582
Bảng PL 4.6. Đặc tính của dây cáp nhôm lõi thép (ASCR).....	584

Bảng PL4.7. Thành phần cảm kháng phân cách ( $x_{ik} = 0,00466f \log D_{ik}$ $\Omega/\text{mile}$ với $D_{ik}$ , feet, ở 60 Hz) .....	587
Bảng PL4.8. Thành phần dung kháng phân cách ( $x'_{ik} = \frac{4,1}{f} \log D_{ik}$ $M\Omega$ mile với $D_{ik}$ , feet, ở 60 Hz) .....	589
Bảng PL 4.9. Đặc tính của cáp ba lõi, có đai cách điện, cách điện bằng giấy, ở 60 Hz .....	591
Bảng PL 4.10. Đặc tính của cáp 3 lõi, có màn chắn, cách điện bằng giấy, ở 60 Hz.....	593
Bảng PL 4.11. Đặc tính của cáp một lõi, sợi quấn đồng tâm, cách điện bằng giấy, ở 60 Hz.....	594
Bảng PL 4.12. Dòng điện cho phép của cáp ba lõi, đai cách điện, cách điện bằng giấy .....	597
Bảng PL 4.13. Dòng điện cho phép của cáp ba lõi, có màn chắn, cách điện bằng giấy .....	600
Bảng PL 4.14. Dòng điện cho phép của cáp một lõi, cách điện bằng giấy.....	603
<b>PHỤ LỤC 5</b>	
Bảng PL 5.1. Máy biến áp ba pha hai cuộn dây do Nga chế tạo .....	610
Bảng PL 5.2. Thông số kỹ thuật máy biến áp phân phối do ABB chế tạo .....	611
Bảng PL 5.3. Trạm biến áp trọn bộ do SIEMENS chế tạo .....	612
Bảng PL 5.4. Máy biến áp ba pha hai cuộn dây do Việt Nam chế tạo .....	612
Bảng PL 5.5. Máy biến áp ba pha hai cuộn dây đặt ngoài trời.....	613
Bảng PL 5.6. Máy biến áp ba pha ba cuộn dây có EDDT đặt ngoài trời .....	614
Bảng PL 5.7. Máy biến áp ba pha loại hai cuộn dây đặt trong nhà .....	615
Bảng PL 5.8. Máy biến áp hai cuộn dây Thông số kỹ thuật của máy biến áp dầu hai cuộn dây.....	617
Bảng PL 5.9. Máy biến áp ba cuộn dây Thông số kỹ thuật của máy biến áp ba cuộn dây .....	624
Bảng PL 5.10. Thông số kỹ thuật của máy biến áp một pha .....	629
Bảng PL 5.11. Máy biến áp tự ngẫu Thông số kỹ thuật của máy biến áp tự ngẫu .	630
Bảng PL 5.12. Điện kháng máy biến áp và tổng trở (phần trăm trên cơ bản công suất định mức).....	635
<b>PHỤ LỤC 6</b>	
<b>BẢNG PL 6.1. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ</b>	636

Bảng PL 6.2. Một vài số liệu kỹ thuật của các máy phát điện tuốc bin nước kiểu BGC .....	640
Bảng PL 6.3. Một vài số liệu kỹ thuật của các máy phát điện tuốc bin nước kiểu CB.....	641
Bảng PL 6.4. Một vài số liệu kỹ thuật của các máy phát điện tuốc bin hơi hai cực kiểu T2 và TB .....	462
Bảng PL 6.5. Các thông số tiêu biểu của máy phát điện đồng bộ 3 pha .....	643
<b>PHỤ LỤC 7</b>	
Bảng PL 7.1. Thông số kỹ thuật của tụ điện bù $\cos\phi$ do Nga chế tạo .....	644
<b>PHỤ LỤC 8</b>	
Bảng PL 8.1. Tính toán các hằng số A, B, C, D đối với nhiều cách bố trí mạng điện.....	646
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>	649

## **Lời nói đầu**

**HỆ THỐNG ĐIỆN TRUYỀN TẢI VÀ PHÂN PHỐI** trình bày các vấn đề chính của hệ thống điện trong chế độ xác lập bao gồm:

- 1- Thông số đường dây, mô hình và tính toán vận hành đường dây
- 2- Khảo sát phân bố công suất
- 3- Tính toán mạng phân phối
- 4- Tốn thất điện năng và giám sát tốn thất điện năng
- 5- Điều chỉnh điện áp trong hệ thống điện
- 6- Vận hành kinh tế trong hệ thống
- 7- Xác định phụ tải điện
- 8- Truyền tải điện một chiều cao áp (HVDC).

Một trong những khó khăn của việc dạy và học giải tích hệ thống là không có được một hệ thống thực để khảo sát trong phòng thí nghiệm, vì vậy quyển sách này được biên soạn thêm phần ứng dụng MATLAB vào hệ thống điện trong đó một số chương trình được hướng dẫn để tính toán thông số đường dây, khảo sát vận hành đường dây, tính toán phân bố công suất, thành lập ma trận tổng trở thanh cái dùng trong tính toán ngắn mạch, điều chỉnh điện áp, điều độ kinh tế hệ thống.

**HỆ THỐNG ĐIỆN TRUYỀN TẢI VÀ PHÂN PHỐI** được biên soạn theo đề cương môn học “Hệ thống điện” - Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM, để cho sinh viên ngành kỹ thuật điện, chuyên ngành hệ thống điện và cung cấp điện, có thể dùng tài liệu tham khảo cho các chuyên viên, kỹ sư, học viên cao học ngành điện. Quyển sách này mong muốn cung cấp cho người đọc các kiến thức cần thiết về hệ thống điện trong chế độ xác lập và có được kết quả tốt trong học tập và nghiên cứu. Nội dung cuốn sách gồm có 9 chương.

Trong lần tái bản này, tác giả có sửa chữa và bổ sung nhiều trang, rất mong tiếp tục nhận được sự đóng góp ý kiến của các đồng nghiệp và quý độc giả để quyển sách được hoàn chỉnh hơn.

Mọi đóng góp ý kiến xin gửi về Bộ môn Hệ thống Điện, Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM 268 Lý Thường Kiệt, Q.10.

**Tác giả**

**TS. Hồ Văn Hiến**

# **Chương 1**

## **CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN**

### **1.1 MỞ ĐẦU**

Tất cả các công ty điện lực đều hoạt động gần như theo hợp đồng với khách hàng. Nói chung, những hợp đồng này qui định số lượng và chất lượng của điện năng được cung cấp. Chất lượng điện năng bao gồm:

- a) Tần số và các giới hạn trong đó tần số được giữ không đổi;
- b) Điện áp và các giới hạn trong đó điện áp có thể giữ không đổi.
- c) Liên tục cung cấp điện.

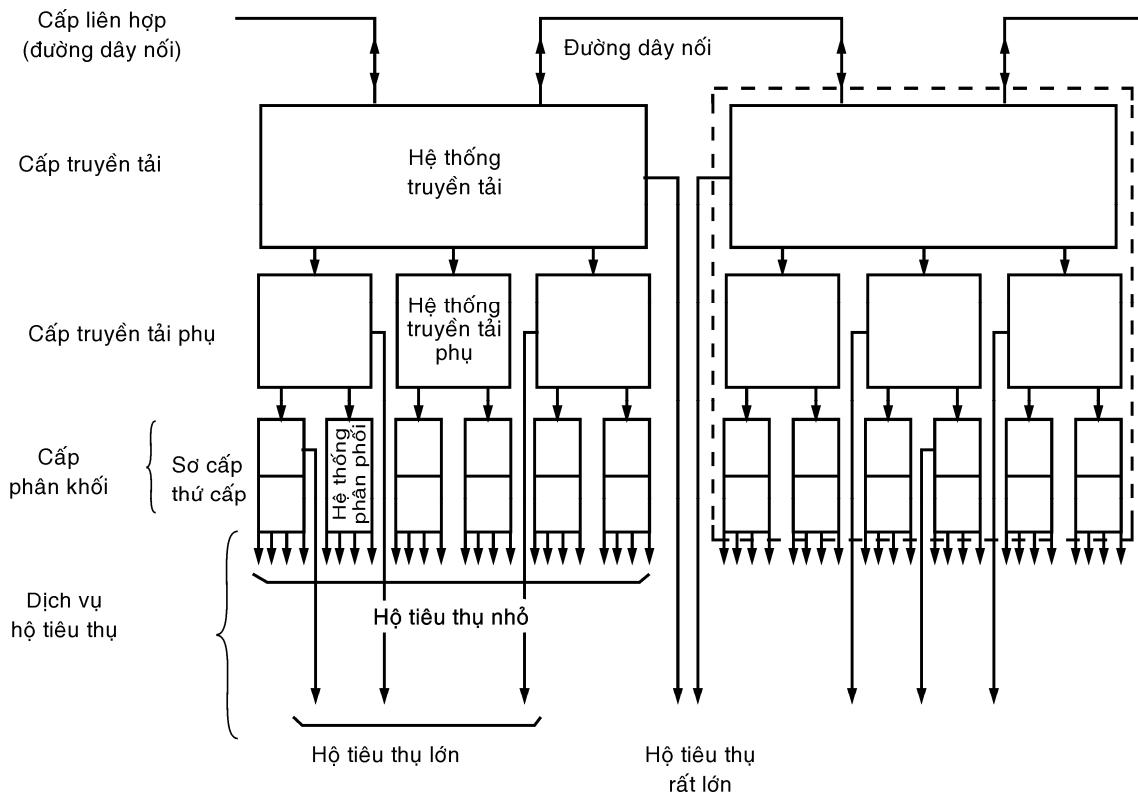
Các yêu cầu ngày càng tăng một bên là để cải thiện việc cung cấp điện còn bên kia là việc vận hành kinh tế, cả hai đều khuyến khích việc liên kết các nhà máy điện vào trong một hệ thống liên kết và hơn thế nữa là liên kết nhiều hệ thống thành hệ thống hợp nhất. Đã có nhiều hệ thống hợp nhất bao phủ nhiều vùng của nhiều nước thành hệ thống điện liên quốc gia. Ở Việt Nam, lưới điện quốc gia đã được liên kết hai lưới điện miền Bắc và miền Nam qua đường dây siêu cao áp 500 kV cũng nhằm mục đích thỏa mãn các yêu cầu nói trên. Bất kỳ cơ cấu rộng lớn nào cũng đều có tính phức tạp. Tuy vậy, việc vận hành hệ thống điện không phải là không thể điều hành được. Cấu trúc có thể thay đổi từ hệ thống này sang hệ thống khác, nhưng sự biến đổi không đến nỗi quá lớn đến nỗi làm trở ngại cho việc nghiên cứu xét về cơ bản.

Cấu trúc của hệ thống điện điều hành được đặt trên cơ sở của sự phân chia theo hàng dọc và theo hàng ngang như được minh họa trong H.1.1.

Theo chiều dọc, hệ thống liên hợp được chia làm bốn cấp:

- a) Cấp phân phối;
- b) Cấp truyền tải phụ;
- c) Cấp truyền tải (cùng với cấp truyền tải phụ và cấp phân phối có liên kết với nó tạo ra một hệ thống điện);
- d) Hệ thống đường dây nối (liên kết nhiều hệ thống điện với nhau vào trong một hệ thống điện liên hợp).

Theo chiều ngang, mỗi cấp lại được chia thành một số các hệ thống (số hệ thống truyền tải phụ trong mỗi hệ thống truyền tải hay số hệ thống phân phối trong mỗi hệ thống truyền tải phụ thực tế có thể nhiều hơn con số trên hình vẽ). Các hệ thống con này cách ly với nhau về mặt điện (và cũng thường là về mặt địa lý) với các hệ thống lân cận trong cùng một cấp nhưng chỉ được nối kết về điện với nhau qua các hệ thống ở cấp cao hơn.



**Hình 1.1: Sơ đồ khái niệm cấu trúc cơ bản của hệ thống điện**

Cấp điện áp và lượng công suất duy trì trong mỗi hệ thống riêng lẻ tăng dần từ cấp này đến cấp cao hơn và một phụ tải tiêu thụ có thể được cung cấp từ bất cứ cấp nào của hệ thống tùy theo qui mô và tính chất của phụ tải. Các mũi tên trong H.1.1. chỉ chiều công suất và vì tất cả các nhà máy điện đều được gắn vào ở hệ thống truyền tải nên mọi hệ thống ở cấp thấp hơn đều phụ thuộc vào cấp cao hơn (và cuối cùng là phụ thuộc vào cấp truyền tải) để cung cấp điện năng cho chúng. Theo đó, chiều cung cấp công suất giữa cấp truyền tải và cấp phân phối là đi từ cấp trên xuống cấp dưới.

Mục đích của việc liên kết nhiều hệ thống điện với nhau bằng các đường dây nối là để tập trung khả năng sẵn có của các hệ thống nhằm hỗ trợ cho nhau và hậu quả là công suất trên đường dây nối có tính hai chiều. Có khuynh hướng là tập trung dòng điện năng đi vào bất kỳ hệ thống nào chỉ ở một điểm duy nhất (như đã thấy ở cấp truyền tải và phân phối) nghĩa là ở một trạm trung chuyển hay trạm phân phối, nhưng để cho việc cung cấp tin cậy hơn thường những trạm đó có thể được cung cấp từ hai nguồn đi đến. Sự phân cấp theo hàng dọc và hàng ngang của một hệ thống điện làm cho việc vận hành và điều chỉnh trong hệ thống là có hiệu quả.

## 1.2 CẤP PHÂN PHỐI CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Cấp phân phối biểu diễn cho cấp cấu trúc thấp nhất của hệ thống điện, thường gồm có hai cấp điện áp.

a) Điện áp sơ cấp hay điện áp phát tuyến tương đối cao (chẳng hạn 15 kV, 22 kV);

b) Điện áp thứ cấp hay điện áp tiêu thụ là điện áp thấp (chẳng hạn 110 V, 220 V, 380 V).

Nhiệm vụ của cấp phân phối là phân phối điện năng cho các phụ tải nhỏ (sinh hoạt) và các

phụ tải tương đối nhỏ (thương mại và công nghiệp nhỏ), các phụ tải lớn thường được cung cấp trực tiếp từ cấp cao hơn (như cấp truyền tải và cấp truyền tải phụ). Mặc dù phần lớn điện năng sản xuất được thường được bán cho cấp phân phối nhưng cấp này lại được chia thành một số lớn các mảng độc lập và mỗi phần nhỏ này chỉ tiếp nhận một lượng công suất vừa phải và chỉ liên kết về điện với nhau thông qua cấp truyền tải phụ.

Một phần phân chia của cấp phân phối được gọi là *mạch phân phối*. Thường thì các mạch phân phối được cách biệt nhau về địa lý nghĩa là mỗi mạch phân phối cung cấp riêng biệt cho một khu vực. Tuy vậy, trong một số trường hợp vẫn có sự đan xen nhau giữa các vùng của mạch phân phối, chẳng hạn mạng điện một chiều và mạng điện xoay chiều có thể phục vụ cho cùng một khu vực. Hiện tại, mạch phân phối đơn giản được cung cấp từ một nguồn riêng gọi là *trạm phân phối* (trạm biến áp), phụ tải của những mạch này được giữ đủ nhỏ sau cho một mạch như vậy có thể bị cắt điện, chẳng hạn do sự cố, có thể được tái lập lại sau đó mà không gây biến động trong các phần mạch còn lại. Điều này làm giới hạn khối công suất có thể được duy trì bởi từng mạch phân phối đến mức tương đối nhỏ so với khối công suất duy trì trong cấp truyền tải.

Hệ thống phân phối thông dụng có thể được phân loại như sau:

1) Hệ thống hình tia

2) Hệ thống vòng kín:

- a) Vòng kín sơ cấp hay vòng kín các phát tuyến;
- b) Vòng kín thứ cấp.

3) Hệ thống mạng điện:

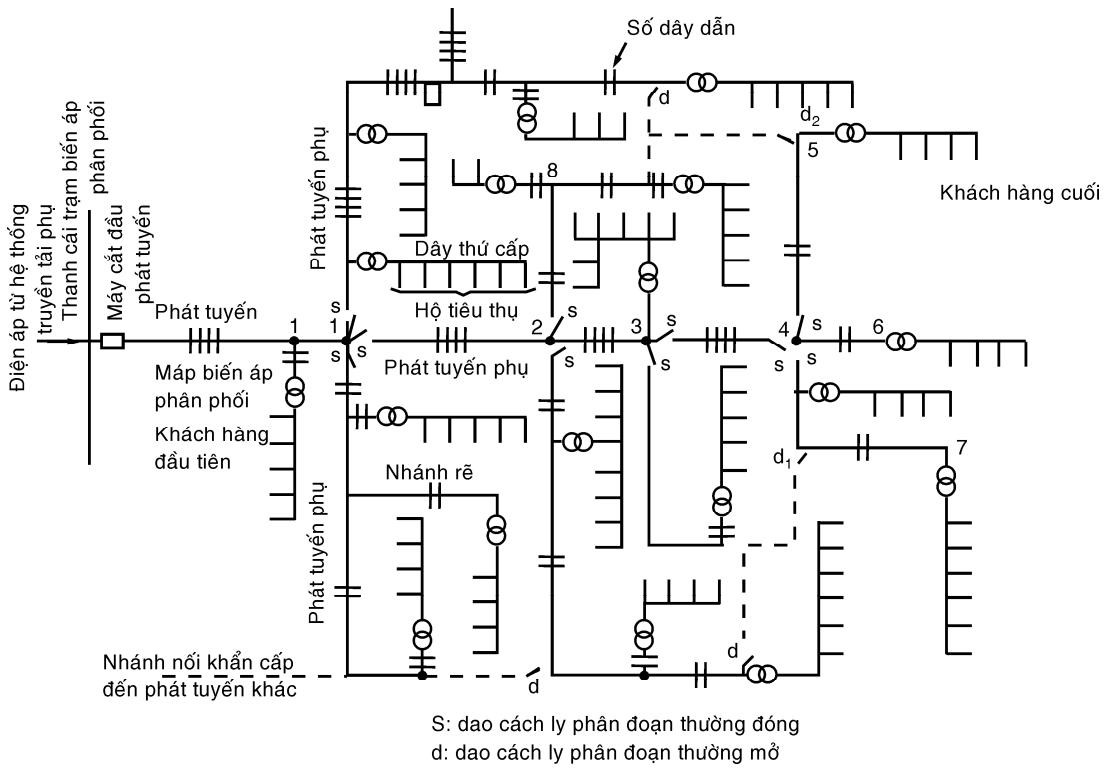
- a) Mạng điện sơ cấp và thứ cấp hình tia;
- b) Mạng điện thứ cấp với dây phát tuyến hình tia.

Những hệ thống này theo thứ tự tăng dần theo chi phí, tính linh hoạt và độ tin cậy trong vận hành. Do vậy, chúng được dùng trong những vùng mà mật độ phụ tải tăng dần theo thứ tự nêu trên. Quan trọng hơn hết có lẽ là hệ thống hình tia (dùng trong vùng nông thôn, thành phố hay ngoại ô) và hệ thống mạng thứ cấp (dùng cho các khu vực thương mại ở những thành phố lớn).

### **1.3 HỆ THỐNG PHÂN PHỐI HÌNH TIA**

Kiểu hệ thống phân phối này chủ yếu được dùng trong những vùng có mật độ phụ tải thấp như ở nông thôn hay thị trấn nhỏ và còn được dùng rộng rãi ở những vùng có mật độ phụ tải trung bình như ở ngoại ô và đô thị (khu dân cư ở đô thị và thị trấn lớn). Nó có chi phí xây dựng thấp nhất nhưng tính linh hoạt và liên tục cung cấp điện bị hạn chế.

Hình 1.2 minh họa một hệ thống phân phối hình tia gồm có một mạch đường dây nhánh và các mạch thứ cấp liên kết với nó. Điện năng được cung cấp vào đường dây nhánh tại điểm nối với thanh cái của trạm biến áp phân phối. Đoạn thứ nhất của mạch sơ cấp giữa thanh góp của trạm và điểm nối đầu tiên với máy biến áp phân phối gọi là điểm cung cấp được gọi là *mạch nhánh* còn gọi là phát tuyến hay là phần “tốc hành” của mạch sơ cấp. Các nhánh rẽ của đường dây nhánh là dây *nhánh phụ* hay *nhánh rẽ*. Tên gọi *đường dây sơ cấp* được dùng để gọi chung cho dây nhánh và dây nhánh phụ.



**Hình 1.2: Hệ thống phân phối hình tia**

Trạm phân phối thường thuộc loại ba pha bốn dây. Do vậy, đường nhánh và một số đường nhánh phụ là loại ba pha bốn dây trong khi đó vẫn có một số ít các đường nhánh phụ là một pha hai dây. Điện áp của đường dây nhánh sơ cấp được xác định chủ yếu bởi khảo sát kinh tế, thường yêu cầu điện áp cao hơn khi mật độ phụ tải tăng hay chiều dài đường dây tăng. Trong các khu vực đô thị hay ngoại ô, ở đó đường dây ngắn (khoảng vài km) nhưng mật độ phụ tải lại lớn các cấp điện áp thường dùng là 4160 V ba pha bốn dây, 2400 V một pha hai dây hay ba pha 22000/12700 V, 15000/8860 V, 10 kV, 6 kV.

Các mạch đường dây nhánh nông thôn (đường dây trên không) có chiều dài tổng khoảng vài chục km nên mặc dù mật độ phụ tải là thấp nhưng cấp điện áp tương đối cao, các cấp điện áp tiêu chuẩn là 15 kV, 20 kV,... (Ghi chú: cấp điện áp định mức của đường dây được qui định là điện áp dây). Phần lớn các đường dây nhánh phân phối là đường dây trên không nhất là ở những vùng có mật độ phụ tải thấp thị trấn hay ven đô. Trong thành phố, khuynh hướng ở các nước tiên tiến là sử dụng cáp ngầm trên đường nhánh và một số lớn các đường nhánh phụ. Thường trung tính của mạch nhánh được nối đất tại trạm phân phối, nhưng có thể có nối đất trung tính lặp lại. Điều này làm giảm chi phí xây dựng đường dây vì giảm được phí tổn về cách điện của máy biến áp và các thiết bị khác.

Máy cắt chính đường dây nhánh dùng để cắt đường dây khi sửa chữa và còn để bảo vệ ngắn mạch. Máy cắt này có trang bị rôle dòng điện để cắt đường dây ngay lập tức khi có ngắn mạch xảy ra ở bất cứ điểm nào trên đường dây nhánh. Khi máy cắt mở ra, sự cố được giải trừ nhưng việc cung cấp điện cho phụ tải bị gián đoạn.

Việc cắt điện như vậy rõ ràng là điều không mong muốn nếu nó cứ kéo dài trong một khoảng thời gian sau khi mỗi tác động của máy cắt và vì những tác động như vậy có thể xảy ra

thường xuyên khi có sấm sét hay giông bão. Do vậy mà khi có thiết kế máy cắt đường dây nhánh thường phải xét đến việc phần lớn sự cố của đường dây trên không (80 – 90%) là sự cố thoáng qua và chúng sẽ biến mất (do tác dụng khử ion hóa của hồ quang) trong khoảng 10 chu kỳ sau khi dòng điện hồ quang bị dập tắt. Theo đó, máy cắt đường dây nhánh còn được trang bị thêm thiết bị tự đóng lại  $\frac{1}{4}$  đến  $\frac{3}{4}$  giây sau khi máy cắt mở ra và một phần lớn các trường hợp việc tự đóng lại để tái lập là thành công. Phần lớn các máy cắt cho phép tự đóng lại từ 2 đến 3 lần trước khi cắt đứt khoát trong trường hợp sự cố tiếp tục duy trì. Một khi máy cắt bị khóa lại ở vị trí mở do sự cố có duy trì, đội sửa chữa đường dây sẽ xác định nơi sự cố bằng cách quan sát hoặc là mở các *dao cách ly* trên từng phân đoạn một và thử đóng lại đường dây. Vì phải mất thời gian di chuyển từ dao cách ly này đến dao cách ly khác nên một số công ty điện ở nước ngoài thao tác đóng/cắt dao cách ly bằng điều khiển từ xa từ văn phòng trung tâm. Tuy vậy, việc cách ly đường dây có thể thực hiện một cách tự động bằng cách dùng *cầu chì tự rơi* thay cho dao cách ly và dễ dàng tìm được nơi xảy ra sự cố.

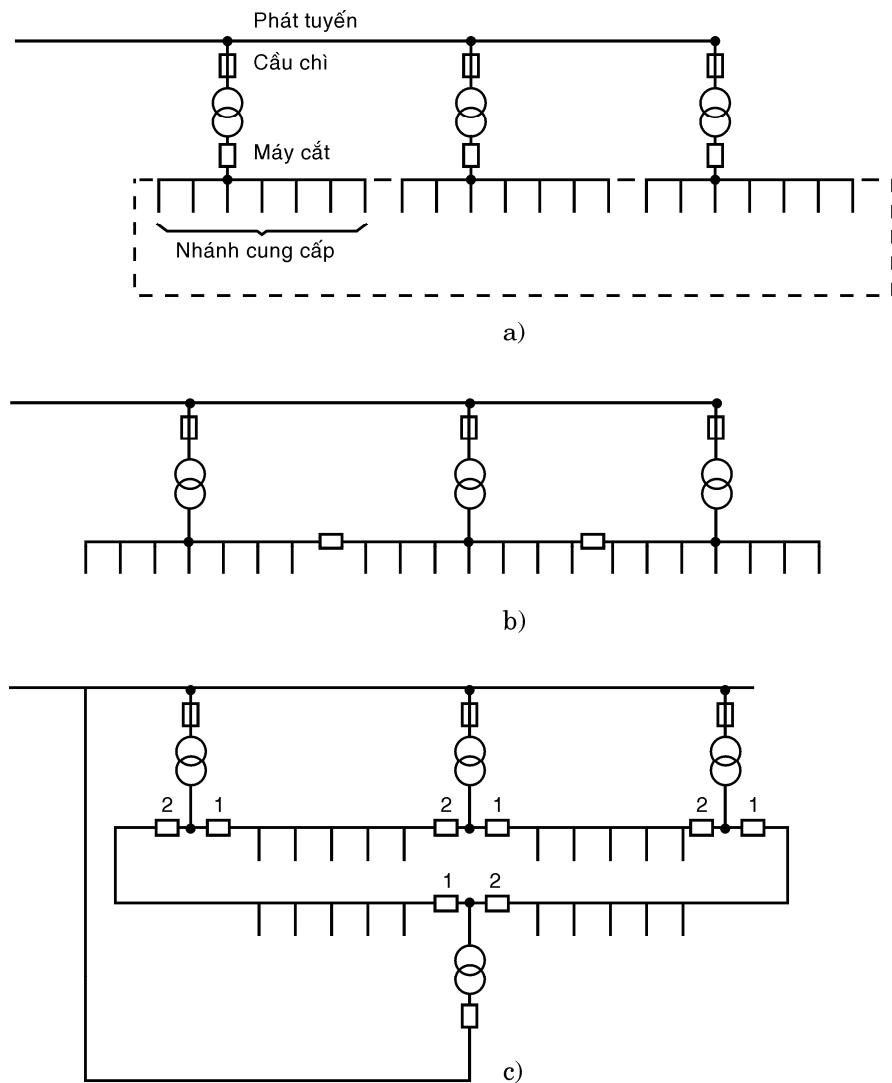
Việc sửa chữa các phân đoạn đường dây bị sự cố có thể kéo dài, do đó để cải thiện điều kiện cung cấp điện, cần xây dựng thêm các đường dự trữ còn gọi là *đường nối khẩn cấp*. Đó là những đoạn đường dây sơ cấp có thể chuyển hệ thống hình tia thành ra một mạng điện kín ngoại trừ khi các mạch vòng của mạng điện được giữ như một mạng hở bằng cách mở dao cách ly lúc bình thường và chỉ đóng lại lúc khẩn cấp. Đường dây khẩn cấp thường được dùng trong mạng điện cung cấp trong thành phố đặc biệt là nếu hệ thống cung cấp được xây dựng một phần hay toàn phần bằng cáp ngầm.

*Máy biến áp phân phối* trên hệ thống điện hình tia thường là loại treo trên trụ hay đặt trên giàn và một số các máy biến áp phân phối hiện đại khi xuất xưởng đều có trang bị thêm các phụ kiện cần cho vận hành và bảo vệ, điều này cũng có ý nghĩa là máy biến áp có tự trang bị các bảo vệ tương đương với một trạm biến áp hoàn chỉnh.

Tổng quát, máy biến thế phân phối thuộc loại một pha hay ba pha. Phía sơ cấp thường có đầu phân áp dùng để điều chỉnh điện áp cho phía thứ cấp. Những đầu này chỉ có thể được thay đổi nếu máy biến áp được cắt điện và nắp máy được mở ra. Máy biến áp phân phối thường trang bị thêm cầu chì ở phía sơ cấp để bảo vệ ngắn mạch.

#### 1.4 HỆ THỐNG MẠCH VÒNG THỨ CẤP

Khi càng có nhiều phụ tải điện sử dụng động cơ điện thì phát sinh vấn đề nhấp nháy ánh sáng dẫn đến việc cần thiết phải sửa đổi hệ thống phân phối hình tia trong đó mỗi đường dây cái thứ cấp được cung cấp từ một máy biến áp riêng và không có quan hệ về điện với các đường dây cái thứ cấp khác. Trong một hệ thống như vậy, dòng điện khởi động của động cơ là lớn so với dòng phụ tải bình thường của máy biến áp sẽ gây sụt áp đột ngột và gây chớp đèn. Tuy vậy, nếu các dây cái thứ cấp được nối vòng như trong H.1.3.a,b,c thì dòng khởi động từ một trong ba dây cái thứ cấp sẽ được phân chia trên ba máy biến áp và giảm bớt được độ sụt áp.

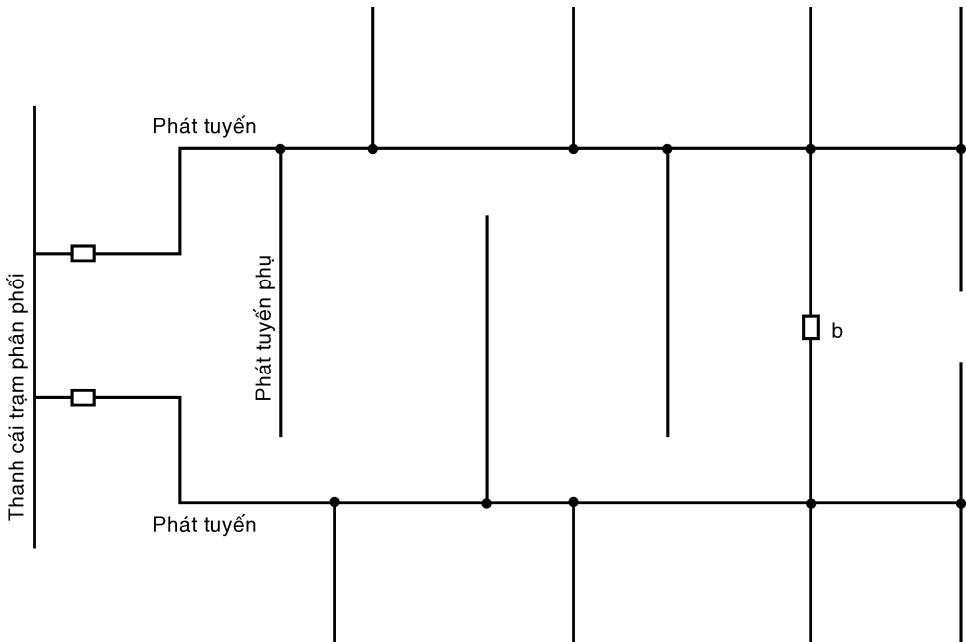


**Hình 1.3:** Mạch vòng thu cấp

## 1.5 MẠCH VÒNG SƠ CẤP

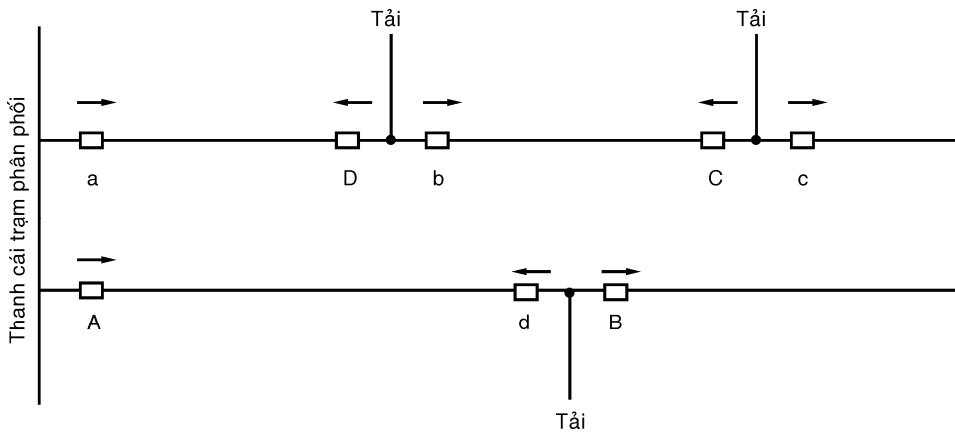
Mạch vòng sơ cấp được dùng ở các khu vực có mật độ phụ tải trung bình và lớn. Có hai dạng của mạch vòng các đường dây nhánh.

Dạng thứ nhất là đóng thường xuyên một nhánh nối khẩn cấp trên hình tia với một máy cắt b đóng thường xuyên và tác động khi quá dòng. Các đường nhánh phụ và đường rẽ vẫn giữ nguyên như trong mạch hình tia (H.1.4). Mục đích của việc bố trí này là để cân bằng phụ tải trên hai đường nhánh nhờ vào đường dây nối thường trực và do đó làm bằng phẳng quan hệ điện áp theo thời gian đặc biệt là khi có sự khác biệt về thời gian giữa các phụ tải đỉnh của các phụ tải. Trong trường hợp có sự cố, máy cắt đường dây mở tức thời và tách rời hai đường dây nhánh.



**Hình 1.4:** Phát tuyến nối vòng bằng máy cắt thường đóng trên đường nối khẩn cấp

Một dạng khác của mạch vòng đường dây nhánh được vẽ trong H.1.5 dùng chủ yếu cho một số phân đoạn có phụ tải công nghiệp. Mục đích là để cải thiện độ sụt áp và độ tin cậy cung cấp điện. Để đạt được điều này, một số máy cắt có trang bị bảo vệ quá dòng có hướng, trong trường hợp sự cố xảy ra ở bất kỳ phân đoạn nào, hai máy ở hai đầu phân đoạn mở ra và loại trừ được sự cố mà không bị mất điện ở bất cứ phụ tải nào.

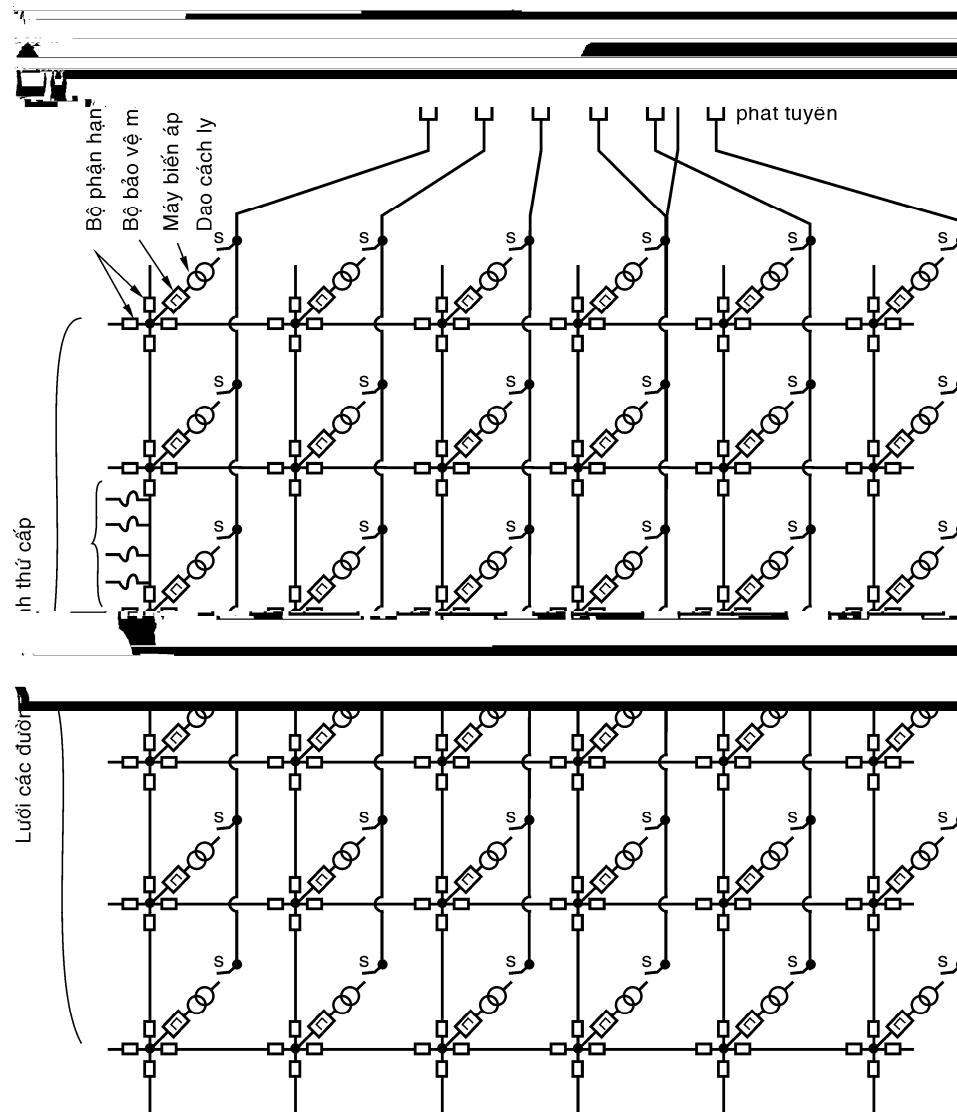


**Hình 1.5:** Phát tuyến nối mạch vòng

## 1.6 HỆ THỐNG MẠNG ĐIỆN PHÂN PHỐI THỨ CẤP

Hệ thống mạng điện thứ cấp là hệ thống tin cậy nhất của hệ thống phân phối và có đặc tính điện áp cũng như chống nhấp nháy ánh sáng tốt nhất. Mạng điện này có giá thành xây dựng cao và do đó chủ yếu là dùng cho các khu vực có mật độ phụ tải lớn như các khu dân cư và thương mại trong thành phố. Nó còn được áp dụng rộng rãi cho các khu công nghiệp mà yêu cầu về điện áp, sự linh hoạt và liên tục cung cấp điện là ưu tiên hàng đầu (H.1.6).

Điện áp của mạng phân phối thứ cấp là 380/220 V hay 220/127 V ba pha bốn dây và các đường dây cáp thứ cấp nối với nhau thành mảng lưới gần như đi theo đường phố. Mỗi phân đoạn của lưới là một đường 3 pha bốn dây đi dọc theo đường phố gọi là dây cáp thứ cấp có thể là đường trên không hay đường cáp.



**Hình 1.6:** Những nét chính của hệ thống mạng phân phối thứ cấp

Các đoạn dây vào nhà dùng điện được lấy dọc trên đường dây cáp và chúng được trang bị cầu dao, bảo vệ và thiết bị đo. Các đường dây cáp tự nó không được gắn cầu chì bảo vệ vì theo kinh nghiệm thì bất kỳ sự cố ngắn mạch trên mạng lưới điện áp thấp đều “cháy giải trừ” và vẫn để cho đường dây làm việc liên tục bình thường nếu như dòng ngắn mạch đủ lớn.

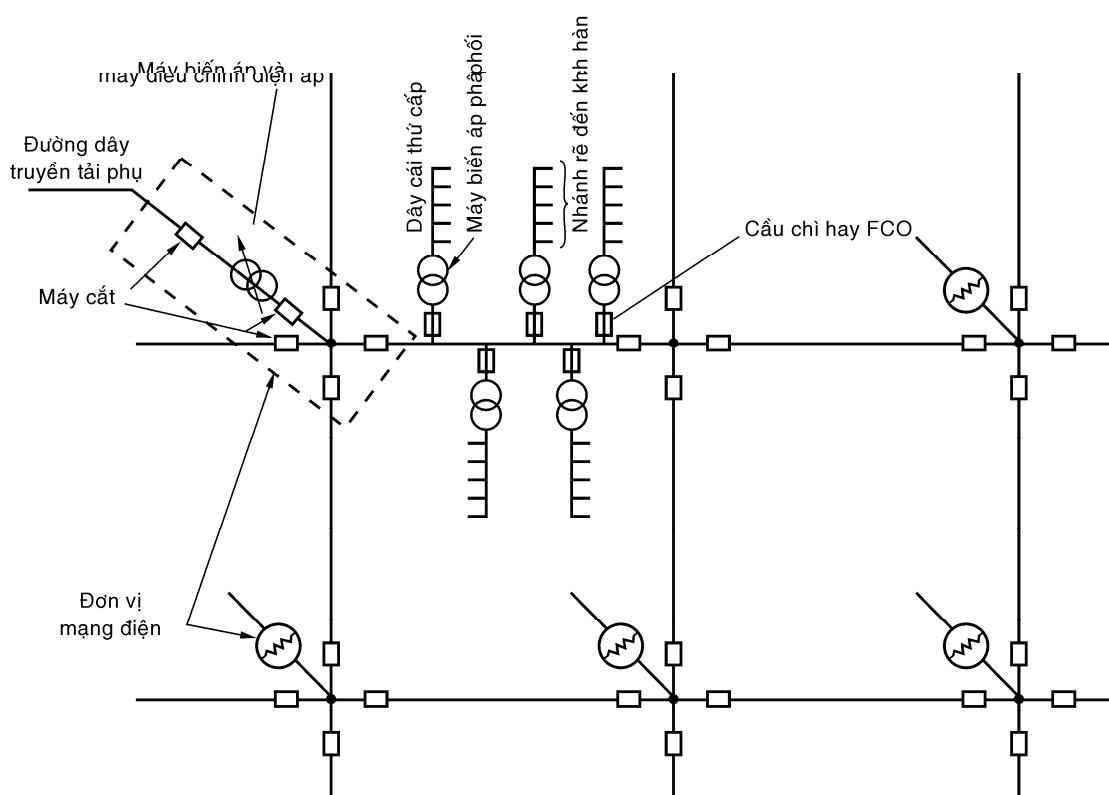
Trong một số mạng điện hay trên một số phân đoạn của mạng điện dòng ngắn mạch có thể không đủ lớn để cháy giải trừ sự cố, trong những trường hợp như vậy, ngắn mạch duy trì có thể làm hư hỏng dây dẫn của các phân đoạn đó. Để khắc phục tình trạng này, người ta dùng các bộ “hạn chế” mắc chen vào đường dây cáp ở những điểm nối. Bộ hạn chế là một loại cầu chì đặc biệt có đặc tính thời gian trì hoãn và chỉ đứt nếu ngắn mạch duy trì.

Lưới thứ cấp được cung cấp từ hệ thống phân phối sơ cấp qua các máy biến áp phân phối hay biến áp mạng điện thường là biến áp ba pha công suất từ 150 kVA đến 1500 kVA và một số các máy biến áp một pha. Chúng được phân bố đều trên mạng điện. H.1.6 cho thấy một trường hợp trong đó một máy biến áp được đặt ở mỗi điểm nối của đường dây cáp. Thực tế, tùy theo mật độ phụ tải mà các máy biến áp được phân bố dày hơn hay mỏng hơn.

Các máy biến áp được cung cấp từ các phát tuyến sơ cấp có điện áp cao từ 4 kV đến 20 kV và thường là hình tia nghĩa là các phát tuyến này không nối kết với nhau ngoại trừ ở thanh gốp của trạm biến áp phân phối. Phát tuyến thường là đường dây ba pha ba dây hoặc bốn dây, trên không hoặc cáp ngầm, các đường này chỉ đóng cắt duy nhất từ máy cắt tác động theo bảo vệ quá dòng đặt ở đầu đường dây ở thanh cái trạm biến áp phân phối và mở ra khi có ngắn mạch trên phát tuyến. Máy cắt này tự nó không giải trừ được sự cố vì ngắn mạch vẫn còn tồn tại (sau khi máy cắt đầu đường dây mở) từ phía mạng thứ cấp xuyên qua máy biến áp phân phối. Tình trạng này được khắc phục bằng “bộ bảo vệ mạng điện” thực chất là một máy cắt điện áp thấp mà sẽ tự động mở khi có dòng công suất chạy ngược nghĩa là đi từ mạng hạ áp ngược trở lại máy biến áp.

Dao cách ly thuần túy thao tác bằng tay khi không có dòng điện được đặt giữa phát tuyến và máy biến áp. Dao cách ly được mở ra khi sửa chữa đường dây và dao thường được nối đất để bảo vệ an toàn khi sửa chữa đường dây.

## 1.7 HỆ THỐNG MẠNG ĐIỆN SƠ CẤP



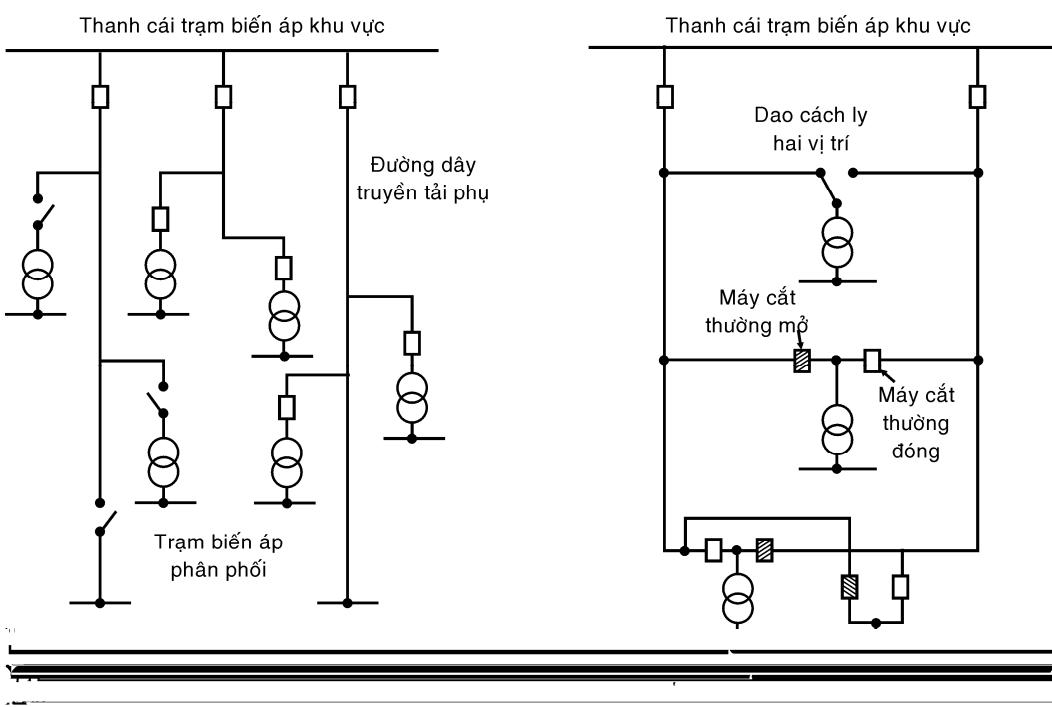
**Hình 1.7:** Hệ thống mạng phân phối sơ cấp

Hệ thống phân phối mạng điện sơ cấp được dùng trong khu vực thành phố. Tổng quát, hệ thống này yêu cầu một số lượng lớn các trạm biến áp công suất nhỏ và nhiều mạch truyền tải phụ đi đến các trạm này hơn là trong hệ thống hình tia. Những hệ thống này có đặc tính điện áp tốt hơn, có tính liên tục cung cấp điện cao và kinh tế hơn hệ thống hình tia khi mật độ phụ tải cao hơn khoảng  $1000 \text{ kVA/km}^2$ .

Cấu trúc của mạng sơ cấp giống như mạng thứ cấp ngoại trừ chúng bao gồm các đường dây nhánh thay vì là các đường dây cáp thứ cấp. H.1.7 trình bày một phần của mạng sơ cấp. Máy biến áp phân phối được mắc dọc theo dây cáp sơ cấp với những đoạn cung cấp vào nhà dọc theo dây cáp của mạng thứ cấp. Các mạch thứ cấp ở đây đều có dạng hình tia.

## 1.8 CẤP TRUYỀN TẢI PHỤ CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Hệ thống truyền tải phụ thường được cung cấp từ thanh cáp của trạm biến áp khu vực (hay trạm trung gian) và phân phối điện năng đến các trạm biến áp phân phối. Theo nguyên tắc phân chia theo hàng, các hệ thống truyền tải phụ lân cận chỉ liên kết về điện với nhau thông qua hệ thống truyền tải. Vai trò của hệ thống truyền tải phụ hoàn toàn giống vai trò của hệ thống phân phối, ngoại trừ nó duy trì một khối lượng công suất lớn hơn, cấp điện áp cao hơn và số các trạm biến áp phân phối cung cấp bởi hệ thống truyền tải phụ thường ít hơn số máy biến áp phân phối trong hệ thống phân phối. Hệ thống truyền tải phụ được phân biệt với hệ thống truyền tải ở chỗ là không có sự liên kết giữa các nhà máy qua cấp truyền tải phụ.



**Hình 1.8:** Hệ thống truyền tải phụ  
hình tia

**Hình 1.9:** Hệ thống truyền tải phụ hình tia với  
đường chuyển mạch

Một vài phần của hệ thống điện truyền tải phụ vừa cung cấp cho trạm biến áp phân phối vừa nối với các nhà máy điện thì đúng hơn những phần này có thể được xem là một phần của hệ

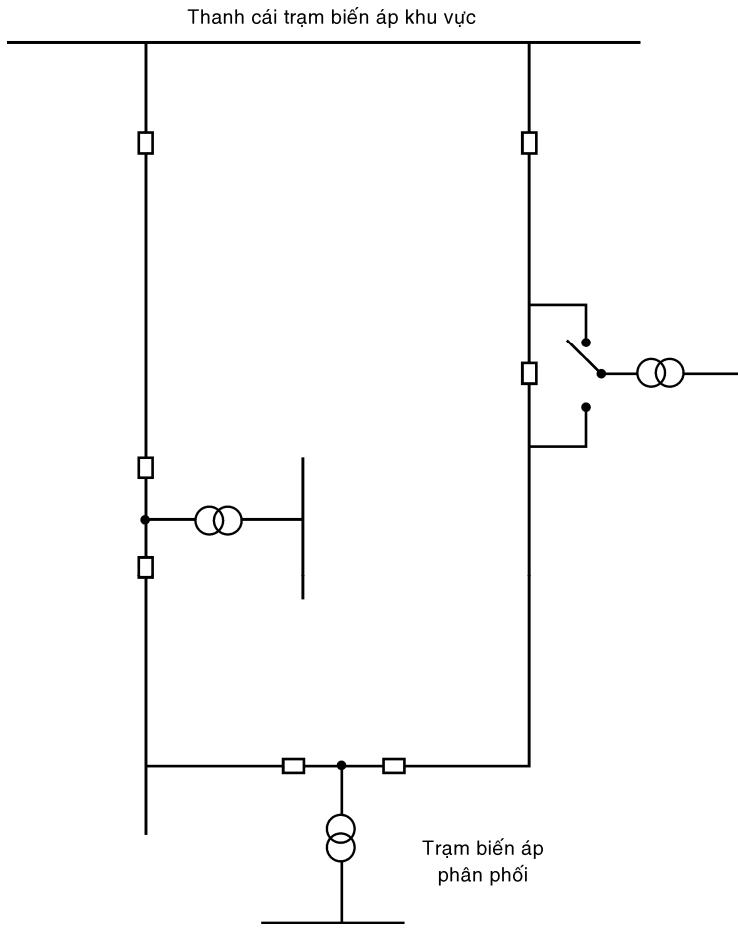
thống truyền tải mặc dù cấp điện áp của nó thường được dùng cho hệ thống truyền tải phụ. Cấp điện áp của hệ thống truyền tải phụ thay đổi từ 35 kV đến 69 kV, điện áp cao hơn ứng với mật độ phụ tải lớn hoặc khoảng cách tải điện tương đối xa. Đường dây truyền tải phụ là đường dây ba pha, ba dây.

Cấu trúc của hệ thống truyền tải phụ thay đổi từ dạng hình tia đến dạng mạng điện. Chi phí xây dựng cũng tăng từ dạng hình tia sang dạng mạng điện, theo đó cần phải tiến hành so sánh kinh tế kỹ thuật để có sự kết hợp giữa một phí tổn hợp lý và độ tin cậy của hệ thống truyền tải phụ và hệ thống phân phối. Rõ ràng sẽ không hợp lý khi cung cấp một mạng điện thứ cấp có độ tin cậy cao từ một hệ thống truyền tải phụ hình tia không tin cậy hay ngược lại, xây dựng một mạng điện truyền tải phụ tin cậy, tổn kém chỉ để cung cấp cho các đường dây hình tia trong cấp phân phối cũng sẽ không hợp lý.

Hình 1.8 trình bày một hệ thống truyền tải phụ hình tia ở nông thôn. Mỗi trạm biến áp phân phối được cung cấp bằng một đường dây đơn và như vậy khi có sự cố đường dây, việc cung cấp điện bị gián đoạn cho đến khi đường dây được sửa chữa lại.

Để cải tiến hệ thống hình tia, H.1.9 đưa ra sơ đồ có tính liên tục cung cấp cao hơn bằng cách cung cấp cho các trạm bằng hai đường dây, nếu một mạch truyền tải cung cấp cho một trạm phân phối bị sự cố, việc cung cấp cho trạm này được phục hồi bằng cách chuyển mạch sang đường dây còn lại. Sự chuyển mạch này có thể làm tự động nếu đặt máy cắt ở hai phía của trạm phân phối (xem các trạm bên dưới của hình vẽ) nhưng nếu chỉ thao tác bằng dao cách ly như trạm trên cùng thì việc chuyển mạch bằng tay phải tốn thời gian vì trước khi thao tác dao cách ly, tất cả các phát tuyến của trạm biến áp phân phối phải được mở ra để tránh việc đóng dao cách ly khi có tải. Các đường dây kép (hai lô) của mạch truyền tải phụ không nhất thiết đi cùng trên một tuyến. Vị trí của hai lô này có thể cách xa nhau vì hai đường dây riêng biệt ít khi nào có sự cố xảy ra. Hệ thống điện của sơ đồ H.1.9 được xây dựng với các đường dây truyền tải phụ mạch kín nhưng chúng vận hành hở. Việc đóng thường trực các máy cắt thường mở sẽ biến thành một hệ thống kín như trong H.1.10.

Hệ thống mạch vòng loại trừ



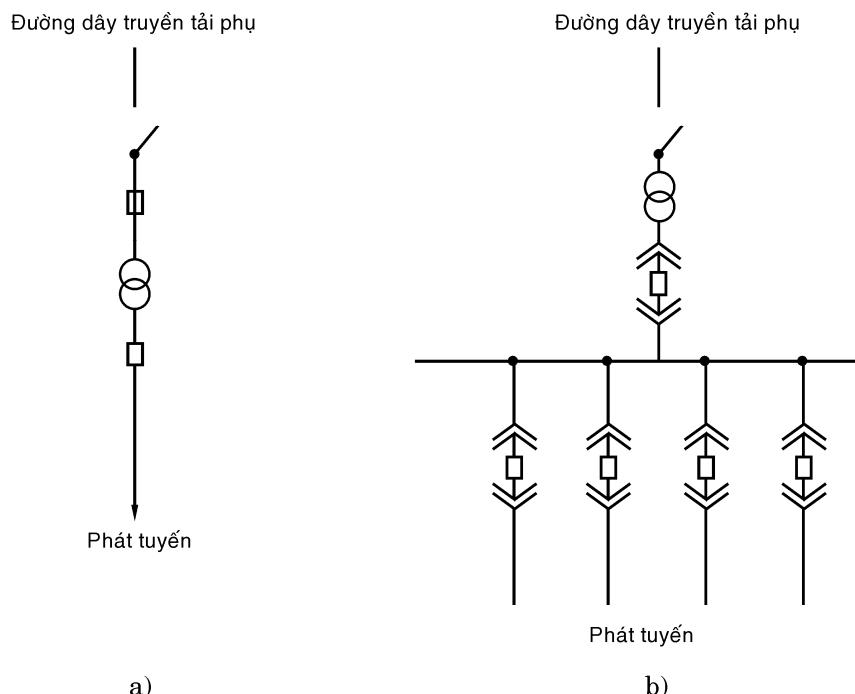
**Hình 1.10:** Hệ thống truyền tải phụ mạch vòng kín

việc ngừng cung cấp đến các trạm phân phối khi có sự cố trên mạch truyền tải phụ. Tuy nhiên, yêu cầu bảo vệ phức tạp và cần nhiều dự trữ trên mạch truyền tải phụ làm cho hệ thống này càng đắt tiền.

### 1.9 TRẠM BIẾN ÁP PHÂN PHỐI

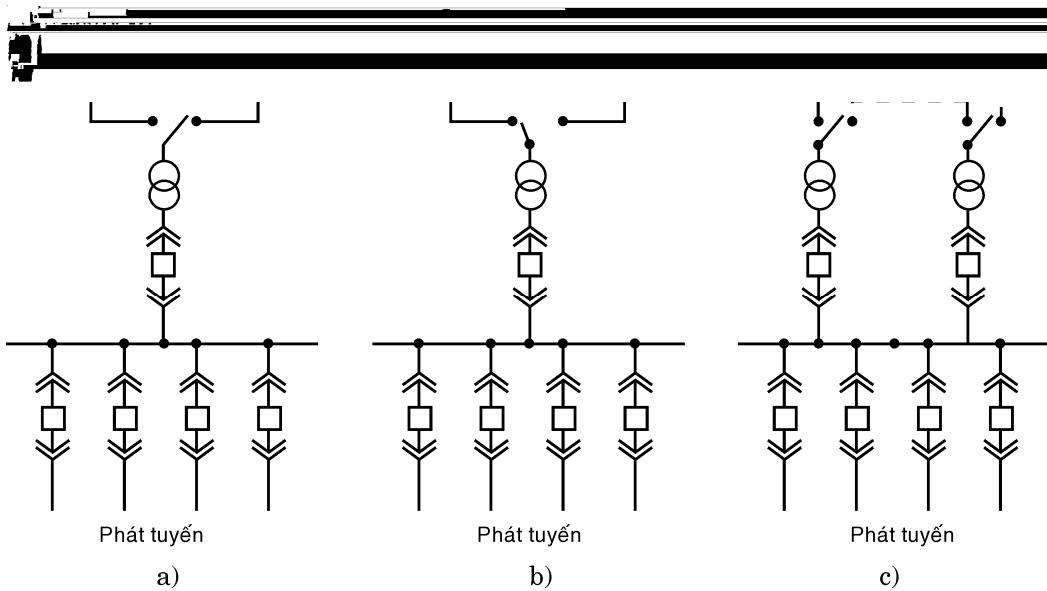
Trạm biến áp phân phối là điểm chuyển điện năng giữa hệ thống truyền tải phụ và hệ thống phân phối. Trước đây thường tập trung một số lớn các phát tuyến được cung cấp từ một số lượng nhỏ các trạm phân phối có người trực nhật. Các trạm này thường được xây dựng riêng lẻ nên mức tiêu chuẩn hóa về cách bố trí các thiết bị không cao.

Trong những năm gần đây, khuynh hướng mới là phân rải việc chuyển công suất cho một số lớn các trạm phân phối nhỏ chỉ cung cấp một số lượng vừa phải các phát tuyến. Những trạm này thường không có người trực mặc dù đôi khi phải giám sát, thường là loại hợp bộ, bọc kim loại được chế tạo từ nhà máy và có độ tiêu chuẩn hóa rất cao. Loại trạm phân phối đơn giản nhất được cung cấp từ một đường dây lộ đơn truyền tải phụ, một máy biến áp và có thể có một hay nhiều đầu ra phát tuyến phía thứ cấp (H.1.11a và b).



**Hình 1.11:** Trạm biến áp phân phối đơn giản

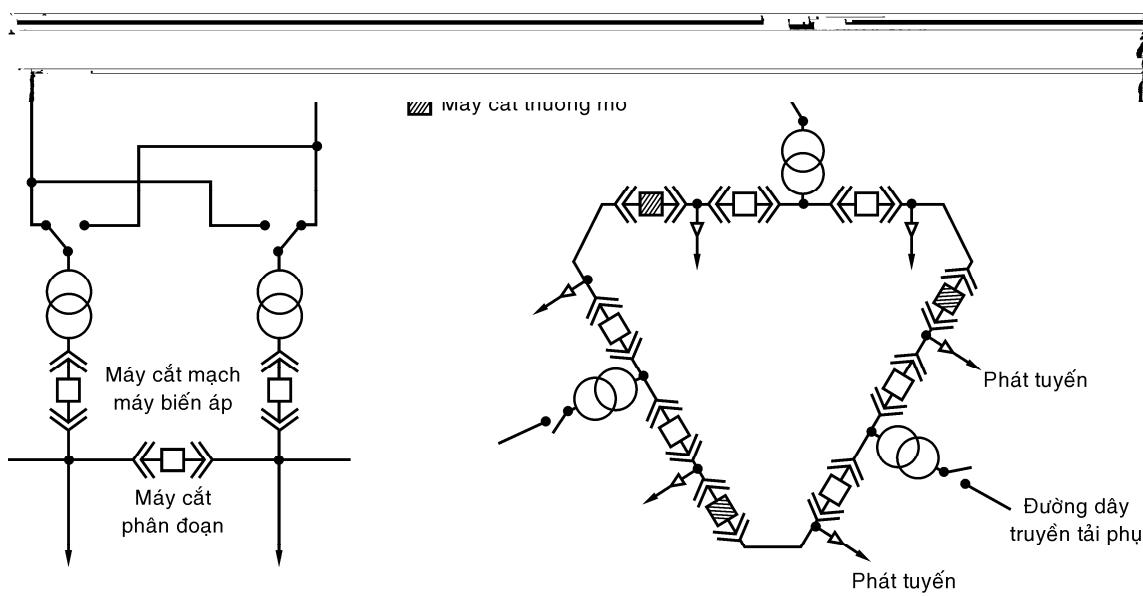
Sơ đồ này giá thành không cao và độ tin cậy thấp và chỉ dùng ở nông thôn hay đô thị có mật độ phụ tải thấp. Trong hệ thống mạng phân phối sơ cấp, các trạm này được dùng ở những nơi có mật độ phụ tải cao (H.1.7) và các cấu trúc mạng điện phải có độ tin cậy cần thiết. Một phương án khác của mạch truyền tải phụ, có cách bố trí khí cụ có thể thao tác bằng tay hay tự động như trong H.1.12.



**Hình 1.12:** Trạm biến áp phân phối đơn giản với cách bố trí chuyển mạch phía sơ cấp

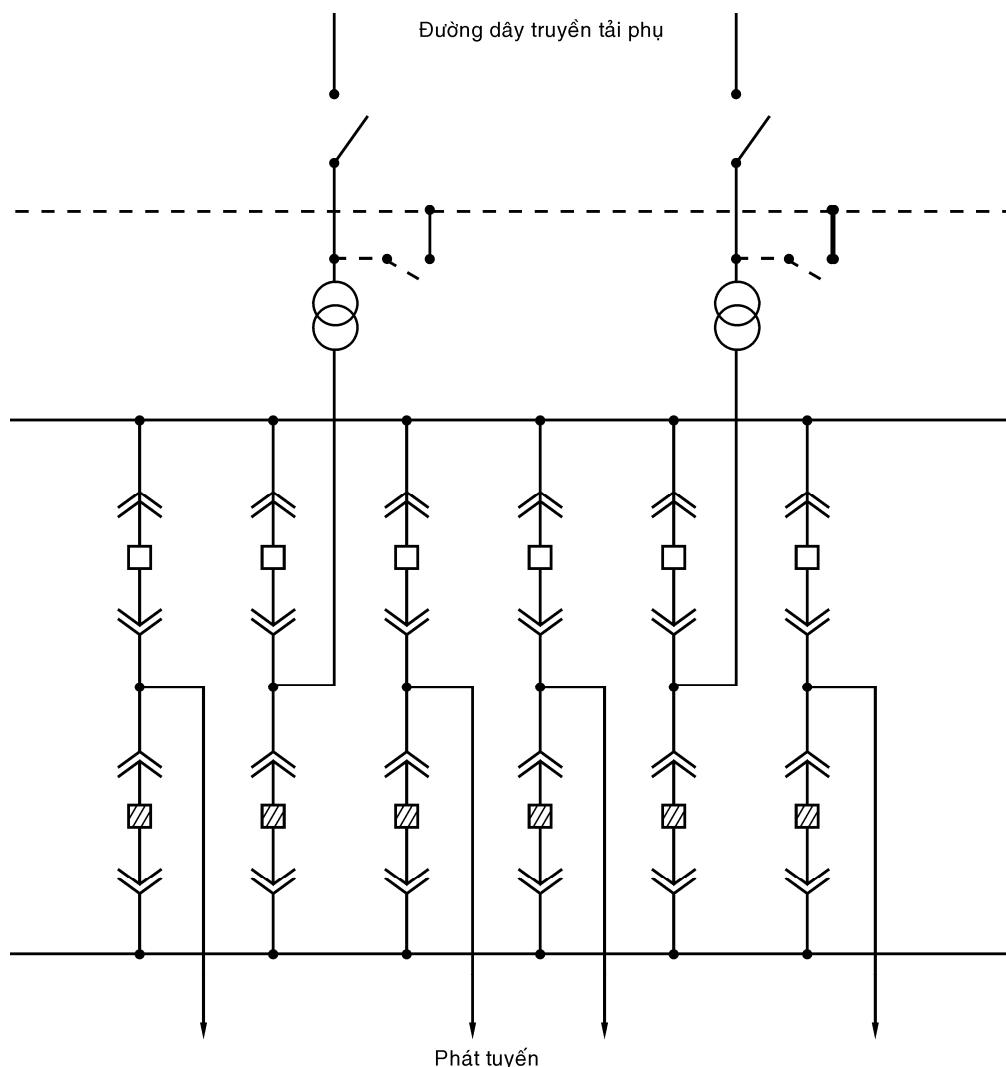
Hai sơ đồ đầu a) và b) giải thích tương tự như ở H.1.9 và H.1.10, sơ đồ thứ ba c) đắt tiền hơn nhưng được chuộng hơn không những vì chuyển mạch tự động khi có sự cố trên đường dây truyền tải phụ mà bởi vì nó vẫn hoạt động trong trường hợp một máy biến áp bị hư hỏng.

Khi nối với đường dây lộ kép H.1.9, một trong hai máy cắt của H.1.12c) (thay dao cách ly bằng máy cắt) ở vị trí thường mở và nó chỉ đóng lại nếu máy cắt kia mở ra khi không có điện áp về phía nối với đường dây truyền tải phụ. Mặt khác, khi mắc với sơ đồ hệ thống mạch kín hay hệ thống mạng điện (như H.1.10) cả hai máy cắt đều thường đóng. Sự chuyển đổi dao cách ly tự động cùng với việc giảm bớt số máy cắt có thể được thực hiện bằng cách dùng máy cắt nối phân đoạn ở thanh gộp điện áp thấp (H.1.13).



**Hình 1.13:** Trạm biến áp phân phối với máy cắt nối phân đoạn phía điện áp thấp

Trong H.1.13a máy cắt phân đoạn có thể thường đóng hay thường mở tùy theo sơ đồ bảo vệ. H.1.13b là sự phát triển của sơ đồ H.1.13a cho trạm có nhiều phát tuyến, mỗi máy biến áp thường cung cấp cho hai phát tuyến và nếu một trong các máy biến áp bị mất điện từ phía truyền tải phụ thì hai phát tuyến được chuyển sang các phân đoạn lân cận qua máy cắt phân đoạn. Để ý rằng chỉ có 50% quá tải sự cố được phân bổ trên mỗi máy biến áp còn lại. Các hệ thống đặc biệt tin cậy chẳng hạn hệ thống mạng thứ cấp cũng đòi hỏi được cung cấp từ các trạm biến áp phân phối đặc biệt tin cậy. Sơ đồ H.1.14 dùng hệ thống hai thanh góp phía điện áp thấp.



**Hình 1.14:** Trạm biến áp phân phối với thanh góp phía thứ cấp

Sơ đồ này tin cậy vì không những chuyển mạch tự động cho các phát tuyến trong trường hợp có sự cố trên hệ thống truyền tải phụ hay máy biến áp mà ngay cả khi có sự cố trên thanh góp. Trong trường hợp sự cố thanh góp trên, tất cả các phát tuyến và máy biến áp được chuyển về thanh góp dưới dùng làm dự trữ. Hệ thống này cũng tạo sự dễ dàng để bảo trì, sửa chữa thanh góp. Về phía truyền tải phụ có thể có hay không có thanh góp phụ (vẽ đứt nét trong H.1.14) dùng để cung cấp cho máy biến áp khi đường dây truyền tải phụ nối với máy biến áp

này bị sự cố. Còn nhiều sơ đồ phức tạp hơn cũng được dùng bên phía truyền tải phụ ngay cả dùng hệ thống thanh góp đôi như ở phía điện áp thấp. Vì sự cố máy biến áp ít khi xảy ra cho hệ thống truyền tải phụ nên sự cố máy biến áp không là vấn đề quan tâm, máy biến áp được bảo vệ như một phần của đường dây truyền tải phụ và sẽ không có máy cắt hay cầu chì ở phía cao áp của máy biến áp trừ khi dòng ngắn mạch gây ra bởi sự cố máy biến áp quá nhỏ đến nỗi không tác động máy cắt đường dây.

## **1.10 CẤP TRUYỀN TẢI CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN**

Hệ thống truyền tải khác với hệ thống truyền tải phụ về tính chất và về vận hành. Sự khác biệt này một phần là do khối công suất duy trì trong hệ thống truyền tải lớn hơn nhiều. Sự khác biệt chủ yếu là trong khi các hệ thống truyền tải phụ và phân phối nhận điện năng từ một nguồn duy nhất và chuyển tải cho các phụ tải riêng biệt hay cho các trạm biến áp phân phối thì hệ thống truyền tải liên kết tất cả các nguồn phát điện trong hệ thống và do vậy, ngoài việc chuyển tải công suất đến các trạm trung gian và các phụ tải lớn, hệ thống truyền tải còn điều độ việc trao đổi hay sự tham gia hỗ trợ giữa các nhà máy được liên kết.

Theo tính chất của phụ tải mà hệ thống truyền tải cung cấp có hai loại hệ thống điện:

### **1- Hệ thống điện kiểu đô thị**

Hệ thống này cung cấp cho khu vực đô thị tương đối nhỏ nhưng có mật độ phụ tải rất cao. Trong một số trường hợp các nhà máy điện được đặt trong vùng phụ tải của hệ thống điện, trong các trường hợp khác thì phần chủ yếu của các nguồn phát là nhà máy thủy điện được đặt ở cách xa thành phố. Trong trường hợp sau này điện năng được tải đến thành phố từ các nhà máy thủy điện qua các đường dây truyền tải dài.

### **2- Hệ thống điện kiểu không tập trung**

Tên hệ thống điện nông thôn thường dùng để gọi hệ thống này đôi lúc không thích hợp vì có hệ thống cung cấp một vùng lãnh thổ rộng lớn trong đó có thể có các địa phương tập trung phụ tải lớn (các thị xã, thị trấn, khu công nghiệp) cũng như các vùng nông thôn có phụ tải nhỏ.

Trên cơ sở về phương cách liên kết và vận hành song song các nhà máy điện duy trì bên trong hệ thống có thể chia làm ba kiểu căn bản mặc dù hệ thống thực tế có sự đa dạng.

### **3- Hệ thống được đồng bộ ở phụ tải**

Trong trường hợp này, không có sự nối trực tiếp giữa các nhà máy điện hoặc ngay cả giữa các máy phát riêng lẻ trong cùng một nhà máy mà mỗi phụ tải quan trọng được cung cấp từ hai hay nhiều máy phát hay trạm phát điện sao cho những máy phát hay trạm phát điện này được nối song song ở phụ tải. Hệ thống này không tin cậy và đã lỗi thời vì khi một nguồn phát bị cắt ra, các nguồn khác phải gánh tải, do đó chúng sẽ quá tải và có thể bị cắt ra khỏi lưới, cuối cùng toàn bộ hệ thống bị cắt điện và sự cố "rã lưới" xảy ra. Hệ thống cũ xưa này cung cấp cho mạng điện thứ cấp lớn liên kết chặt chẽ trong thành phố mà các phát tuyến được cung cấp từ các nhà máy và chính những nhà máy này không còn cách liên kết nào khác ngoại trừ thông qua mạng điện hạ áp. Do có sự cố rã lưới mà hệ thống thứ cấp được chia ra làm nhiều khu vực nhỏ trước khi nó có thể được tái lập lại vì khó lòng mà tái lập đồng thời cho toàn bộ hệ thống từ tất cả các nguồn phát, rõ ràng là không thể được. Kiểu đồng bộ tại phụ tải này không còn sử dụng nữa nhưng ở đây được nêu ra để cho thấy về yêu cầu phải có một cấu trúc hệ thống hợp lý.

#### **4- Hệ thống liên kết yếu**

Trong trường hợp này hệ thống được chia thành những vùng phụ tải (H.1.15) được bao bọc bởi các máy cắt sao cho chúng có lập toàn bộ các vùng phụ tải trong trường hợp sự cố nặng nề, đòi hỏi phải có sự cung cấp như vậy. Mỗi vùng có nguồn phát điện riêng hay có thể một phần của các nhà máy có khả năng phát điện đủ để cung cấp cho phụ tải nếu vùng đó bị tách rời khỏi phần còn lại của hệ thống. Để duy trì vận hành một hệ thống như vậy đòi hỏi phải có sự theo dõi cẩn thận vì có sự chuyển tải có tính cơ hội giữa các vùng, vì vậy tính linh hoạt trong vận hành bị hạn chế. Tuy vậy, sự cố chồng chất do mất điện khó có thể xảy ra và nếu có xảy ra thì cũng dễ dàng tái lắp lại.

Một dạng khác của hệ thống liên kết yếu là toàn hệ thống được chia làm hai hệ thống độc lập các đường dây truyền tải cao áp. Mỗi hệ thống được cung cấp khoảng một nửa tổng công suất phát trong toàn hệ thống. Hai hệ thống này được liên kết song song với nhau về mặt địa lý nhưng chúng được đồng bộ với nhau qua các đường dây liên kết và các phụ tải quan trọng được cung cấp liên lạc nhau giữa hai hệ thống.

#### **5- Hệ thống liên kết chặt chẽ**

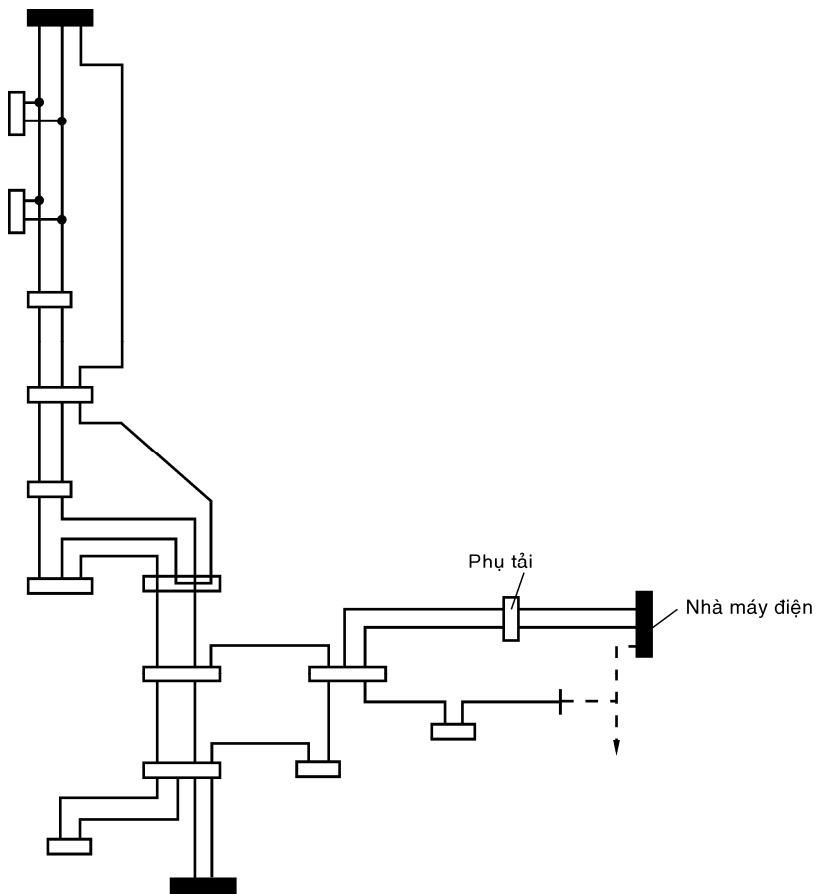
Trong khi hệ thống liên kết yếu chỉ xem các đường dây liên kết giữa các vùng có tính dự trữ lục sự cố hay lú khẩn cấp và duy trì một dòng công suất thấp trên những đường dây này trong tình trạng bình thường thì hệ thống liên kết chặt sử dụng một mạng điện liên kết vững chắc trong đó không có dụng ý xác định các vùng phụ tải mà hơn thế nữa các đường dây truyền tải được sử dụng tùy ý để có thể truyền tải điện năng từ nơi sản xuất kinh tế nhất đến nơi mà nó cần được tiêu thụ đúng vào lúc cần thiết.

Trong trường hợp xảy ra sự cố, hệ thống này liên hệ một cách tuyệt đối đến khả năng dự trữ trong hệ thống sau khi đã loại trừ đường dây hay thiết bị bị sự cố. Việc thực hiện này làm tăng tính kinh tế cũng như tính vận hành linh hoạt của hệ thống. Sự tin cậy còn tùy thuộc vào các thiết bị bảo vệ và khả năng dự trữ sẵn có bên trong hệ thống và tính ổn định của hệ thống.

Về mặt cấu trúc có ba kiểu căn bản của hệ thống truyền tải được phân biệt như sau:

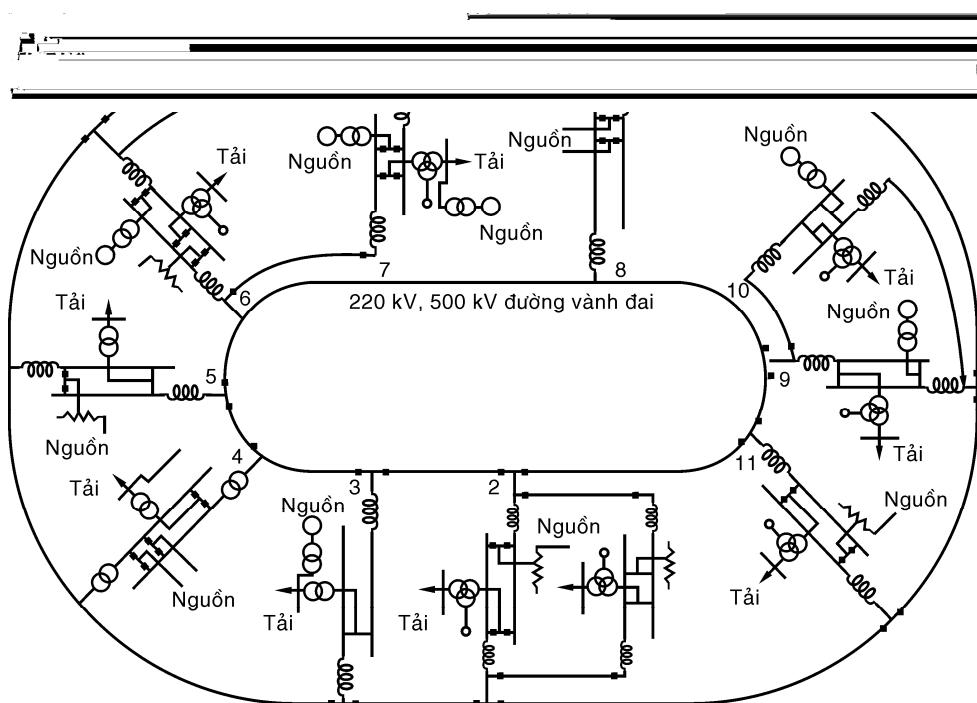
a) Hệ thống mạng điện hoàn toàn là kiểu tổng quát nhất nó có thể được liên kết yếu hoặc chặt chẽ. Vì bất kỳ phụ tải nào cũng được cung cấp bằng nhiều đường dây đưa đến nên những mạng điện kiểu này phù hợp hơn cho hệ thống điện liên kết chặt.

b) Kiểu “xương sống” gồm một số các đường dây truyền tải mạnh kéo dọc xuyên suốt hệ thống (H.1.15). Phụ tải và nhà máy được phân bố dọc theo xương sống trong đó nhà máy biểu diễn bằng khối tô đậm.



**Hình 1.15:** Hệ thống điện liên kết kiểu xương sống

c) Kiểu vòng đai



**Hình 1.16:** Hệ thống liên kết kiểu vòng đai

Hình 1.16 là một ví dụ về kiểu vành đai tương tự như kiểu xương sống ngoại trừ xương sống khép kín thành vành đai. Kiểu hệ thống thường được dùng cung cấp cho khu vực đô thị. Để ý rằng các đường dây vành đai theo nghĩa rộng biểu diễn cho hệ thống hai thanh gòp vòng bọc quanh thành phố.

Hệ thống truyền tải có ít nhất hai cấp điện áp chúng có thể hoặc phối hợp phụ thuộc (khi mà cấp điện áp cao chồng lên cấp điện áp thấp hơn trên khắp vùng và biểu diễn cho một loại đường tốc hành để cung cấp cho cấp điện áp thấp hơn ở một số điểm thích hợp hoặc phối hợp ngang cấp nhau trong đó hai cấp điện áp có cùng chức năng như nhau nhưng ở hai vùng khác nhau. Ở Việt Nam các cấp điện áp tiêu biểu là: 110 kV, 220 kV, 500 kV. Các đường dây truyền tải thường là đường dây trên không ba pha ba dây, không có dây trung tính nhưng có trung tính nối đất tại các trạm biến áp.

## 1.11 CẤP LIÊN HỢP HỆ THỐNG

Hệ thống điện liên kết ngày nay được phát triển vì ngành công nghiệp năng lượng sớm nhận thức rằng nếu liên kết tất cả các phương tiện sản xuất điện năng của một công ty điện lực sẽ phát huy đáng kể tính kinh tế và độ tin cậy trong vận hành và lượng công suất dự trữ nhàn rỗi có thể được huy động đúng mức. Càng về sau càng nhận thức được rằng những thuận lợi tương tự cũng có thể thực hiện trên bình diện rộng lớn hơn nếu như tổ hợp tất cả các phương tiện của nhiều công ty khác nhau trên một vùng địa lý rộng lớn (thường trong phạm vi liên bang như ở Mỹ, Nga, hay hệ thống điện liên hợp ở châu Âu, Bắc Mỹ). Việc kết thành một khối hợp nhất này được thực hiện bằng cách liên kết các công ty điện lực với nhau qua các đường dây nối. Các thuận lợi rút ra từ phương thức này và đường dây nối giữa các nhà máy và giữa các hệ thống độc lập nói chung được xây dựng vì những lý do như sau:

- 1) Để tập trung việc huy động khả năng dự trữ của toàn hệ thống;
- 2) Cho phép trao đổi điện năng với chi phí sản xuất kinh tế nhất;
- 3) Tận dụng được sự phân tán theo thời gian của các phụ tải đỉnh của hệ thống hay của các vùng (sự không đồng thời giữa các phụ tải đỉnh);
- 4) Cung cấp khả năng truyền tải đến các trạm biến áp phân phối đặt ở các trung tâm phụ tải (bằng cách khác thì sẽ không cung cấp điện đầy đủ được).

Vì những lý do liên kết các nhà máy điện bên trong một hệ thống điện cũng tương tự như lý do liên kết nhiều hệ thống điện bên trong một hệ thống liên hợp và như vậy hệ thống liên hợp cũng phát sinh ra các vấn đề tương tự như trong hệ thống điện. Tuy vậy, đường dây nối trong hệ thống điện liên hợp cũng tồn tại nhiều vấn đề đặc biệt vì có hai sự khác biệt giữa hai loại hệ thống này.

- 1) Các nhà máy điện liên kết bên trong hệ thống điện thường thuộc về cùng một công ty hoặc cùng chịu sự quản lý chung trong khi các đường dây nối liên kết các hệ thống điện có chủ quyền khác nhau.
- 2) Sự liên kết bên trong hệ thống thường là liên kết chặt chẽ. Khả năng tải trên các đường dây liên kết cũng cân xứng với khả năng phát điện của các nhà máy được liên kết. Trong khi đó phần lớn các đường dây nối trong hệ thống liên hợp thường là liên kết yếu, khả năng tải của chúng chỉ là một phần nhỏ so với tổng công suất của các hệ thống được liên kết.

## 1.12 CÁC BÀI TOÁN CHÍNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Trên đây đã mô tả sơ lược cấu trúc của một hệ thống điện và ít nhiều đã đề cập đến các vấn đề chính của hệ thống. Trong tình trạng vận hành bình thường (ở chế độ xác lập) của hệ thống, mục tiêu là sản xuất điện năng tại nơi được coi là kinh tế nhất vào thời điểm đang xét và truyền tải, phân phối điện năng đó đến các điểm cần được cung cấp với điện áp và tần số được duy trì trong giới hạn cho phép. Sự phức tạp của công tác này có thể phát sinh do sự liên kết của các nhà máy điện và tính đa dạng của các phụ tải.

Khi sự cố xảy ra, sự cố phải được loại trừ bằng cách chọn lọc đoạn đường dây hay thiết bị bị sự cố khi cắt có nối đến phần tử bị sự cố. Đây là nhiệm vụ của bảo vệ role của hệ thống bảo vệ mạng điện (còn gọi là mạch nhị thứ), hệ thống bảo vệ này sẽ ra lệnh cắt đúng máy cắt cần thiết. Trong mạng điện rộng lớn, việc chọn đúng những máy cắt này là một bài toán phức tạp theo đó phải thiết kế một hệ thống bảo vệ để đối phó với bài toán này, các khảo sát chính xác về sự phân bố dòng điện và điện áp là cần thiết đối với ngắn mạch đối xứng và không đối xứng. Các khảo sát này cũng cho phép chọn lựa máy cắt điện có khả năng cắt thích hợp.

Hệ thống điện xoay chiều liên kết hai hay nhiều nhà máy có các giới hạn công suất vốn có và các giới hạn này có khả năng gây ra dao động cơ điện của rôtor máy phát nếu hệ thống bị đột biến do ngắn mạch. Mọi chế độ giới hạn vượt quá công suất hay để cho hình thành các dao động quá mức đều gây ra mất đồng bộ giữa các máy phát điện và gây ra sự sụp đổ toàn diện trong vận hành hệ thống (rã lưới). Điều này phát sinh vấn đề quan trọng của hệ thống là ổn định hệ thống điện.

Vấn đề mức cách điện bị chi phối nhiều bởi quá điện áp hơn là lúc vận hành bình thường. Có thể là quá điện áp tần số công nghiệp (50 Hz) gây ra bởi ngắn mạch chạm đất trên đường dây dài và ngay cả trên đường dây dài đang không tải nhưng có mang điện áp, hoặc có thể là quá điện áp hoạ tần gây ra khi có ngắn mạch không đối xứng trên đường dây dài được cung cấp từ máy phát điện cực lồi không có cuộn cảm hoặc cũng có thể là quá điện áp quá độ gây ra do quá trình đóng cắt các phần tử trong hệ thống (quá điện áp nội bộ) hay quá điện áp khí quyển do sét đánh vào đường dây hay trạm biến áp.

Các quá điện áp này đòi hỏi phải có sự phối hợp hợp lý các mức cách điện và thiết kế cách điện đường dây, việc phát triển các loại chống sét cũng nhằm bảo vệ các phần tử chống quá điện áp. Còn nhiều vấn đề khác có liên quan đến việc vận hành hệ thống chẳng hạn như: phương pháp nối đất trung tính của máy biến áp và máy phát, sự kết hợp đường dây điện lực và đường dây thông tin để tránh nhiễu loạn, các phương pháp đối phó với tình trạng khẩn cấp khi có sự mất tạm thời một nguồn phát điện, lượng dự trữ công suất cần thiết, sự thích nghi với phát triển trong tương lai, qui hoạch và thiết kế hệ thống điện, đảm bảo tính linh hoạt vận hành các thiết bị theo quan điểm bảo quản các thiết bị... Giải pháp của bất cứ vấn đề nào cũng đặt trên cơ sở kết hợp các nhu cầu kỹ thuật và tính khả thi về mặt kinh tế.

Trong các mục trước đã đề cập đến hệ thống điện bao gồm chủ yếu các đường dây tải điện từ các đường dây nối liên kết thành hệ thống điện liên hợp cho đến tận các đoạn dây nhỏ cung cấp cho nhà dùng điện. Như vậy, cơ bản cho mọi khảo sát hệ thống điện là việc khảo sát các vấn đề của đường dây truyền tải. Theo đó, một phần của giáo trình này tập trung vào vấn đề

của đường dây tải điện. Để khảo sát vận hành của riêng một đường dây cần thiết phải biết các đặc trưng của đường dây như điện cảm, điện dung và xác định các hằng số của đường dây.

### 1.13 GIỚI THIỆU HỆ THỐNG ĐIỆN VIỆT NAM

Căn cứ vào đặc điểm địa lý kỹ thuật của nước ta, có thể chia hệ thống điện toàn quốc thành ba hệ thống điện:

- Hệ thống điện miền Bắc: bao gồm các tỉnh miền Bắc từ Hà Tĩnh trở ra.
- Hệ thống điện miền Trung: bao gồm các tỉnh duyên hải miền Trung từ Quảng Bình đến Khánh Hòa và ba tỉnh Tây nguyên: Kon Tum, Gia Lai và Đắc Lắc.

Hiện nay tổng công suất lắp đặt của các nhà máy điện là 5705 MW, trong đó thủy điện chiếm 54%, nhiệt điện 22%, diesel và tuabin khí 24%. Điện năng sản xuất năm 1999 là 23763 triệu kWh.

Hiện trạng lưới điện (theo số liệu năm 2000):

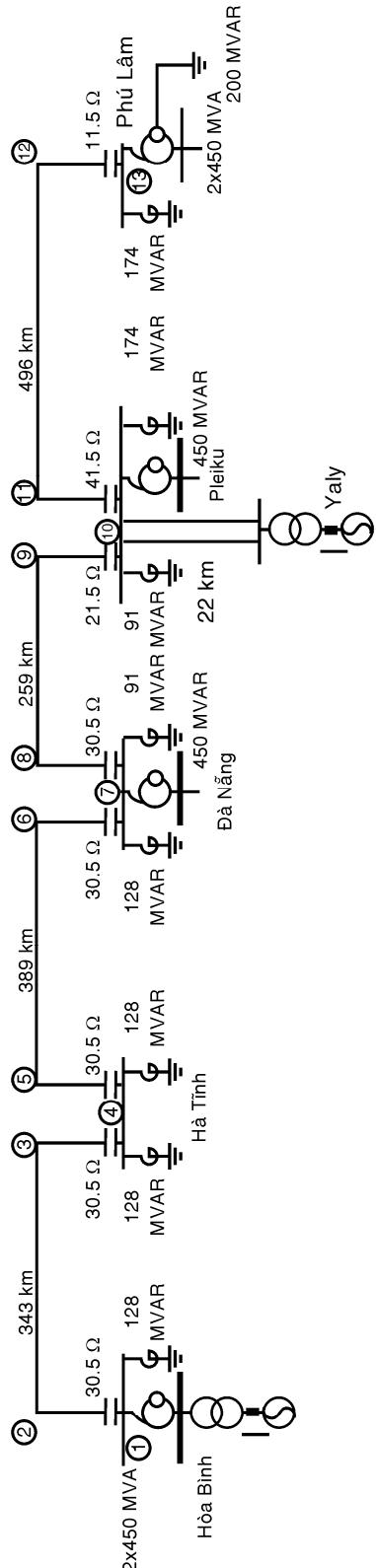
- Đường dây 500 kV: 1514 km với dung lượng đặt máy biến áp: 2850 MVA.
- Đường dây 220 kV: 3732 km với dung lượng đặt máy biến áp: 5817 MVA.
- Đường dây 66–110 kV: 7851 km với dung lượng đặt máy biến áp: 7328 MVA.
- Đường dây trung thế: 50464 km với dung lượng máy biến áp: 10395 MVA.

Công suất đặt (MW) của các nhà máy điện hiện có gồm:

NHÀ MÁY ĐIỆN	CÔNG SUẤT (MW)	NHÀ MÁY ĐIỆN	CÔNG SUẤT (MW)	NHÀ MÁY ĐIỆN	CÔNG SUẤT (MW)
Thủy điện		Nhiệt điện		Tuabin khí	
Hòa Bình	1920	Phả Lại	440	Bà Rịa	271
Thác Bà	108	Uông Bí	110	Phú Mỹ 2.1	280
Đa Nhim	160	Ninh Bình	100	Phú Mỹ 2.2	720
Trị An	400	Thủ Đức	165	Phú Mỹ 3	720
Thác Mơ	150	Cần Thơ	33	Thủ Đức	128
Vĩnh Sơn	66	Hiệp Phước	375	Cần Thơ	75
Yaly	540	Ô Môn (năm 2006)	600	Diesel	
Hàm thuận	300			Tổng công suất	447
Đa Mi	177				
Thủy điện nhỏ	50				
Đại Ninh (năm 2003)	300				

Hệ thống đường dây tải điện Bắc Nam là hệ thống nối liền hệ thống điện các miền, hình thành hệ thống điện thống nhất trong cả nước đồng thời là trực xương sống của hệ thống điện Việt Nam. Từ khi đưa vào vận hành, hệ thống đã truyền từ Bắc vào Nam khoảng 13 tỷ kWh và từ Nam ra Bắc khoảng 1,5 tỷ kWh. Hệ thống truyền tải 500 kV Bắc Nam thực sự là đường dây liên kết hệ thống hiện nay, truyền tải điện theo cả hai chiều, nâng cao độ tin cậy, an toàn hệ thống đồng thời tạo điều kiện khai thác tối ưu các nguồn của hệ thống.

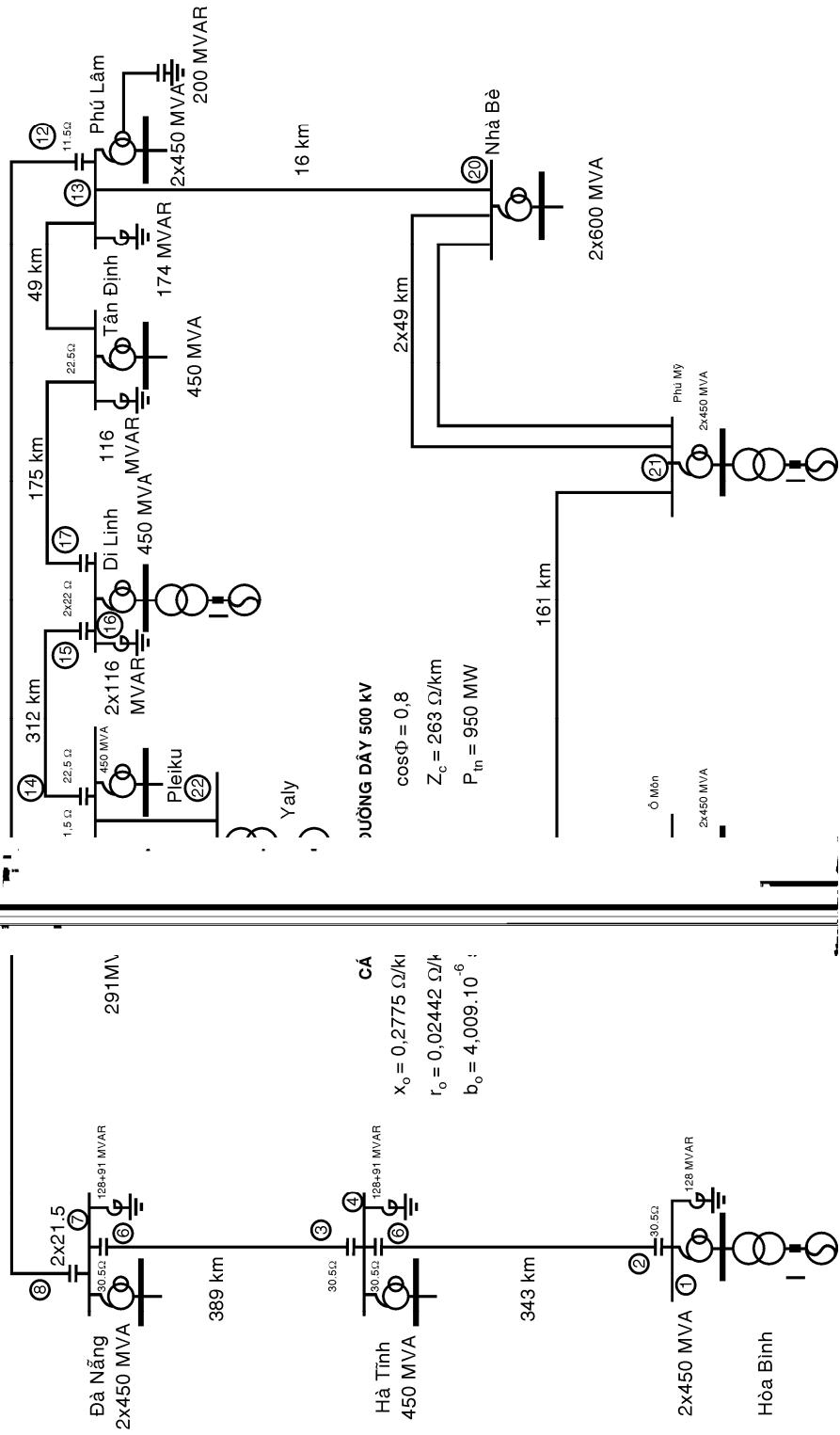
**SƠ ĐỒ ĐƠN TUYẾN ĐƯỜNG DÂY 500 KV VIỆT NAM (2000)**

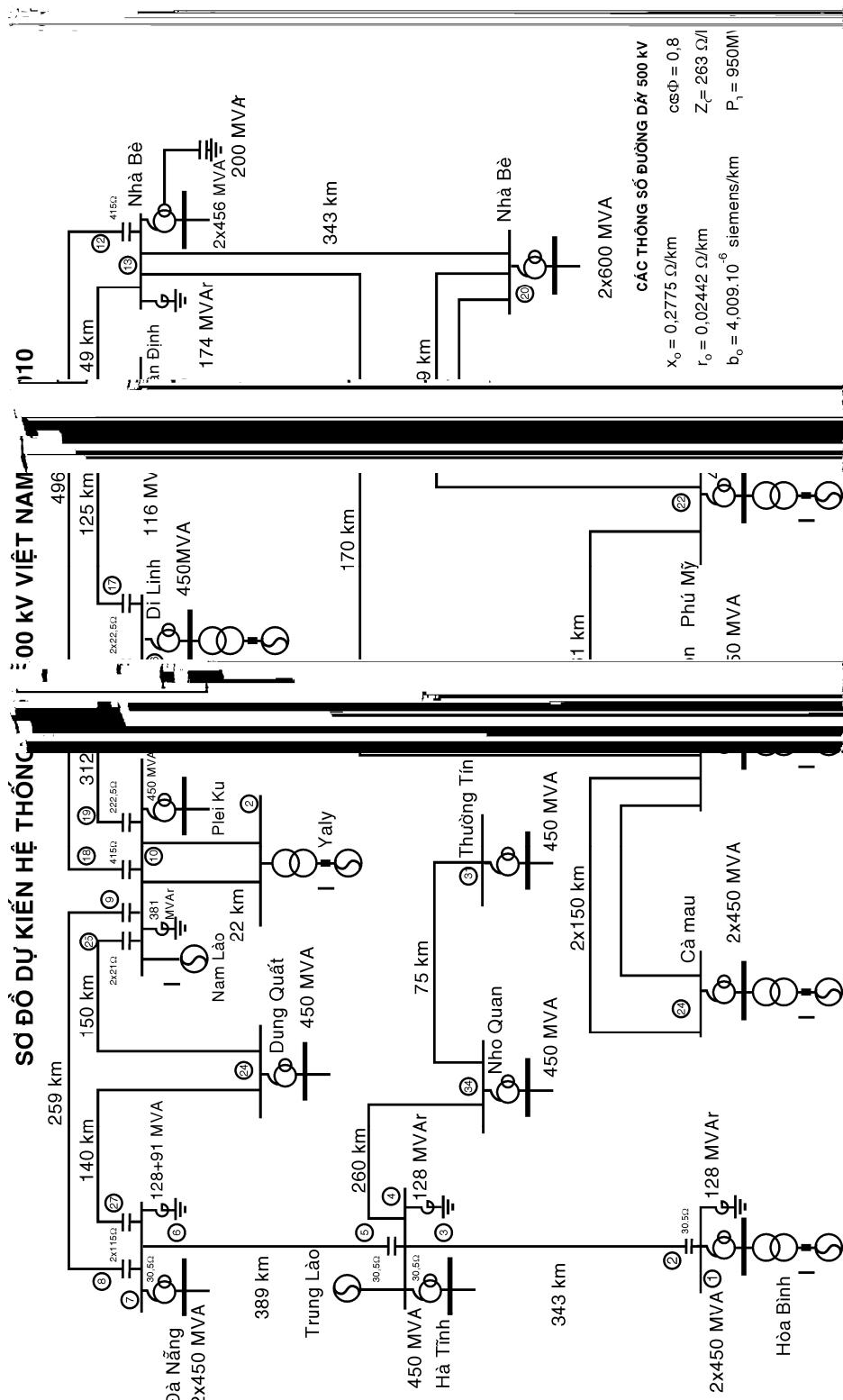


CÁC THÔNG SỐ ĐƯỜNG DÂY 500 kV

SƠ ĐỒ DỰ KI

TỔNG ĐIỆN 500 KV VIỆT NAM NĂM 2005





## Chương 2

### THÔNG SỐ ĐƯỜNG DÂY VÀ CÁP

#### 2.1 CÁC ĐẶC TÍNH CỦA DÂY DẪN

##### 2.1.1 Cấu tạo dây dẫn tải điện trên không

Để xây dựng các đường dây cao áp, hầu như dùng ưu tiên dây dẫn bằng nhôm vì lý do kinh tế và dễ thực hiện. Phần lớn các dây dẫn làm bằng nhôm lõi thép, almelec (hợp kim của nhôm) và bằng almelec lõi thép, ít khi dùng cáp bằng nhôm tinh chất.

Dây chống sét hoặc bằng thép mạ kẽm hoặc là bằng almelec lõi thép. Cáp gồm nhiều sợi dây thép có bọc nhôm bên ngoài (nhôm kéo trên thép) sử dụng tốt cho dây nối đất, dây này cũng thay cho lõi thép mạ của dây nhôm lõi thép, tuy nhiên giá thành còn đất.

Tất cả dây nhôm được dùng dưới dạng cáp nhiều sợi vặn xoắn. Cáp đồng nhất được chế tạo bằng nhiều sợi có cùng đường kính. Chúng gồm một sợi dây trung tâm ở giữa bao bọc bên ngoài bằng nhiều lớp dây quấn vặn xoắn. H.2.1 trình bày cáp nhôm 7 sợi. Ngoài ra có một số các loại cáp như sau:

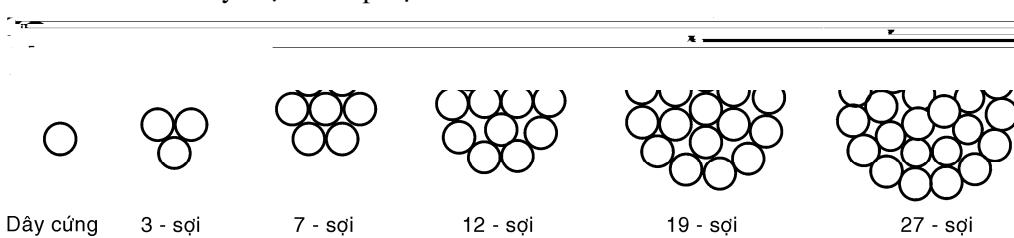
Cáp	Số lượng sợi	Đường kính ngoài
1 ÷ 6	7	3d
7 ÷ 12	19	5d
19 ÷ 18	37	7d
37 ÷ 24	61	9d
61 ÷ 30	91	11d

d là đường kính của 1 sợi.

Hình 2.2. trình bày một số cáp vặn xoắn:

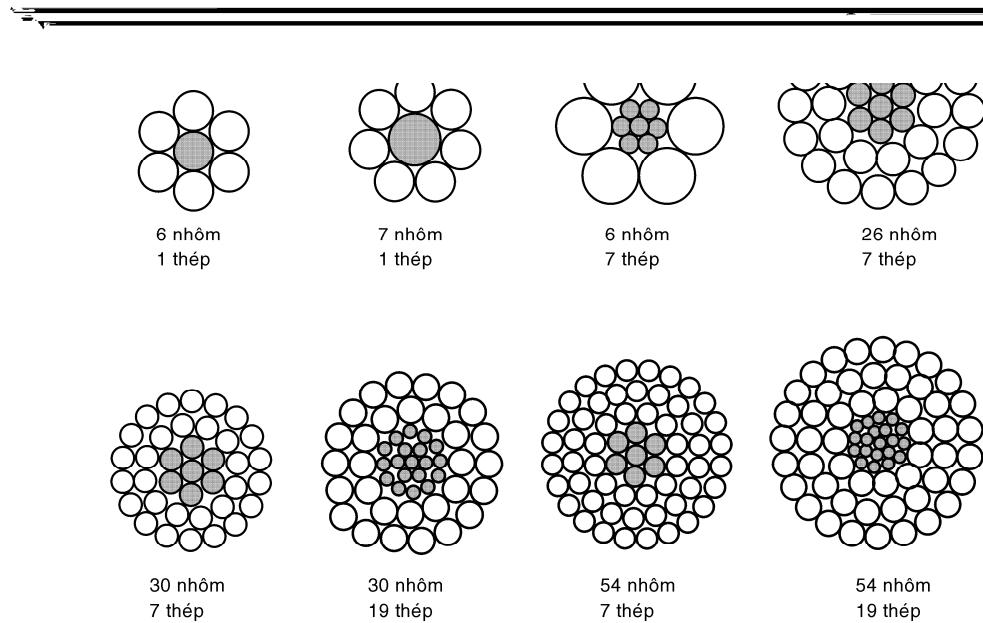


Hình 2.1

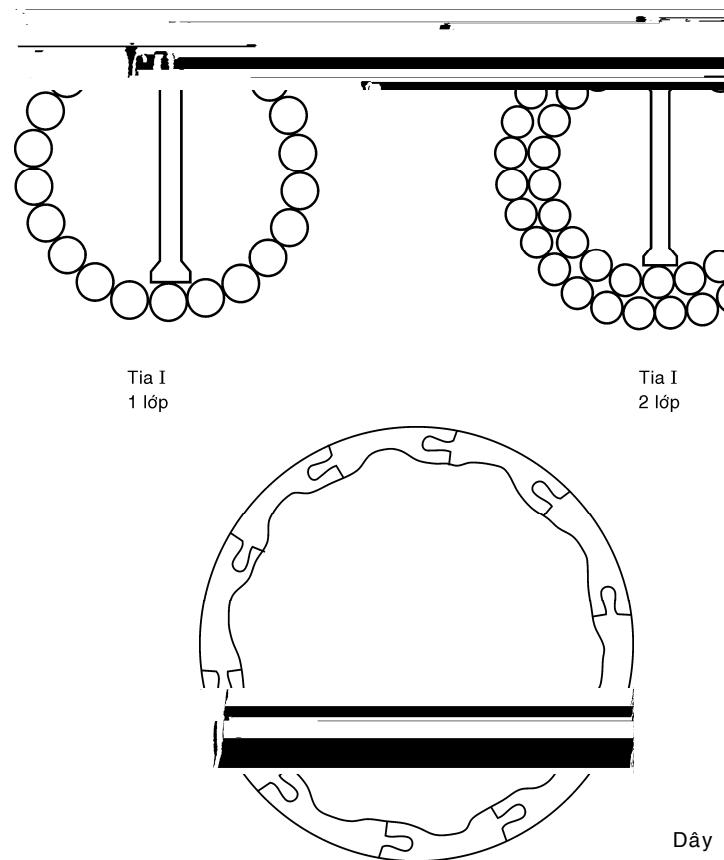


Hình 2.2

Các dây cáp phức hợp như cáp nhôm lõi thép (AC, ACSR) hay almelec-thép gồm các sợi có đường kính bằng nhau, tiết diện có thể đến  $250 \text{ mm}^2$  đến  $300 \text{ mm}^2$  (H.2.3). Tiết diện lớn hơn thường dùng cáp có sợi nhôm và sợi thép không cùng đường kính, cho phép thay đổi tỷ số giữa tiết diện phần nhôm với tiết diện phần thép để đảm bảo vừa sức bền cơ và tính dẫn điện của dây dẫn. Phần thép dùng tăng cường sức bền cơ khí, phần nhôm dùng để dẫn điện.



**Hình 2.3:** Một số dây nhôm lõi thép ACSR



**Hình 2.4:** Dây cáp rỗng

Một số đường dây tải điện siêu cao áp do yêu cầu phải tăng đường kính dây dẫn để giảm tổn thất vang quang và cảm kháng của đường dây nên có thể dùng dây rỗng (H.2.4), loại dây này ít được sử dụng vì lắp đặt khó và sức bền cơ cũng kém. Một dạng khác của dây dẫn đường dây siêu cao áp là mỗi pha của dây dẫn được phân làm nhiều dây đặt ở các đỉnh của một đa giác đều (tam giác, hình vuông, lục giác, ...) gọi là dây phân pha.

Dây dẫn bằng đồng ít thấy dùng ở đường dây cao áp do đồng là kim loại màu quý hiếm, đắt tiền chỉ dùng ở đường dây hạ áp và trung áp nhưng dần dần cũng có khuynh hướng thay bằng dây nhôm.

### 2.1.2 Ký hiệu dây dẫn

#### Dây Pháp

Dây hợp kim nhôm dùng ở Pháp có tên Almelec được tiêu chuẩn bằng ký hiệu AGS/L. Bảng dây cho biết các số liệu về tiết diện định mức của dây, số sợi nhôm và thép.

#### Dây Nga

Các loại dây dẫn được ký hiệu bằng chữ cái và chữ số:

Chữ cái dùng để chỉ vật liệu làm ra dây đó. Các chữ cái như sau: **M**: đồng ; **A**: nhôm ; **AC**: nhôm lõi thép ; **ACY**: nhôm lõi thép tăng cường ; **PC**: thép.

Chữ số chỉ tiết diện của dây ( $\text{mm}^2$ ).

*Ví dụ:* Dây AC-120 là dây nhôm lõi thép và tiết diện phần nhôm dẫn điện là  $120 \text{ mm}^2$ .

Muốn biết thêm chi tiết phải tra bảng.

#### Dây Mỹ

Vì đơn vị đo lường của Mỹ khác với đơn vị đo lường quốc tế nên sau đây giới thiệu một số đơn vị liên quan đến dây dẫn giúp người đọc có thể tham khảo các bảng dây sản xuất ở Mỹ.

Circular mil (cmil hay CM) được dùng làm đơn vị của tiết diện dây vì hầu hết các dây dẫn hay sợi dây của cáp có tiết diện tròn. Sau đây là các đơn vị về chiều dài:

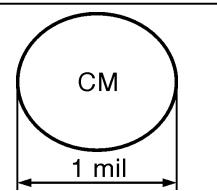
$$1 \text{ mil} = 0,001 \text{ inch} = 0,001 \times 2,54 = 2,54 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}; \quad 1 \text{ cm} = 0,3937 \text{ inch} = 393,7 \text{ mil}$$

$$1 \text{ mile} = 1609 \text{ m} = 1,609 \text{ km}; \quad 1 \text{ km} = 0,6214 \text{ mile}$$

$$1 \text{ foot} = 30,48 \text{ cm} = 3,048 \text{ dm}; \quad 1 \text{ m} = 3,281 \text{ foot}$$

$$1 \text{ foot} = 12 \text{ inch}$$



Về đơn vị tiết diện circular mil (CM) được định nghĩa là tiết diện tròn có đường kính bằng 1 mil hay 0,001 in.  $1 \text{ CM} = 5,067 \times 10^{-4} \text{ mm}^2 \approx 5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$ .

Bội số của CM là MCM:

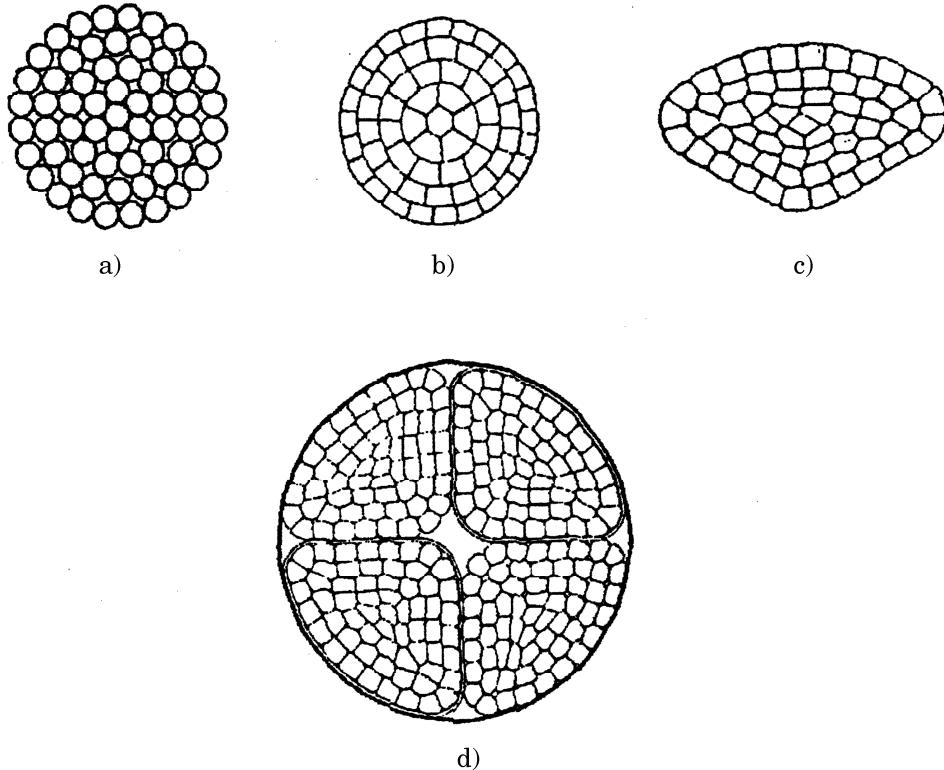
$$1 \text{ MCM} = 1000 \text{ CM} \approx 0,5 \text{ mm}^2$$

*Ví dụ:* Dây nhôm lõi thép tăng cường ACSR tiết diện 759.000 CM hay 759 MCM =  $759 \times 0,5 = 379,5 \text{ mm}^2$  tương đương với dây ACO-400 hay ACY-400 của Nga.

### 2.1.3 Các loại cáp ngầm

Cáp ngầm có một hay nhiều lõi có vỏ bọc bảo vệ (thường là vỏ chì hay vỏ nhôm). Các dây dẫn được cách điện với nhau và cách điện với vỏ.

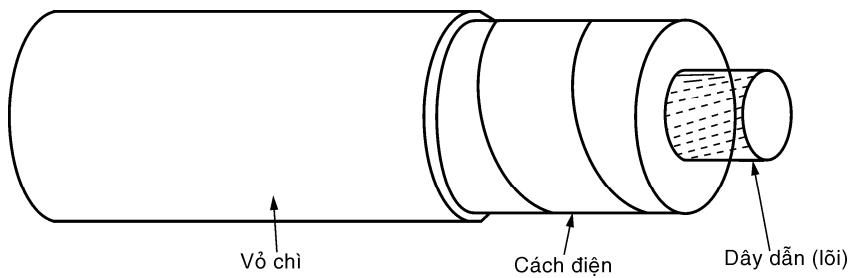
Lõi cáp được làm bằng dây đồng hay nhôm nhiều sợi vặn xoắn. Cáp một lõi dây dẫn có tiết diện tròn, trong cáp nhiều lõi dây dẫn có tiết diện hình quạt (hay bầu dục) để tận dụng khoảng không gian bên trong vỏ cáp (H.2.5).



**Hình 2.5:** Một vài kiểu tiết diện dùng trong cáp ngầm

Dây dẫn rỗng ở giữa được dùng cho loại cáp đầy dầu. Cách điện được dùng là giấy tẩm dầu, cao su, vải tẩm verni, đối với cáp ngầm cao áp cách điện chủ yếu là giấy tẩm dầu.

Ở điện áp cao vừa phải (đến 30 kV) cách điện được dùng có kết cấu rắn chắc (H.2.6), cách điện này là một băng giấy quấn thật chặt quanh lõi. Sau khi quấn giấy, cáp được tẩm chân không bằng dầu cách điện có độ nhớt cao. Vì cách điện rắn có khuynh hướng tồn tại các khe hở (chứa đầy hơi của chất tẩm cách điện) là nơi gây ra phóng điện trong chất khí (vàng quang) nên cách điện loại này không dùng cho điện áp cao.



**Hình 2.6:** Cáp một lõi, cách điện bằng giấy, vỏ chì

Ở cáp cao áp, hợp chất tẩm có độ nhớt cao được thay bằng chất có độ nhớt thấp (cáp đầy dầu) hoặc thay bằng khí tro thường là khí nitơ (cáp đầy khí) được duy trì ở áp suất cao để lấp kín các khe hở nhằm tăng cường độ cách điện.

Cáp một lõi có dây dẫn đặt đồng trực bên trong vỏ chì, vỏ chì bao bọc bên ngoài lớp cách điện. Nếu cáp một lõi thuộc loại đầy dầu hay đầy khí (loại có áp suất thấp) thì dầu hay khí được dẫn vào từ bình chứa xuyên qua phần ruột rỗng của dây dẫn hay qua các đường ống đặt giữa lớp vỏ chì và giấy cách điện.

Các loại cách điện dùng trong chế tạo cáp điện:

**a) Cách điện bằng giấy tấm dầu**

Giấy cách điện được sản xuất từ xơ gỗ đã sulfat hóa. Trong sản xuất dây cáp điện, giấy cách điện được làm thành băng và quấn nhiều lớp lên ruột dẫn điện. Các lớp quấn phải thấm được dầu cách điện. Giấy cách điện cho cáp thường được dùng cho loại cáp cao áp. Ngày nay ít dùng giấy để làm cách điện cho dây cáp vì tính chất cơ lý của giấy không cao và các chất cách điện cao phân tử đã được làm dễ dàng và giá thành rẻ.

**b) Cách điện polyetylene (PE)**

Polime tổng hợp từ etylen, công thức chung  $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ . Polyetylen là chất nửa trong suốt, không màu. Tùy theo phương pháp điều chế mà nhiệt độ nóng chảy thay đổi từ 130 đến  $150^{\circ}\text{C}$ . Nếu tổng hợp dưới áp suất cao sẽ được polyetylen tỷ trọng thấp LDPE, nếu tổng hợp nhờ các chất xúc tác dưới áp lực thấp sẽ cho polyetylen tỷ trọng cao HDPE.

PE có cả tính bền kéo cao lẫn tính dẻo, cách điện tốt, bền đối với kiềm và axit hữu cơ, bị clor và fluor phân hủy. Ở nhiệt độ  $80^{\circ}\text{C}$  tan trong hydrocarbon, kể cả các dẫn xuất clor hóa. PE hầu như không bị phân hủy bởi các hóa chất ở nhiệt độ thường, bền dưới tác dụng của tia phóng xạ, vô hại về mặt sinh lý. Polyetylen là một trong các polyme rẻ tiền nhất, chiếm vị trí quan trọng trong sản xuất chất dẻo. Polyetylen có cấu tạo tinh thể không phân cực nên có đặc tính cách điện tốt.

Nhược điểm của PE là dễ bị nứt gãy dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời. Để khắc phục nhược điểm này người ta cho vào PE chất chống nứt gãy, chống tia cực tím.

**c) Cách điện polyvinilclorit (PVC)**

Polyme được tổng hợp từ vynil clorua, công thức chung  $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$ , là chất rắn màu trắng. Khi đun trên  $100^{\circ}\text{C}$  bị phân hủy rõ rệt. PVC tan trong dicloetan, nitrobenzen. PVC bền với tác dụng của hơi ẩm, axit, kiềm, dung dịch muối, hydrocarbon, dầu mỏ.

Tùy thuộc vào phương pháp chế tạo, lượng chất hóa dẻo, chất ổn định nhiệt và các loại chất độn thêm vào, tính chất cơ lý của PVC tăng lên, giá thành hạ.

Nhựa PVC được dùng làm chất cách điện cho dây cáp điện nhờ có nhiều tính chất tốt như dễ gia công nhiệt để tạo dạng, bền về hóa học, dưới tác dụng của nhiệt độ cao nó tự phân hủy thành khí Cl, HCl có tác dụng dập tắt lửa ...

Nhựa PVC có cấu tạo tinh thể dạng phân cực nên nó thường dùng được ở điện áp thấp và tần số công nghiệp.

**d) Cách điện cao su**

Cao su được dùng rất nhiều làm vật liệu cách điện nhất là cho các loại dây cần mềm dẻo. Tùy theo các phương pháp tổng hợp, các chất phụ gia thêm vào, các cách điện lưu hóa mà có những loại cao su khác nhau như cao su acrylat, cao su butadien, cao su butyl, cao su etylen-propylene. Trong sản xuất dây cáp điện ở Việt Nam, cao su thiên nhiên là loại được dùng nhiều chủ yếu. Cao su thiên nhiên được lưu hóa và trộn thêm nhiều hóa chất như chất hóa dẻo, chất độn, bột màu ...

### e) Cách điện polyetylen khâu mạch (XLPE)

XLPE là loại nhựa PE được tạo thêm liên kết ngang. Quá trình tạo thành liên kết ngang được thực hiện trên máy chuyên dụng và được kiểm soát các chế độ về nhiệt độ, tỷ lệ xúc tác, quá trình khâu mạch.

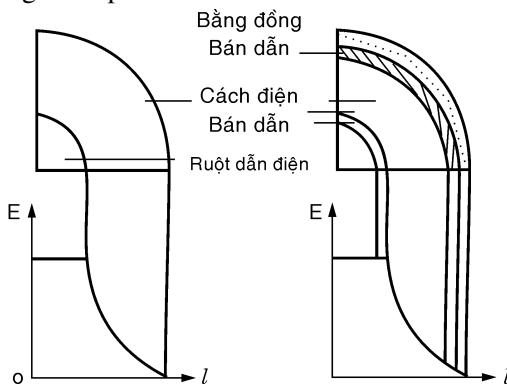
Về mặt hóa học, phân tử PE gồm các chuỗi carbon thẳng với hai nguyên tử hydro liên kết với hai nguyên tử carbon. Dưới tác dụng của năng lượng cao, một số nguyên tử hydro bị tách ra khỏi mạng nhờ chất peroxit làm chất xúc tác, khi ấy liên kết phân tử carbon với carbon theo hàng ngang được hình thành tạo ra liên kết ngang gọi là khâu mạch.

Nhờ liên kết ngang, nhựa XLPE có tính cơ, hóa học tốt: tính chịu va chạm cao, tính chịu mài mòn cao, tính bền mỏi cao, chịu tia cực tím tốt, không bị các loại dầu và hóa chất thông thường phá hoại. Độ chịu nhiệt cao, cho phép làm việc lâu dài ở  $90^{\circ}\text{C}$ , nhiệt độ nung nóng cho phép khi quá tải là  $130^{\circ}\text{C}$  không quá 4 giờ, nhiệt độ cực đại khi có dòng ngắn mạch đến  $250^{\circ}\text{C}$  với thời gian không quá 5 giây.

#### Màn chắn điện từ cho dây và cáp điện:

Trong cáp trung áp và cao áp, điện trường phân bố theo hàm bậc hai rất không đều trong phần cách điện. Để san bằng bớt phần điện trường quá cao (các mũi nhọn) người ta đưa vào lớp màn chắn điện từ (H.2.6bis), bao gồm:

- Màn chắn điện từ ruột là lớp bán dẫn ép sát ruột dẫn điện;
- Màn chắn cách điện gồm hai lớp:
  - + Màn chắn bán dẫn ôm sát lớp cách điện;
  - + Màn chắn kim loại ôm ngoài lớp bán dẫn.



**Hình 2.6bis: Màn chắn điện từ**

Tùy theo loại chất cách điện (giấy cách điện giấy PE, PE, PVC, XLPE) người ta chế tạo các loại bán dẫn tương ứng. Thông thường các loại vật liệu bán dẫn được chế tạo bằng cách trộn thêm bột than vào chất cách điện.

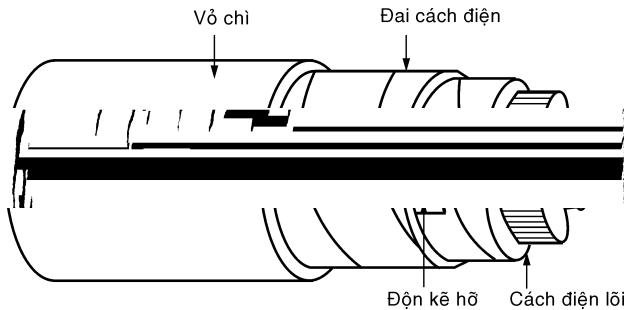
Lớp màn chắn điện từ được áp dụng cho các loại dây cáp điện có điện áp truyền tải lớn hơn 6 kV.

Cáp ba lõi hay nhiều lõi có hai loại cơ bản:

#### 1. Cáp có đai cách điện

Trong loại này, ba dây dẫn sau khi được bọc cách điện cho riêng mỗi dây, chúng được bện chung lại với nhau và các kẽ hở được lấp đầy bằng giấy cách điện để làm tròn mặt ngoài của

ba dây được bện xoắn. Bên ngoài là một lớp đai cách điện bọc cả ba dây lại có độ dày và vật liệu giống như cách điện của mỗi dây dẫn. Cuối cùng bên ngoài là lớp vỏ chì bọc bảo vệ. Cáp có đai cách điện thuộc loại cáp rắn chắc (H.2.7).

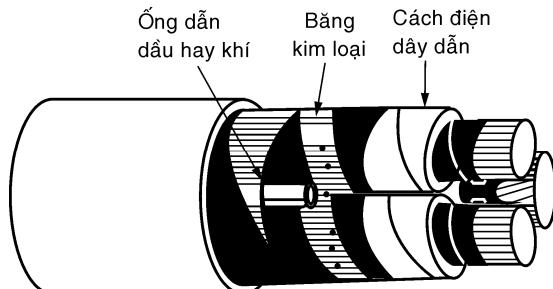


**Hình 2.7:** Cáp có đai cách điện

## 2. Cáp có đai kim loại

Loại này không dùng đai cách điện mà thay vào đó, lớp cách điện của mỗi dây dẫn được bọc bên ngoài bằng một băng kim loại dẫn điện để loại trừ dòng điện xoáy. Các băng kim loại này được nối đất qua tiếp xúc với vỏ chì nhờ vậy sự phân bố điện trường bên trong lớp điện môi được đồng đều hơn ở loại cáp có đai cách điện. Loại cáp có đai kim loại thích hợp với điện áp cao.

Cáp có đai kim loại có thể rắn chắc, đầy dầu hay đầy khí. Dầu hay khí đi trong các ống lắp kín khoảng trống bên trong cáp (H.2.8).

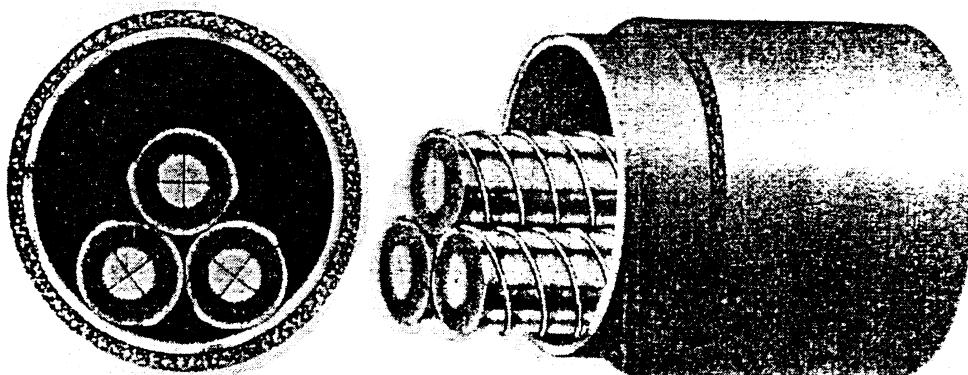


**Hình 2.8:** Cáp có đai kim loại

Một loại cáp nữa là cáp ống hay cáp đầy khí hoặc đầy dầu có áp suất cao thường dùng ở điện áp cao và có tiết diện lớn (H.2.9). Cáp này gồm ba hay nhiều sợi cáp một lõi thường được bện chung lại với nhau và đặt trong một ống thép. Các dây cáp một ruột có cấu tạo như cáp một ruột thông thường nhưng thay vì bọc bằng vỏ chì thì vỏ bọc những sợi cáp này gồm các băng kim loại và dây quấn vòng quanh lớp cách điện. Kiểu vỏ bọc này có cùng tác dụng màn chắn như vỏ chì nhưng nó cho phép dầu hay khí tiếp xúc với chất cách điện của dây cáp, dầu hay khí bơm vào bên trong ống với áp suất cao ( $150 \text{ N/cm}^2$ ).

Các loại cáp áp lực có thuận lợi là bất kỳ chỗ nứt nào trên ống dẫn đều làm cho khí hay dầu xì ra ngoài mà không làm cho ẩm hay mốc thấm được vào bên trong.

Phần lớn các cáp được kéo đi trong hầm cáp, tuy vậy nếu cáp được chôn trực tiếp dưới đất thì vỏ chì được bảo vệ về mặt cơ học bằng lớp giáp sắt. Thường giáp sắt là các băng bằng thép quấn trên một lớp băng sợi đai là lớp đệm quanh vỏ chì. Sau cùng lớp băng thép cũng được bọc quanh ngoài cùng bằng một lớp sợi đai có tẩm chất chống rỉ.



**Hình 2.9:** Cáp dầu hay khí áp lực cao

Kích thước của cáp đã được tiêu chuẩn hóa và có thể tham khảo ở phần phụ lục.

## A. ĐIỆN CẢM CỦA DÂY TRUYỀN TẢI ĐIỆN

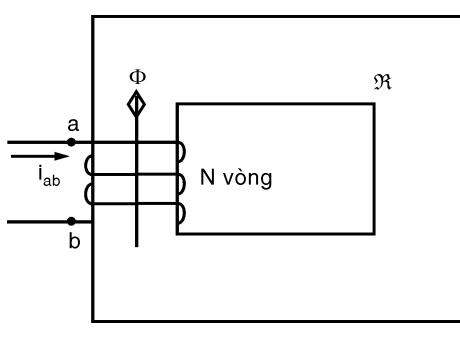
### 2.2 CÁC HỆ THỨC CƠ BẢN CỦA ĐIỆN CẢM

Định luật Ohm áp dụng cho mạch từ

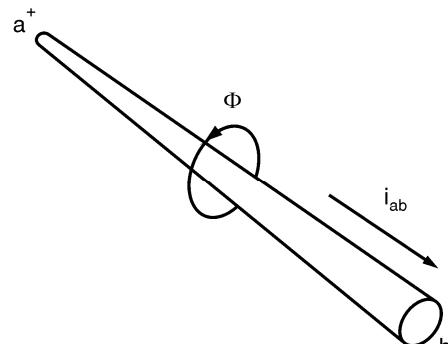
$$\Phi = \frac{NI}{R} \quad (\text{weber}) \quad (2.1)$$

Định luật này phát biểu rằng từ thông bên trong mạch từ (H.2.10) có từ trở  $R$  thì tỷ lệ thuận (và cùng pha) với sức từ động và tỷ lệ nghịch với từ trở  $R$

Hình 2.10 cho thấy qui tắc quen thuộc của cái vặn nút chai để xác định chiều của từ thông, có thể dùng qui tắc bàn tay phải để tìm từ thông.



**Hình 2.10:** Từ thông trong mạch từ



**Hình 2.11**

Áp dụng qui tắc bàn tay phải đối với một dây dẫn thẳng bằng cách cho ngón tay cái chỉ theo dòng điện các ngón tay khác nắm chắc quanh dây dẫn, chiều từ thông là chiều nắm của bàn tay từ cổ tay đến đầu ngón tay (H.2.11).

Phương trình điện áp cảm ứng viết cho đường dây đơn là:

$$e_{ab} = -\frac{Ldi_{ab}}{dt} = -\frac{d(N\Phi)}{dt} \quad (2.2)$$

$$\text{Từ đó tự cảm } L \text{ cho bởi } L = \frac{d(N\Phi)}{di} = \frac{d(\Psi)}{di} \text{ (henry) với } i = i_{ab} \quad (2.3)$$

Nếu môi trường từ tính tuyến tính (quanh dây dẫn là không khí)

$$L = \frac{\Psi}{i} \text{ (henry)} \quad (2.4)$$

với  $\Psi$  là từ thông mõm vòng tính theo weber-vòng,  $\Psi = Li = N\Phi$ , trong đó  $i$  tính bằng ampe,  $L$ : henry,  $\Phi$ : weber,  $\Psi$ : weber-vòng.

Điện kháng  $X$  ở điện xoay chiều tần số  $f$  cho bởi

$$X = 2\pi f L = \frac{2\pi f L \Psi_{hd}}{I_{hd}} \text{ (ohm)} \quad (2.5)$$

với  $\Psi_{hd}$  và  $I_{hd}$  là các giá trị hiệu dụng.

Điện áp cảm ứng trên đoạn dây  $ab$ :

$$\begin{aligned} E_{ab} &= I_{ab} Z = I_{ab}(jX) = I_{ab} \left( \frac{j2\pi f \Psi_{hd}}{I_{ab}} \right) \\ E_{ab} &= j2\pi f \Psi_{hd} \quad (\text{volt}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Để đơn giản về sau, ký hiệu  $\Psi$  và  $I$  là các trị số hiệu dụng phức.

Xét dây dẫn hình trụ (H.2.12), tiết diện đặc dài vô hạn tải dòng điện  $I$ . Giả thiết mật độ dòng phân bố đều trên toàn thể tiết diện dây. Dòng điện chạy lên từ bên trong tờ giấy sẽ tạo nên từ thông chạy theo ngược chiều kim đồng hồ trong mỗi phần tử vi cáp  $dx$  như đã trình bày ở trên H.2.12.

Từ thông mõm vòng tổng gồm từ thông mõm vòng bên ngoài  $\Psi_{ng}$ , từ thông này mõm vòng cả dòng điện và từ thông mõm vòng từng phần hay mõm vòng bên trong  $\Psi_{tr}$ , từ thông này chỉ mõm vòng một phần của dòng điện. Vậy thì trong phương trình  $L = \frac{\Psi}{I}$ ,  $\Psi$  được chia làm hai phần sao cho  $\Psi = \Psi_{tr} + \Psi_{ng}$

#### Từ thông mõm vòng bên trong:

Lấy một ống hình trụ có bề dày vi cáp  $dx$ , từ thông mõm vòng bên trong  $\Psi_{tr}$  là tổng số của các từ thông mõm vòng vi cáp ở bên trong.

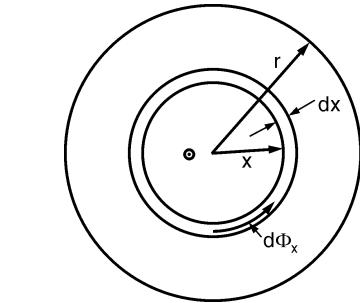
Từ thông mỗi mét chiều dài của ống có bề dày  $dx$  là:

$$\begin{aligned} d\phi_x &= B_x A_x = B_x dx \cdot l \quad \text{với } l = 1 \text{ mét} \\ d\phi_x &= \mu H_x dx \end{aligned}$$

với  $H_x = \frac{I_x}{2\pi x}$  là từ trường cách tâm dây dẫn một khoảng cách  $x$ .

$$d\phi_x = \mu \frac{I_x}{2\pi x} dx$$

$I_x$  là tất cả dòng điện chạy phía trong của ống. Nếu giả thiết mật độ dòng điện bằng nhau trên toàn tiết diện thì  $I_x$  là một phần của dòng điện tổng:



**Hình 2.12:** Tiết diện của dây dẫn hình trụ

$$I_x = \left( \frac{\pi x^2}{\pi r^2} \right) I = \left( \frac{x^2}{r^2} \right) I$$

Từ đó:  $d\phi_x = \mu \frac{Ix}{2\pi r^2} dx$

Nhưng từ thông ( $d\phi_x$ ) chỉ móc vòng một phần của dòng điện toàn phần chạy trong dây dẫn, như vậy:

$$\begin{aligned} d\psi &= \frac{I_x}{I} d\phi_x = \frac{x^2}{r^2} \frac{\mu Ix}{2\pi r^2} dx \\ d\psi &= \frac{\mu Ix^3}{2\pi r^4} dx \end{aligned}$$

Cộng tất cả các từ thông móc vòng vi cấp này từ tâm dây  $x = 0$  cho đến mặt ngoài của dây  $x = r$

$$\psi_{tr} = \int_0^r \frac{\mu Ix^3}{2\pi r^4} dx = \frac{\mu I}{8\pi} r^2 \quad (2.7)$$

Cho hệ số từ thẩm tương đối của môi trường dây dẫn bằng 1, trong hệ thống MKS  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$

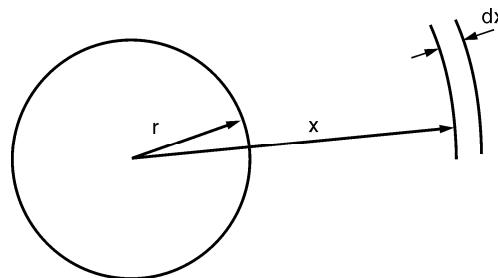
Như vậy:  $\psi_{tr} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7}$  (weber.vòng/ mét)

Nhận xét  $\Psi_{tr}$  không phụ thuộc kích thước dây

Suy ra:  $L_{tr} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7}$  (henry/mét) (2.8)

### Từ thông móc vòng bên ngoài

Xét ống hình trụ bán kính  $x$  với  $x > r$ , bề dày  $dx$  bao bọc bên ngoài dây dẫn (H.2.13)



**Hình 2.13**

Cường độ từ trường ở vị trí  $x$ :  $H_x = \frac{I}{2\pi x}$  (2.10)

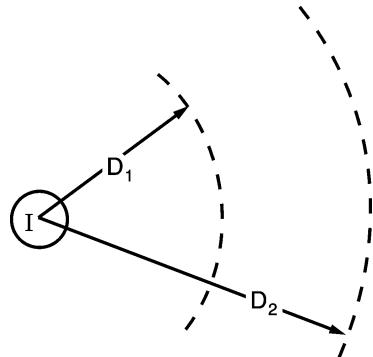
Mật độ từ thông trong ống này là:  $B_x = \mu H_x = \frac{\mu I}{2\pi x}$  (2.11)

Từ thông móc vòng từ bề mặt dây cho đến khoảng cách  $D$  bên ngoài dây dẫn là:

$$\begin{aligned} \psi_{tr} &= \int_r^D B_x dx = \int_r^D \left( \frac{\mu I}{2\pi x} \right) dx \\ \psi_{ng} &= \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad \text{với } \mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\psi_{ng} &= 2 \cdot 10^{-7} I \ln \frac{D}{r} \quad (\text{weber.vòng/mét}) \\ L_{ng} &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (\text{henry/mét})\end{aligned}\quad (2.12)$$

Phương trình viết cho  $\psi_{ng}$  và  $L_{ng}$  có thể áp dụng để tính từ thông mốc vòng và điện cảm ứng với từ thông đi giữa hai điểm 1 và 2 nếu thay  $D$  bằng  $D_2$  và  $r$  bằng  $D_1$  (2 xa hơn 1) (H.2.14).



**Hình 2.14**

$$\psi_{12} = 2 \cdot 10^{-7} I \cdot \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (2.13)$$

$$L_{12} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (\text{henry/mét}) \quad (2.14)$$

### 2.3 ĐIỆN CẢM VÀ BÁN KÍNH TRUNG BÌNH NHÂN CỦA DÂY DẪN

Từ thông mốc vòng tổng cộng  $\psi_t$  là:

$$\psi_t = \psi_{tr} + \psi_{ng} = \frac{\mu I}{8\pi} + \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad (2.15)$$

và

$$L_t = \frac{\mu}{8\pi} + \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad (2.16)$$

Nếu  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$

$$L_t = \left( \frac{1}{2} + 2 \ln \frac{D}{r} \right) \cdot 10^{-7} \quad (\text{henry/mét}) \quad (2.17a)$$

$$L_t = 2 \cdot \left( \frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right) \cdot 10^{-7} \quad (\text{henry/mét}) \quad (2.17b)$$

$$L_t = 2 \cdot 10^{-7} \left( \ln e^{1/4} + \ln \frac{D}{r} \right) = 2 \cdot 10^{-7} \left( \ln \frac{D}{re^{-1/4}} \right) \quad (\text{henry/mét})$$

$$L_t = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad (\text{henry/mét}) \quad (2.18)$$

trong đó

$$r' = e^{-1/4} \cdot r = 0,779r \quad (2.19)$$

$r'$  gọi là bán kính tự thân tương trưng bán kính của một dây rỗng thay thế cho dây đặc khi kể đến từ thông mốc vòng bên trong. Dây rỗng có bề dày không đáng kể để có thể bỏ qua từ thông bên trong. Điều này có thể được nếu hằng số từ thẩm của dây dẫn và không khí là như nhau.

Đối với dây cáp bện nhiều sợi, ảnh hưởng của từ thông mọc vòng bên trong được xét đến bằng cách dùng bán kính trung bình hình học, hay bán kính trung bình nhân ký hiệu là GMR hay  $D_s$ .

### Ví dụ 2.1

Dây dẫn gồm bảy sợi giống nhau bện lại (H.2.15), mỗi sợi có bán kính  $r$ . Tìm thừa số nhân với  $r$  để có bán kính trung bình nhân.

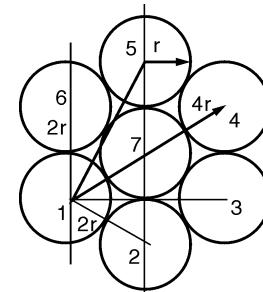
#### Giải

Trước hết tính các khoảng cách  $D_{12}$ ,  $D_{13}$  và  $D_{14}$

$$D_{12} = D_{16} = 2r, D_{14} = 4r$$

$$D_{13} = D_{15} = \sqrt{D_{14}^2 - D_{12}^2} = \sqrt{(4r)^2 - (2r)^2} = 2r\sqrt{3}$$

$$D_{17} = 2r$$



Hình 2.15: Dây bện bảy sợi

Bán kính trung bình nhân là căn bậc 49 của 49 khoảng cách:

$$d_s = \sqrt[49]{(r')^7 (D_{12}^2 D_{13}^2 D_{14}^2 D_{17}^2)^6 (2r)^6}$$

trong đó  $(r') là tích số của các bán kính tự thân của mỗi sợi dây nhỏ (bảy khoảng cách).$

$(D_{12}^2 D_{13}^2 D_{14}^2 D_{17}^2)^6$  là tích số các khoảng cách từ một sợi dây bên ngoài đến sáu sợi dây còn lại ( $6 \times 6 = 36$  khoảng cách)

$(2r)^6$  là tích các khoảng cách từ dây trung tâm đến mỗi sợi dây bên ngoài (sáu khoảng cách)

$$d_s = \sqrt[49]{r^7 \cdot (4r^2 \cdot 12r^2 \cdot 4r \cdot 2r \cdot 2r)^6} = \frac{2r\sqrt[7]{3(0,7788)}}{\sqrt[49]{6}} = 2,177r$$

Để tiện lợi trong tính toán, bán kính trung bình nhân (GMR) hay GMD tự thân hay  $d_s$  của một số dây cáp bện với số sợi khác nhau được cho trong bảng:

Loại dây dẫn	GMR (GMD tự thân, $d_s$ )
Dây tròn đặc ruột	0,779 R
Dây bện nhiều sợi: 7 sợi	0,726 R
19 sợi	0,758 R
37 sợi	0,768 R
61 sợi	0,772 R
91 sợi	0,774 R
127 sợi	0,776 R

trong đó: R là bán kính ngoài của toàn bộ dây dẫn.

### Ví dụ 2.2

Một pha của đường dây phân pha, mỗi pha gồm bốn dây dẫn bện (H.2.16.), mỗi dây dẫn có bán kính trung bình nhân  $d_s$  và đặt ở bốn đỉnh của hình vuông theo H.2.16 dưới đây. Tính bán kính trung bình nhân của toàn bộ hệ dây phân pha.

#### Giải

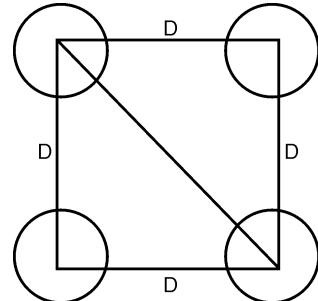
$$D_s = \sqrt[16]{(d_s \cdot D \cdot D \cdot \sqrt{2}D)^4}$$

Mỗi dây dẫn có bốn khoảng cách

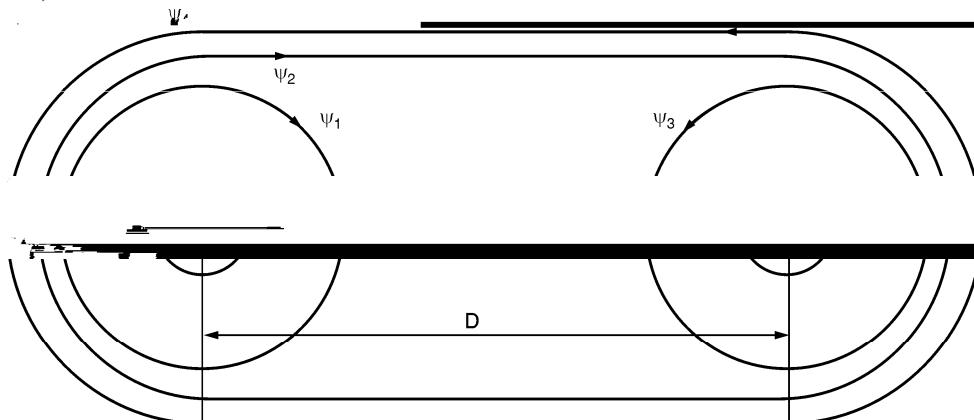
- Bán kính trung bình nhân của chính nó  $d_s$
- Ba khoảng cách đến ba dây còn lại:  $D$ ,  $D$  và  $\sqrt{2} D$
- Vì bốn dây dẫn nên có  $4 \times 4 = 16$  khoảng cách

## 2.4 ĐIỆN CẢM CỦA ĐƯỜNG DÂY MỘT PHA

Điện cảm của một dây dẫn đơn cho bởi phương trình  $L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$ , phương trình này có thể áp dụng cho đường dây một pha gồm một dây dẫn đi và một dây dẫn về ( $I_a = -I_b$ ) (H.2.17).



**Hình 2.16**



**Hình 2.17: Đường dây một pha hai dây**

Gọi  $\Psi_1$  là từ thông mọc vòng chỉ mọc vòng dòng điện  $I_a$ .

Điện cảm tương ứng với từ thông mọc vòng này là:

$$L_{\Psi_1} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r_a} \text{ (H/m)}$$

Tương tự,  $\Psi_3$  là từ thông mọc vòng cả hai dòng  $I_a$  và  $I_b$  (tổng bằng 0). Điện cảm tương ứng với  $\Psi_2$  và  $\Psi_4$  bằng không.

Điện cảm của đường dây hai dây bằng tổng số  $L_{\Psi_1}$  và  $L_{\Psi_3}$  hay

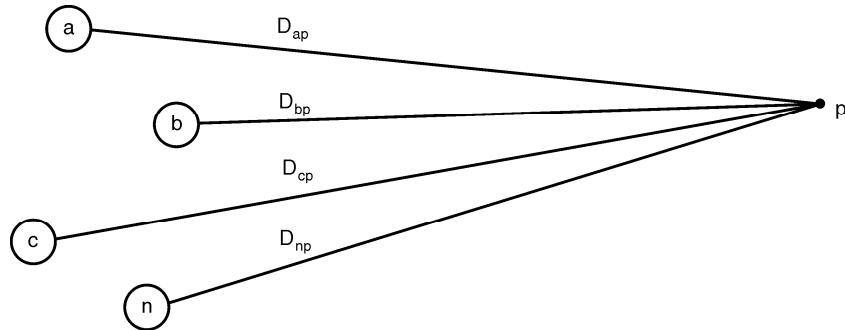
$$L = 2 \cdot 10^{-7} \left( \ln \frac{D}{r_a} + \ln \frac{D}{r_b} \right) = 4 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}} \text{ (henry/mét)} \quad (2.20)$$

trường hợp  $r_a = r_b = r'$ :

$$L = 4 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \text{ (H/m)}$$

## 2.5 ĐIỆN CẢM CỦA ĐƯỜNG DÂY BA PHA

Cho đường dây ba pha bốn dây (H.2.18):



**Hình 2.18:** Đường dây ba pha bốn dây

Áp dụng công thức (2.12), từ thông mốc vòng từ dây pha a đến điểm p do dòng  $I_a$  là:

$$\Psi_{ap_a} = 2 \cdot 10^{-7} I_a l \ln \frac{D_{ap}}{r_a} \quad (2.21)$$

Từ thông mốc vòng từ dây pha a đến điểm b do dòng  $I_b$  (theo phương trình (2.14)) là:

$$\Psi_{ap_b} = 2 \cdot 10^{-7} I_b l \ln \frac{D_{bp}}{D_{ab}} \quad (2.22)$$

Tương tự  $\Psi_{ap_c}$ ,  $\Psi_{ap_n}$  cũng có thể viết được. Cộng tất cả các từ thông mốc vòng này sẽ được từ thông mốc vòng tổng từ pha a đến điểm p như sau:

$$\Psi_{ap} = 2 \cdot 10^{-7} (I_a l \ln \frac{D_{ap}}{r_a} + I_b l \ln \frac{D_{bp}}{D_{ab}} + I_c l \ln \frac{D_{cp}}{D_{ac}} + I_n l \ln \frac{D_{np}}{D_{an}}) \quad (2.23)$$

Biết rằng  $I_n = -(I_a + I_b + I_c)$ . Do đó:

$$\Psi_{ap} = 2 \cdot 10^{-7} (I_a l \ln \frac{1}{r_a} + I_b l \ln \frac{1}{D_{ab}} + I_c l \ln \frac{1}{D_{ac}} + I_n l \ln \frac{1}{D_{an}} + I_a l \ln \frac{D_{ap}}{D_{np}} + I_b l \ln \frac{D_{bp}}{D_{np}} + I_c l \ln \frac{D_{cp}}{D_{np}})$$

Khi điểm p ra xa dây dẫn, ba số hạng cuối ở trong dấu ngoặc của phương trình trên tiến đến không. Từ đó các phương trình đổi với từ thông mốc vòng các pha a, b, c là:

$$\Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} (I_a l \ln \frac{1}{r_a} + I_b l \ln \frac{1}{D_{ab}} + I_c l \ln \frac{1}{D_{ac}} + I_n l \ln \frac{1}{D_{an}}) \quad (2.23)$$

$$\Psi_b = 2 \cdot 10^{-7} (I_b l \ln \frac{1}{r_b} + I_a l \ln \frac{1}{D_{ba}} + I_c l \ln \frac{1}{D_{bc}} + I_n l \ln \frac{1}{D_{bn}}) \quad (2.24)$$

$$\Psi_c = 2 \cdot 10^{-7} (I_c l \ln \frac{1}{r_c} + I_a l \ln \frac{1}{D_{ca}} + I_b l \ln \frac{1}{D_{cb}} + I_n l \ln \frac{1}{D_{cn}}) \quad (2.25)$$

Nếu biết các giá trị phức của  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  thì có thể tìm được các điện cảm  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$  ngay cả đổi với đường dây không hoán vị.

Chẳng hạn:

$$L_a = \frac{\Psi_a}{I_a} = 2 \cdot 10^{-7} \left( l \ln \frac{1}{r_a} + \frac{I_b}{I_a} l \ln \frac{1}{D_{ab}} + \frac{I_c}{I_a} l \ln \frac{1}{D_{ac}} + \frac{I_n}{I_a} l \ln \frac{1}{D_{an}} \right) \quad (2.26)$$

hoặc là tính điện áp cảm ứng trên pha a bằng cách lấy đạo hàm của biểu thức  $\Psi_a$  theo t:

$$\Delta U_{ao} = \frac{d\Psi_a}{dt} = j\omega \Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} j\omega \left[ I_a l \ln \frac{1}{r_a} + I_b l \ln \frac{1}{D_{ab}} + I_c l \ln \frac{1}{D_{ac}} + I_n l \ln \frac{1}{D_{an}} \right] \quad (2.27)$$

Nếu dòng điện ba pha cân bằng thì  $I_n = 0$

$$\Delta U_{ao} = 2 \cdot 10^{-7} j\omega \left[ I_a l \ln \frac{1}{r_a} + I_b l \ln \frac{1}{D_{ab}} + I_c l \ln \frac{1}{D_{ac}} \right] \quad (2.28)$$

$r_a, D_{ab}, D_{bc}$  đổi ra cùng một đơn vị, ví dụ là mét.

Các ký hiệu sau đây được giới thiệu:

$$x_{aa} = 2 \cdot 10^{-7} \omega \ln \frac{1}{r_a} \quad (\Omega/m): cảm kháng dây dẫn ở khoảng cách 1 mét nếu  $r_a$  tính ra mét \quad (2.29)$$

$$x_{ab} = 2 \cdot 10^{-7} \omega \ln D_{ab} \quad (\Omega/m): cảm kháng phân cách \quad (2.30)$$

Nếu tính theo logarit thập phân:

$$x_{aa} = 0,0029f \log \frac{1}{r_a} \quad (\Omega/km) \quad (2.31)$$

$$x_{ab} = 0,0029f \log D_{ab} \quad (\Omega/km) \quad (2.32)$$

với f là tần số của hệ thống.

Biểu thức điện áp cảm ứng trên mỗi km chiều dài cho pha a trở thành:

$$\Delta U_{ao} = jx_{aa} I_a - jx_{ab} I_b - jx_{ac} I_c \quad (2.33)$$

$$\text{Tương tự: } \Delta U_{bo} = -jx_{ab} I_a + jx_{bb} I_b - jx_{bc} I_c \quad (2.34)$$

$$\Delta U_{bo} = -jx_{ac} I_a - jx_{bc} I_b + jx_{cc} I_c \quad (2.35)$$

Trị số về cảm kháng dây dẫn và phân cách có thể tính trực tiếp từ công thức hay bằng cách dùng bảng.

## 2.6 ĐƯỜNG DÂY ĐƠN BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với đường dây ba pha đối xứng, bán kính các dây dẫn bằng nhau:  $r_a = r_b = r_c = r$ , và khoảng cách dây bằng nhau  $D_{ab} = D_{bc} = D_{ca} = D$ .

$$\text{Như vậy: } x_{aa} = x_{bb} = x_{cc} = x_s = 0,0029f \log \frac{1}{r_a} \quad (\Omega/km) \quad (2.36)$$

$$x_{ab} = x_{bc} = x_{ca} = x_m = 0,0029f \log D \quad (\Omega/km) \quad (2.37)$$

Khi đó các điện áp cảm ứng trên dây dẫn trở thành:

$$\Delta U_{ao} = jx_s I_a - jx_m (I_b + I_c) = j(x_s + x_m) I_a \quad (2.38)$$

với  $I_a + I_b + I_c = 0$

$$\text{Tương tự: } \Delta U_{bo} = j(x_s + x_m) I_b \quad (2.39)$$

$$\Delta \bar{U}_{co} = j(x_s + x_m) \bar{I}_c \quad (2.40)$$

Đặt  $x_0 = (x_s + x_m)$  là cảm kháng pha tương đương mỗi km của đường dây ba pha đối xứng.

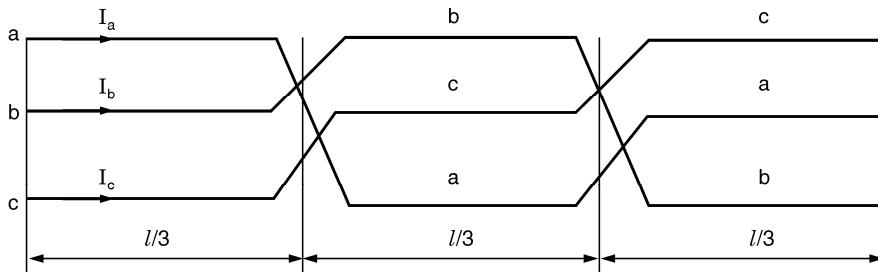
Tóm lại: 
$$x_0 = x_s + x_m = 0,0029f \log \frac{D}{r'} \quad (\Omega/km) \quad (2.41)$$

hay  $x_0 = 2\pi f \cdot 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D}{r'} \quad (\Omega/km)$ .

## 2.7 ĐƯỜNG DÂY ĐƠN BA PHA HOÁN VỊ

Nếu đường dây ba pha bốn trí không đổi xứng, các trị số cảm kháng dây dẫn  $x_{aa}$ ,  $x_{bb}$ ,  $x_{cc}$  và cảm kháng phân cách  $x_{ab}$ ,  $x_{bc}$ ,  $x_{ca}$  sẽ không đổi xứng. Điều đó làm cho sụt áp cảm ứng trên các pha  $\Delta U_{at}$ ,  $\Delta U_{bt}$ ,  $\Delta U_{ct}$  cũng sẽ không đổi xứng ngay cả khi dòng điện chạy trong các dây dẫn ba pha là đối xứng (nghĩa là  $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ ).

Để cho điện áp cảm ứng được đổi xứng trên đường dây ba pha vốn đã bốn trí không đổi xứng thì các pha phải được hoán vị, nghĩa là mỗi pha của đường dây lần lượt chiếm các vị trí của ba pha trong mỗi  $1/3$  chiều dài đường dây (H.2.19). Điều này làm cho điện áp cảm ứng trên toàn chiều dài đường dây được đổi xứng.



Hình 2.19: Đường dây ba pha hoán vị đầy đủ

Nếu đường dây có chiều dài  $l$  km thì mỗi đoạn hoán vị dài  $l/3$  km.

Cảm kháng tương đương mỗi pha của đường dây ba pha hoán vị đổi xứng trên mỗi km chiều dài đường dây cho bởi công thức:

$$x_0 = 0,0029f \log \frac{\sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}}{\sqrt[3]{r_a \cdot r_b \cdot r_c}} = \frac{1}{3}(x_{aa} + x_{bb} + x_{cc}) + \frac{1}{3}(x_{ab} + x_{bc} + x_{ca}) \quad (\Omega/km) \quad (2.42)$$

Nếu  $r_a = r_b = r_c$  thì 
$$x_0 = 0,0029f \log \frac{\sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}}{r'} = 2\pi f \cdot 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{\sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}}{r'} \quad (\Omega/km) \quad (2.43)$$

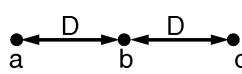
Nếu dùng dây bện thì thay  $r'$  bằng GMR hay  $d_s$ , nếu dây phân pha thay  $r'$  bằng  $D_s$ .

Công thức (2.43) dùng để tính trực tiếp còn công thức (2.42) thích hợp cho việc tra bảng.

Cảm kháng toàn đường dây

$$X = x_0 \cdot l$$

Điện áp cảm ứng cho toàn đường dây:



$$\Delta \bar{U}_{at} = jX \dot{I}_a \quad (\text{volt})$$

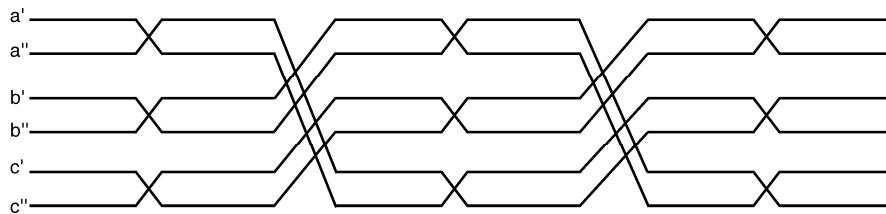
$$\Delta \bar{U}_{bt} = jX \dot{I}_b \quad (\text{volt}) \quad (2.44)$$

$$\Delta U_{ct} = jX \dot{I}_c \quad (\text{volt})$$

Trường hợp ba pha bố trí nằm ngang cách nhau khoảng cách D thì  $\sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}} = 1,26D$

## 2.8 ĐƯỜNG DÂY BA PHA LỘ KÉP

Đường dây ba pha lộ kép chứa hai dây dẫn song song trong mỗi pha của đường dây và dòng điện trong mỗi pha được chia đều nhau giữa hai dây dẫn song song của pha đó (muốn vậy hai dây dẫn này phải được bố trí đối xứng hoặc là được hoán vị riêng cho hai dây này). Đồng thời để cho sụt áp cảm ứng trên toàn chiều dài đường dây được đổi xứng ở cả ba pha thì các pha phải hoán vị lẫn nhau và hoán vị đầy đủ trên cả chiều dài đường dây. H.2.20 trình bày kiểu mẫu của một đường dây ba pha lộ kép hoán vị đầy đủ:



**Hình 2.20: Đường dây ba pha lộ kép hoán vị đầy đủ**

Cảm kháng tương đương của mỗi pha đường dây ba pha lộ kép trên mỗi km chiều dài đường dây khi hoán vị đổi xứng cho bởi công thức:

$$\boxed{\begin{aligned} x_0 &= 0,0029f \log \frac{D_m}{D_s} = x_m + x_s \quad (\Omega/\text{km} \text{ mỗi pha}) \\ &= 2\pi f \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_m}{D_s} \quad (\Omega/\text{km}) \end{aligned}} \quad (2.45)$$

với  $D_m = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}$

trong đó  $D_{ab}$ ,  $D_{bc}$ ,  $D_{ca}$  lần lượt là khoảng cách trung bình nhân (GMD) giữa các pha với nhau.

$$D_{ab} = \sqrt[4]{D_{a'b'} \cdot D_{a'b''} \cdot D_{a''b'} \cdot D_{a''b''}} \quad (\text{mét}) \quad (2.46)$$

$$D_{bc} = \sqrt[4]{D_{b'c'} \cdot D_{b'c''} \cdot D_{b''c'} \cdot D_{b''c''}} \quad (\text{mét}) \quad (2.47)$$

$$D_{ca} = \sqrt[4]{D_{c'a'} \cdot D_{c'a''} \cdot D_{c''a'} \cdot D_{c''a''}} \quad (\text{mét}) \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned} D_m &= \sqrt[12]{D_{a'b'} \cdot D_{a'b''} \cdot D_{a''b'} \cdot D_{a''b''} \cdot D_{b'c'} \cdot D_{b'c''} \cdot D_{b''c'} \cdot D_{b''c''} \cdot D_{c'a'} \cdot D_{c'a''} \cdot D_{c''a'} \cdot D_{c''a''}} \quad (\text{mét}) \\ &= \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}} \end{aligned} \quad (2.49)$$

$$x_m = 0,0029f \log D_m \quad (\Omega/\text{km}) \quad (2.50)$$

$$x_m = \frac{1}{12} (x_{a'b'} + x_{a'b''} + x_{a''b'} + x_{a''b''} + x_{b'c'} + x_{b'c''} + x_{b''c'} + x_{b''c''} + x_{c'a'} + x_{c'a''} + x_{c''a'} + x_{c''a''}) \quad (\Omega/\text{km}) \quad (2.51)$$

$$D_s = \sqrt[3]{D_{sa} \cdot D_{sb} \cdot D_{sc}} \quad (2.52)$$

trong đó  $D_{sa}$ ,  $D_{sb}$ ,  $D_{sc}$  lần lượt là bán kính trung bình nhân (GMR) của nhóm dây pha a, pha b và pha c.

$$D_{sa} = \sqrt[4]{r_{a'} \cdot r_{a''} \cdot D_{a'a''}^2} \quad (\text{mét}) \quad (2.53)$$

$$D_{sb} = \sqrt[4]{r_{b'} \cdot r_{b''} \cdot D_{b'b''}^2} \quad (\text{mét}) \quad (2.54)$$

$$D_{sc} = \sqrt[4]{r_{c'} \cdot r_{c''} \cdot D_{c'c''}^2} \quad (\text{mét}) \quad (2.55)$$

$$D_s = \sqrt[12]{r_{a'} \cdot r_{a''} \cdot D_{a'a''}^2 \cdot r_{b'} \cdot r_{b''} \cdot D_{b'b''}^2 \cdot r_{c'} \cdot r_{c''} \cdot D_{c'c''}^2} \quad (2.56)$$

$$x_s = \frac{1}{12} [(x_{a'a'} + x_{b'b'} + x_{c'c'} + x_{a''a''} + x_{b''b''} + x_{c''c''}) - 2(x_{a'a''} + x_{b'b''} + x_{c'c''})]$$

Trường hợp các dây dẫn giống nhau:

$$r_a' = r_a'' = r_b' = r_b'' = r_c' = r_c'' = r \quad (2.57)$$

$$D_s = \sqrt[6]{r^3 \cdot D_{aa} \cdot D_{bb} \cdot D_{cc}} \quad (2.58)$$

$$x_s = 0,0029f \log \frac{1}{D_s} = \frac{1}{2} x_{aa} - \frac{1}{6} (x_{aa} + x_{bb} + x_{cc}) \quad (\Omega/km) \quad (2.59)$$

## 2.9 DÙNG BẢNG ĐỂ TRA CẢM KHÁNG CỦA DÂY DẪN

Bán kính trung bình nhân của dây dẫn có thể tính được với số dây bện bất kỳ. Tuy vậy, thường các bán kính trung bình nhân (còn gọi là bán kính tự thân) được tính sẵn trong các bảng dây tiêu chuẩn. Nhà chế tạo cung cấp đầy đủ các số liệu bao gồm bán kính trung bình nhân của dây dẫn, đặc biệt đối với dây phức hợp ACSR (dây Mỹ) để tiện sử dụng. Khi dùng các bảng tra phải hiểu rõ các số liệu trong bảng số.

Cảm kháng của dây dẫn của đường dây một pha hay ba pha cho bởi công thức:

$$x_0 = 4,657 \cdot 10^{-3} \cdot f \log \frac{D_m}{D_s} \quad (\Omega/mile) \quad (2.60)$$

$$= 0,0029 \cdot f \cdot \log \frac{D_m}{D_s} = 2\pi f \cdot 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_m}{D_s} \quad (\Omega/km) \quad (2.61)$$

trong đó  $D_m$ : khoảng cách trung bình nhân giữa các dây dẫn(GMD)

$D_s$ : bán kính trung bình nhân giữa các nhóm dây cùng một pha (GMR), hay GMR hoặc  $d_s$  của dây cáp bện hay  $r'$  của một dây đơn trong đường dây đơn.

Bán kính trung bình nhân  $D_s$  của riêng từng dây dẫn (còn gọi là  $r'$  hay  $d_s$ ) được tra từ bảng dây, nếu một pha gồm một nhóm dây (như đường dây kép, đường dây phân pha của đường siêu cao) thì phải tính thêm theo các công thức đã nêu trong (2.58) hay tương tự như trong ví dụ 2.2.  $D_m$  và  $D_s$  phải cùng một đơn vị. Nhiều bảng dây liệt kê các giá trị của  $D_s$  đối với các tần số 60 Hz, 50 Hz, 25 Hz. Trị số của  $D_s$  thay đổi theo tần số vì mật độ dòng điện không còn phân bố đều khi tần số tăng lên, hiện tượng này gọi là hiệu ứng mặt ngoài. Trong các công thức trên giả thiết dòng điện phân bố đều trên tiết diện dây và bỏ qua hiệu ứng ở gần và hiệu ứng mặt ngoài. Một số bảng tra cho các trị số của điện kháng phân cách ứng với khoảng cách trung bình nhân  $D_m$  và điện kháng dây dẫn ứng với bán kính trung bình nhân  $D_s$  hay  $r'$ .

Để tra các bảng số của dây Mỹ, một phương pháp được đưa ra là khai triển công thức  $x_0$  thành hai thành phần:

$$x_0 = 4,657 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot \log \frac{1}{D_s} + 4,657 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot \log D_m \quad (\Omega/mile) \quad (2.62)$$

trong đó  $D_s$  và  $D_m$  tính theo foot.

Số hạng thứ nhất gọi là điện kháng dây dẫn, còn có thể hiểu đó là điện kháng của một dây dẫn của một đường dây gồm hai dây đặt cách nhau 1 foot, vì vậy số hạng thứ nhất được gọi là điện kháng ở khoảng cách 1 foot, nó tùy thuộc vào bán kính trung bình nhân (GMR) và vào tần số. Trị số của số hạng này được tra bảng hay được tính trực tiếp bằng công thức như trong (2.31), (2.59).

Số hạng thứ hai gọi là điện kháng phân cách độc lập với cỡ dây mà chỉ phụ thuộc vào tần

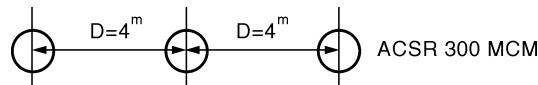
số và khoảng cách trung bình nhân giữa các pha của đường dây. Để dàng thấy số hạng này triệt tiêu khi  $D_m = 1$  foot. Điện kháng phân cách được lập thành bảng tra để có thể dùng được cho (2.51), các số hạng trong dấu ngoặc của (2.59).

Quá trình tính toán cảm kháng của đường dây bao gồm việc tra điện kháng phân cách 1 foot đối với dây dẫn đang xét và cộng với điện kháng phân cách tra được ở một bảng khác.

Trường hợp các đơn vị khoảng cách tính ra mét thì phải đổi sang foot với  $1m = 3,281$  foot, bảng tra cho phép tính được trị số  $x_0$  tính theo đơn vị  $\Omega/mile$  và phải đổi ra  $\Omega/km$  với  $1 \text{ mile} = 1,609 \text{ km}$ . Trị số  $x_0$  tính theo cách tra bảng thường ở tần số 60 Hz cũng cần phải đổi ra 50 Hz biết rằng  $x_0$  tỷ lệ thuận với tần số f.

Bảng tra dây Nga đơn giản hơn, muốn tra cảm kháng của đường dây trên không chỉ cần biết khoảng cách trung bình nhân giữa các pha của dây dẫn và bán kính dây dẫn mà không cần phải tách ra cảm kháng riêng và cảm kháng phân cách như ở bảng tra Mỹ.

**Ví dụ 2.3:** Một đường dây ba pha dùng dây dẫn ACSR 300 MCM bố trí trên mặt phẳng ngang, khoảng cách giữa các pha là 4m (H.2.21.), tần số lưới điện 50 Hz. Tính cảm kháng của đường dây



**Hình 2.21**

Dây ACSR 300 MCM tương đương với dây AC-150, khoảng cách trung bình nhân giữa các pha:

$$D_m = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = 1,26D = 1,26 \cdot 4 \approx 5 \text{ (m)}$$

Đổi ra foot:

$$D_m = 5 \text{ m} = 5 \cdot 3,281 \text{ foot} = 16,405 \text{ foot} = 16 \text{ foot } 4,86 \text{ inch} \quad (1 \text{ foot} = 12 \text{ inch})$$

- Tra bảng điện kháng dây dẫn:  $0.377 \Omega/\text{mile}$  ứng với tần số 50 Hz ở khoảng cách 1 foot.
- Tra bảng điện kháng phân cách (ở 60 Hz) ở khoảng cách 16 foot 4,86 inch :  $0,3364 (\Omega/\text{mile})$ .

Suy ra điện kháng phân cách ở tần số 50 Hz:

$$0,3364 \cdot \frac{50}{60} = 0,2803 \text{ } (\Omega/\text{mile})$$

- Điện kháng tổng của dây dẫn:

$$x_0 = 0,377 + 0,2803 = 0,6573 \text{ } (\Omega/\text{mile})$$

$$\text{hay } x_0 = \frac{0,6573}{1,609} = 0,4085 \text{ } (\Omega/\text{km}) \text{ ở tần số } 50 \text{ Hz}$$

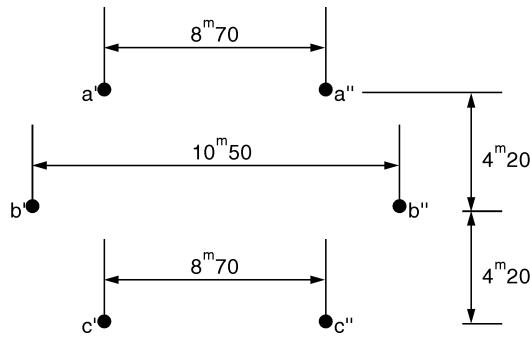
**Ví dụ 2.4:** Một đường dây dài 192km có kích thước trong H.2.22, đường dây có dây dẫn bằng đồng tiết diện  $120\text{mm}^2$ , vận hành điện áp 110 kV, 50 Hz.

Giả thiết rằng sáu dây dẫn hợp thành các pha a, b và c ; và chỉ một bên của đường dây (a', b' và c') đang vận hành. Tìm cảm kháng mỗi km và điện áp cảm ứng (sụt áp) toàn phần trên mỗi pha trong hai trường hợp có hoán vị và không hoán vị. Cho phụ tải cân bằng, 200 ampe mỗi pha.

Cho biết bán kính trung bình nhân của mỗi dây dẫn là  $r_a' = 5,44 \text{ mm}$  và bán kính của dây dẫn là  $r = 7,17 \text{ mm}$ .

**Giải**

a) *Trường hợp không hoán vị*



Điện kháng dây dẫn ở khoảng cách 1 mét:

$$x_{aa} = x_{bb} = x_{cc} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log \frac{1}{0,00544} = 0,328 \text{ } (\Omega/km)$$

Từ hình vẽ đối với chỉ vận hành một bên (chẳng hạn a' b' c'):

$$D_{a'b'} = \sqrt{0,9^2 + 4,2^2} = 4,29 \text{ } (m)$$

$$D_{b'c'} = D_{a'b'} = 4,29 \text{ } (m)$$

$$D_{a'c'} = 8,40 \text{ } (m)$$

Các cảm kháng phân cách:

$$x_{ab} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log 4,29 = 0,092 \text{ } (\Omega/km)$$

$$x_{bc} = x_{ab} = 0,092 \text{ } (\Omega/km)$$

$$x_{ac} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log 8,40 = 0,134 \text{ } (\Omega/km)$$

Lời giải điện áp cảm ứng:

$$\begin{aligned} \Delta U_{ao} &= jx_{aa} \cdot I_a - jx_{ab} \cdot I_b - jx_{ac} \cdot I_c \\ &= 0,328 \angle 90^\circ \cdot 200 \angle 0^\circ - 0,092 \angle 90^\circ \cdot 200 \angle -120^\circ - 0,134 \angle 90^\circ \cdot 200 \angle -240^\circ \\ &= 0,328 \angle 90^\circ \cdot 200 \angle 0^\circ - 0,092 \angle 90^\circ \cdot 200 \angle -120^\circ - 0,134 \angle 90^\circ \cdot 200 \angle -240^\circ \\ &= 7,6 + j88,4 = 88,6 \angle 85^\circ \text{ (volt/km)} \end{aligned}$$

Điện áp cảm ứng toàn phần hay sụt áp toàn phần trên pha a  $\Delta U_{at}$  trên toàn chiều dài đường dây:

$$\Delta U_{at} = \Delta U_{ao} \cdot l = 88,6 \angle 85^\circ \cdot 192 = 17011 \angle 85^\circ \text{ (volt)}$$

tương tự  $\Delta U_{bo} = -jx_{ab} \cdot I_a + jx_{bb} \cdot I_b - jx_{cb} \cdot I_c = 83,8 \angle -30^\circ \text{ (volt/km)}$

$$\Delta U_{bt} = 16090 \angle -30^\circ \text{ (volt)}$$

tương tự:  $\Delta U_{co} = -jx_{ca} \cdot I_a - jx_{cb} \cdot I_b + jx_{cc} \cdot I_c = 88,6 \angle 215^\circ \text{ (volt/km)}$

$$\Delta U_{ct} = 17011 \angle -145^\circ \text{ (volt)}$$

Chú ý rằng, mặc dù dòng điện cân bằng trên ba pha nhưng điện áp cảm ứng không bằng

nhau,  $\Delta \bar{U}_{bt}$  nhỏ hơn khoảng 6%.

b) *Trường hợp có hoán vị*

Giả thiết rằng chỉ có một bên của đường dây đang vận hành và đường dây được hoán vị đầy đủ, tìm cảm kháng tương mõi km đường dây và điện áp cảm ứng toàn phần mõi pha nếu dòng điện tải cân bằng và bằng 200 ampe mỗi pha.

Theo a)

$$x_{aa} = x_{bb} = x_{cc} = 0,328 \text{ } (\Omega/\text{km})$$

$$x_{ab} = x_{bc} = 0,092 \text{ } (\Omega/\text{km})$$

$$x_{ac} = 0,134 \text{ } (\Omega/\text{km})$$

Suy ra:  $x_s = 0,328 \text{ } \Omega/\text{km}$

$$x_m = \frac{0,092 + 0,092 + 0,134}{3} = 0,106 \text{ } (\Omega/\text{km})$$

Do đó  $x_0 = x_s + x_m = 0,328 + 0,106 = 0,434 \text{ } (\Omega/\text{km})$

Chú ý  $x_0$  có thể tính trực tiếp từ công thức:

$$x_0 = 0,0029 \cdot f \cdot \log \frac{\sqrt[3]{D_a \cdot D_b \cdot D_c}}{\sqrt[3]{r_a \cdot r_b \cdot r_c}} = 0,0029 \cdot f \cdot \log \frac{D_m}{D_s} \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$D_m = \sqrt[3]{4,29 \cdot 4,29 \cdot 8,4} = 5,367 \text{ m}$$

$$D_s = 5,44 \text{ mm} = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_0 = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log \frac{5,367}{5,44 \cdot 10^{-3}} = 0,434 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Nhớ rằng  $x_0$  không được dùng để tính điện áp cảm ứng trên mõi km của đường dây vì tổng trở của đường dây chỉ đổi xứng trên trên các pha khi xét trên toàn chiều dài đường dây.

Điện áp cảm ứng hay sụt áp do cảm kháng trên các pha:

$$\Delta \bar{U}_{at} = l \cdot \dot{I}_a \cdot j x_0 = 192 \cdot 200 \angle 0^\circ \cdot 0,434 \angle 90^\circ = 16666 \angle 90^\circ \text{ (volt)}$$

$$\Delta \bar{U}_{bt} = l \cdot \dot{I}_b \cdot j x_0 = 16666 \angle -30^\circ \text{ (volt)}$$

$$\Delta \bar{U}_{ct} = l \cdot \dot{I}_c \cdot j x_0 = 16666 \angle -150^\circ \text{ (volt)}$$

**Ví dụ 2.5:** Giả thiết cả hai bên của đường dây trong ví dụ 2.4 đều vận hành ( $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  và  $a''$ ,  $b''$ ,  $c''$ ) như một đường dây không được hoán vị. Tính cảm kháng mõi km đường dây và sụt áp (điện áp cảm ứng) toàn phần trên mõi pha nếu tải cân bằng và bằng 400 ampe mỗi pha. Làm lại trong trường hợp đường dây kép được hoán vị đầy đủ.

a) *Trường hợp đường dây kép không hoán vị*

Phương pháp khoảng cách trung bình nhân được dùng ở đây vì tính đối xứng vốn có trong cách bố trí dây dẫn sẽ làm cho dòng điện tải chia đều trên hai dây  $a'$  và  $a''$  của cùng pha a (cũng như trên  $b'$  và  $b''$  hay trên  $c'$  và  $c''$ ) do đó không cần hoán vị riêng cho từng pha.

Lời giải cảm kháng đối với đường dây không hoán vị.

Vì sáu dây dẫn giống nhau nên:

$$r'_{a'} = r'_{a''} = r' = 5,44 \text{ mm}$$

Khoảng cách trung bình giữa các dây của pha a:

$$D_{sa} = \sqrt{r' \cdot D_{a'a''}} = \sqrt{0,00544 \cdot 8,7} = 0,2172 \text{ (m)}$$

Do đó:  $x_{aa} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log \frac{1}{0,2172} = 0,096 \text{ (\Omega/km)}$

Tương tự:  $D_{sb} = \sqrt{r' \cdot D_{b'b''}} = 0,239 \text{ (m)}$

$$x_{bb} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log \frac{1}{0,239} = 0,089 \text{ (\Omega/km)}$$

Cũng từ hình vẽ:  $D_{sc} = D_{sa} = 0,217 \text{ m}$

$$x_{cc} = x_{aa} = 0,096 \text{ \Omega/km}$$

vì  $D_{a'b'} = D_{a''b''} = 4,29 \text{ m}$  và  $D_{a'b''} = D_{a''b'} = 10,47 \text{ m}$

$$D_{ab} = \sqrt{D_{a'b'} \cdot D_{a'b''}} = \sqrt{4,29 \cdot 10,47} = 6,705 \text{ (m)}$$

Suy ra cảm kháng phân cách:

$$x_{ab} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log 6,705 = 0,120 \text{ (\Omega/km)}$$

Tương tự:  $D_{ca} = \sqrt{D_{c'a'} \cdot D_{c'a''}} = 10 \text{ (m)}$

$$x_{ca} = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log 10 = 0,145 \text{ (\Omega/km)}$$

Từ hình vẽ:  $D_{bc} = D_{ab}$

Do đó:  $x_{bc} = x_{ab} = 0,120 \text{ (\Omega/km)}$

Điện áp cảm ứng trên đường dây không hoán vị:

$$\begin{aligned} \Delta U_{ao} &= jx_{aa} \cdot I_a - jx_{ab} \cdot I_b - jx_{ac} \cdot I_c \\ &= 0,096 \angle 90^\circ \cdot 400 \angle 0^\circ - 0,120 \angle 90^\circ \cdot 400 \angle -120^\circ - 0,145 \angle 90^\circ \cdot 400 \angle -240^\circ \\ &= 91,88 \angle 84,3^\circ \quad (\text{volt/km}) \end{aligned}$$

và đối với toàn thể đường dây:

$$\Delta U_{at} = \Delta U_{ao} \cdot l = 91,88 \angle 84,3^\circ \cdot 192 = 17640 \angle 84,3^\circ \quad (\text{volt})$$

Tương tự:  $\Delta U_{bo} = -jx_{ba} \cdot I_a + jx_{bb} \cdot I_b - jx_{bc} \cdot I_c = 84,1 \angle -30^\circ \text{ (volt/km)}$

$$\Delta U_{bt} = \Delta U_{bo} \cdot l = 16147 \angle -30^\circ \text{ (volt)}$$

và  $\Delta U_{co} = -jx_{ac} \cdot I_a - jx_{bc} \cdot I_b + jx_{cc} \cdot I_c = 91,88 \angle 215,7^\circ \text{ (volt/km)}$

$$\Delta U_{ct} = \Delta U_{co} \cdot l = 17640 \angle -144,3^\circ \quad (\text{volt})$$

Chú ý  $\Delta U_{bt}$  nhỏ hơn  $\Delta U_{at}$  và  $\Delta U_{ct}$  khoảng 10% vì sự không đối xứng của thông số đường dây.

b) Trường hợp đường dây được hoán vị đổi xứng

Cảm kháng của đường dây hoán vị

Với kết quả trong phần a)

$$D_s = \sqrt[3]{D_{sa} \cdot D_{sb} \cdot D_{sc}} = \sqrt[3]{0,217^2 \cdot 0,239} = 0,224 \text{ (m)}$$

$$D_m = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}} = \sqrt[3]{6,705^2 \cdot 10} = 7,68 \text{ (m)}$$

Từ công thức  $x_0 = 0,0029 \cdot 50 \cdot \log \frac{D_m}{D_s} = 0,223 \text{ (\Omega/km mỗi pha)}$

Chú ý có thể tính  $x_0$  theo công thức sau đây:

$$x_0 = \frac{1}{3}(x_{aa} + x_{bb} + x_{cc}) + \frac{1}{3}(x_{ab} + x_{bc} + x_{ac})$$

hoặc từ công thức:  $x_0 = x_s + x_m$ , với

$$\begin{aligned} x_s &= \frac{1}{12}[(x_{a'a'} + x_{b'b'} + x_{c'c'} + x_{a''a''} + x_{b''b''} + x_{c''c''}) - 2(x_{a'a''} + x_{b'b''} + x_{c'c''})] \\ &= \frac{1}{2}x_{a'a'} - \frac{1}{6}(x_{a'a''} + x_{b'b''} + x_{c'c''}) \end{aligned}$$

và

$$\begin{aligned} x_m &= \frac{1}{12}[x_{a'b'} + x_{a'b''} + x_{a''b'} + x_{a''b''} + x_{b'c'} + x_{b'c''} + x_{b''c'} + x_{b''c''} + x_{a'c'} + x_{a'c''} + x_{a''c'} + x_{a''c''}] \\ &= \frac{1}{6}[x_{a'b'} + x_{b'c'} + x_{c'a'} + x_{a'b''} + x_{b'c''} + x_{c'a''}] \end{aligned}$$

Sử dụng cảm ứng của đường dây hoán vị:

$$\Delta U_{at}^{\square} = \ell \cdot I_a \cdot j x_0 = 192 \cdot 400 \angle 0^\circ \cdot 0,223 \angle 90^\circ = 17126 \angle 90^\circ \text{ (volt)}$$

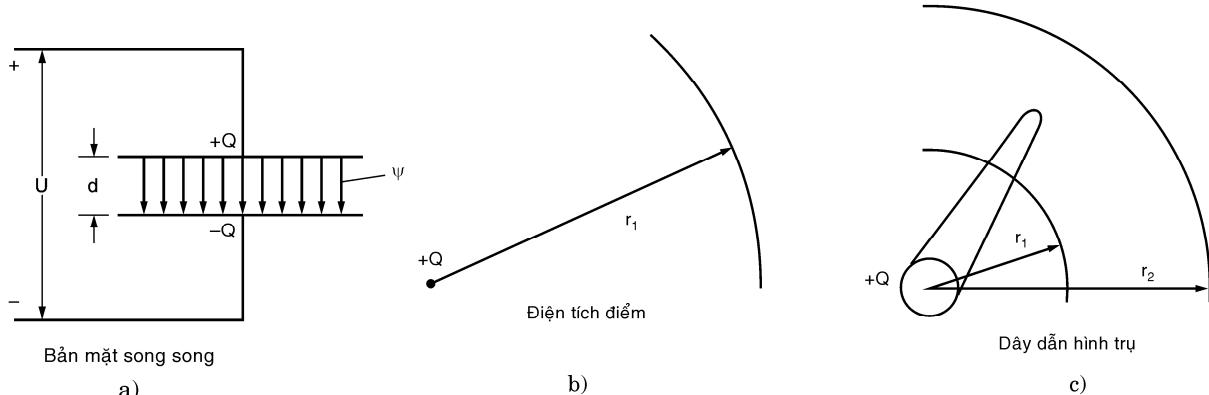
Tương tự:  $\Delta U_{bt}^{\square} = 192 \cdot 400 \angle -120^\circ \cdot 0,223 \angle 90^\circ = 17126 \angle -30^\circ \text{ (volt)}$

$$\Delta U_{et}^{\square} = 192 \cdot 400 \angle -240^\circ \cdot 0,223 \angle 90^\circ = 17126 \angle -150^\circ \text{ (volt)}$$

## B. ĐIỆN DUNG CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

### 2.10 ĐIỆN TRƯỜNG ĐỐI VỚI BẢN CỰC SONG SONG, ĐIỆN TÍCH ĐIỂM VÀ DÂY DẪN HÌNH TRỤ

Đối với hai bản cực song song (H.2.23a), điện tích  $Q$  tích tụ trên các bản cực bằng tích số của điện dung với điện áp đặt vào hai bản cực đó.



**Hình 2.23**

$$Q = C \cdot U \text{ coulomb} \quad (2.63a)$$

Thông lượng điện  $\Psi$  giữa các bản cực bằng giá trị của điện tích  $Q$  trên bản cực.

Mật độ điện thông ở bất cứ điểm nào giữa hai bản cực là:

$$D = \frac{Q}{A} \text{ coulomb/m}^2 \quad (2.63b)$$

Điện trường giữa hai bản cực liên hệ với mật độ điện thông qua hệ thức:

$$E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{Q}{\epsilon \cdot A} \text{ V/m} \quad (2.64)$$

trong đó,  $\epsilon$  là hằng số điện thẩm của điện môi:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$\epsilon_r$  - hằng số điện thẩm tương đối (# 1 đối với không khí);

$\epsilon_0$  - hằng số điện thẩm của môi trường tự do (không khí);

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}.$$

A - diện tích bản cực.

Ngoài ra, điện dung của hai bản cực song song có thể tính theo kích thước của nó (diện tích A và khoảng cách d giữa hai bản cực).

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \text{ farad} \quad (2.65)$$

hay cũng có thể tính theo điện tích và điện áp:

$$C = \frac{Q}{U} \text{ farad}$$

Bây giờ, khảo sát trường hợp một điểm mang điện tích Q (H.2.23b). Thông lượng điện qua mặt cầu tâm là điểm mang điện tích, bán kính r bằng đúng điện tích Q, do đó mật độ điện thông ở một khoảng cách r bằng:

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi r^2} \text{ coulomb/m}^2 \quad (2.66)$$

Suy ra điện trường:

$$E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon} \text{ volt/m} \quad (2.67)$$

Cuối cùng, xét hình trụ được xem là dây dẫn truyền tải điện (H.2.23.c), hình trụ này mang điện tích Q coulomb trên mỗi mét chiều dài.

Mật độ điện thông và cường độ từ trường ở khoảng cách  $r_1$  là:

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi r_1 \times 1} \text{ coulomb/m}^2 \quad (2.68)$$

$A = 2\pi r_1 \times 1$  là diện tích hình trụ bán kính  $r_1$ , dài 1 m.

Suy ra điện trường:

$$E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{Q}{2\pi r_1 \epsilon} \text{ volt/m} \quad (2.69)$$

Điện thế từ các điểm từ  $r_1$  đến  $r_2$  bên ngoài hình trụ:

$$U_{12} = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Q}{2\pi \epsilon r} dr = \frac{Q}{2\pi \epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (2.70)$$

$$U_{12} = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

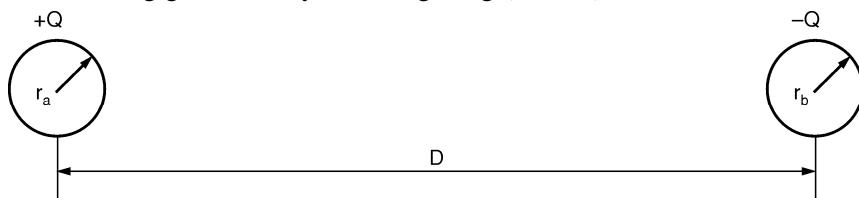
là điện thế của điểm 1 đối với điểm 2,

nghĩa là:

$$U_{12} = U_1 - U_2.$$

## 2.11 ĐIỆN DUNG CỦA ĐƯỜNG DÂY MỘT PHA

Xét điện trường giữa hai dây dẫn song song (H.2.24):



**Hình 2.24**

Để xác định điện thế giữa hai dây dẫn a và b có thể chồng chất hai điện thế từ a đến b:

- một điện thế chỉ do điện tích của dây a tạo ra;
- một điện thế chỉ do điện tích của dây b tạo ra.

Với một điện tích dương trên a, điện thế giữa dây a và b (dây b không mang điện tích) là:

$$U'_{ab} = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D}{r_a} \quad (2.71)$$

Kế đó, một điện tích âm trên dây b, điện thế giữa dây b và dây a (dây a không mang điện tích) là:

$$U''_{ba} = -\frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D}{r_b} \quad (2.72)$$

Chồng chất hai điện thế  $U'_{ab}$  và  $U''_{ba}$ :

$$\begin{aligned} U_{ab} &= U'_{ab} + U''_{ab} \\ U_{ab} &= \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D}{r_a} + \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D}{r_b} = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D^2}{r_a \cdot r_b} \end{aligned} \quad (2.73)$$

Vì  $C = \frac{Q}{U}$ , điện dung mỗi mét của đường dây một pha là:

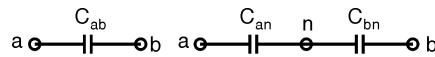
$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(D^2 / r_a \cdot r_b)} \text{ farad/m} \quad (2.74)$$

với không khí  $\epsilon_{kk} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 = 1 \times 8,85 \times 10^{-12}$ ,  $\ln N = 2,303 \log N$ ,  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$

$$C = C_{ab} = \frac{2\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \times 1000}{2,3 \log(D^2 / r_a \cdot r_b)} = \frac{0,0242}{\log(D^2 / r_a \cdot r_b)} \mu\text{F/km} \quad (2.75)$$

$$\text{Nếu } r_a = r_b = r: C = \frac{0,0121}{\log \frac{D}{r}} \mu\text{F/km} \quad (2.76)$$

Điện dung từ một dây đến điểm trung tính bằng hai lần  $C_{ab}$ .

**Hình 2.25**

$$C_{an} = 2C_{ab} = \frac{0,0242}{\log \frac{D}{r}} \text{ } \mu\text{F/km} \quad (2.77)$$

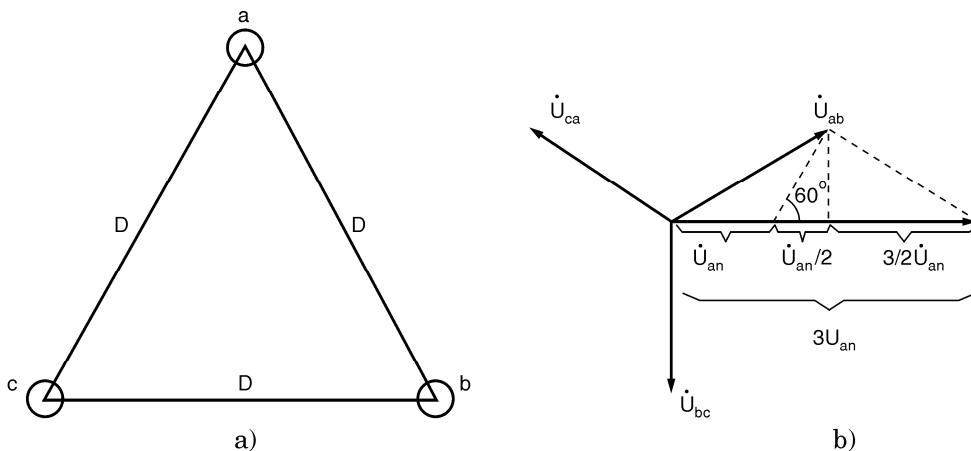
Dung kháng của đường dây 1 pha (với  $f = 50 \text{ Hz}$ ):

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C_{ab}} = 2,623 \times 10^5 \cdot \log \frac{D}{r} \text{ } \Omega.\text{km} = 0,263 \log \frac{D}{r} \text{ } \text{M}\Omega.\text{km} \quad (2.78)$$

## 2.12 ĐIỆN DUNG CỦA ĐƯỜNG DÂY BA PHA ĐỐI XỨNG

Mục này sẽ xác định điện dung đến trung tính của đường dây ba pha đối xứng.

Điện áp giữa bất kỳ hai dây dẫn nào có thể được diễn tả bằng tổng số các điện áp giữa hai dây dẫn đó do mỗi điện tích trên dây gây ra.

**Hình 2.26**

Hình 2.26 cho thấy điện áp đến trung tính  $U_{an}$  có thể viết theo các giá trị của điện áp dây:

$$3\bar{U}_{an} = \bar{U}_{ab} + \bar{U}_{ac} \quad (2.79)$$

Các phương trình viết cho  $U_{ab}$  và  $U_{ac}$  lần lượt như sau (áp dụng (2.70)):

$$\begin{aligned} \bar{U}_{ab} &= \frac{1}{2\pi\varepsilon} \left[ \bar{Q}_a \ln \frac{D}{r} + \bar{Q}_b \ln \frac{r}{D} + \bar{Q}_c \ln \frac{D}{r} \right] \\ \bar{U}_{ac} &= \frac{1}{2\pi\varepsilon} \left[ \bar{Q}_a \ln \frac{r}{D} + \bar{Q}_b \ln \frac{D}{D} + \bar{Q}_c \ln \frac{D}{r} \right] \end{aligned} \quad (2.80)$$

Giả thiết không có điện tích nào khác ngoài  $\bar{Q}_a$ ,  $\bar{Q}_b$  và  $\bar{Q}_c$  ra, nghĩa là:

$$\bar{Q}_b + \bar{Q}_c = -\bar{Q}_a \quad (2.81)$$

$$\bar{U}_{ab} + \bar{U}_{ac} = \frac{3\bar{Q}_a}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{D}{r} \quad (2.82)$$

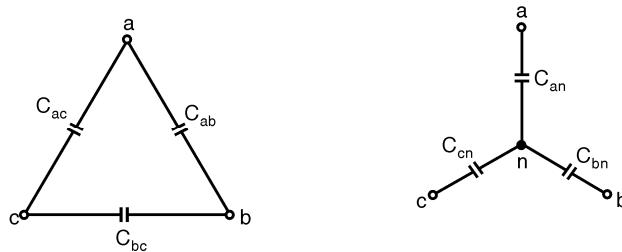
$$\bar{U}_{an} = \frac{1}{3} (\bar{U}_{ab} + \bar{U}_{ac}) = \frac{\bar{Q}_a}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{D}{r}$$

Suy ra:  $C_{an} = \frac{Q_a}{U_{an}} = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln D/r} F/m = \frac{0,0242}{\log D/r} \mu F/km$  (2.83)

Ở tần số 50 Hz; dung kháng trên nữa km:

$$\dot{x}_{an} = \frac{1}{\omega C_{an}} = 0,1315 \cdot \log \frac{D}{r} (\text{M}\Omega \cdot \text{km}) \quad (2.84)$$

*Chú ý:* Thật ra, chỉ xét điện dung giữa các pha với nhau đó là các điện dung  $C_{ab}$ ,  $C_{bc}$ ,  $C_{ca}$ .



Hình 2.27

Điện dung giữa các pha và trung tính có giá trị tương đương (trong phép biến đổi tam giác - sao) hơn là ý nghĩa vật lý. Tuy vậy, mạch nối hình sao lại thích hợp để vẽ sơ đồ tương đương một pha của mạch ba pha cân bằng và do đó thuận tiện trong việc tính toán vận hành. Điểm trung tính n xem như điểm trung tính tương ứng.

Dòng điện điện dung  $I'$  mỗi pha của đường dây tải điện được tính ra ampe/km (hoặc công suất kháng MVAr/km) (H.2.28).

$$I' = \frac{\dot{U}_{an}}{-j\dot{x}_{an}} = j \dot{U}_{an} \cdot \omega \cdot C_{an} \cdot 10^{-6} \text{ ampe/km} \quad (2.85)$$

với:  $C_{an}$ :  $\mu F/km$      $U_{an}$ : điện áp pha (V).

Đối với tần số 50 Hz, dung dẫn mỗi km đường dây:

$$b_0 = \omega \cdot C_{an} = \frac{7,60}{\log \frac{D}{r}} \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}} \quad (2.86)$$

Công suất kháng do điện dung sinh ra trên toàn đường dây:

$$Q_c = U^2 \cdot b_0 \cdot l \quad (2.87)$$

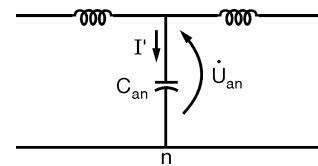
$Q_c$ : công suất ba pha nếu  $U$  là điện áp dây

$$U(\text{kV}), b_0 \left( \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}} \right), Q_c(\text{MVAr}).$$

$l$ : chiều dài đường dây (km)

Đối với đường dây bố trí không đối xứng, đường dây có thể được hoán vị để cân bằng dung kháng giữa các dây pha và trung tính trên suốt chiều dài đường dây.

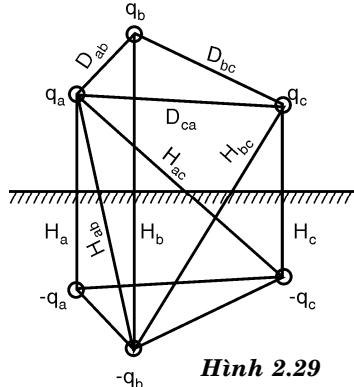
Trong trường hợp đường dây có hoán vị đối xứng công thức tính dung kháng giống như của đường dây đối xứng trong đó khoảng cách  $D$  được thay bằng khoảng cách tương đương  $D_{td}$  hay  $D_m$ .



Hình 2.28

$D_{td} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}$  với  $D_{ab}, D_{bc}$ , và  $D_{ca}$  là khoảng cách giữa các dây dẫn  $a, b$  và  $c$

$$x_1 = 0,1315 \log \frac{D_{td}}{r} \text{ (M}\Omega\text{-km)} \quad (2.88)$$



Ảnh hưởng của đất trên điện dung đối với đường dây ba pha bằng cách dùng ảnh chiếu của các dây dẫn qua mặt đất (H.2.29). Điện tích trên các dây dẫn ảnh trái dấu với điện tích của đường dây thực tế.

Điện dung đối với trung tính của đường dây có hoán vị và có kể ảnh hưởng của đất cho bởi công thức sau đây:

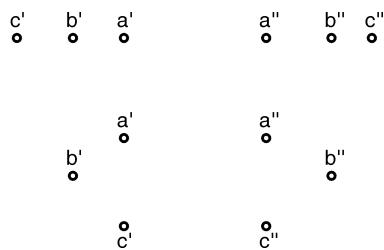
$$C_n = \frac{0,0242}{\log \frac{\sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}}{r} - \log \frac{\sqrt[3]{H_{ab} \cdot H_{bc} \cdot H_{ca}}}{\sqrt[3]{H_a \cdot H_b \cdot H_c}}} \text{ (}\mu\text{F/km)} \quad (2.89)$$

Ảnh hưởng của đất làm tăng điện dung từ dây đến trung tính. Khi khoảng cách từ các dây dẫn đến mặt đất rất lớn so với khoảng cách giữa các dây dẫn với nhau thì ảnh hưởng của đất không đáng kể, vì:  $\log \frac{\sqrt[3]{H_{ab} \cdot H_{bc} \cdot H_{ca}}}{\sqrt[3]{H_a \cdot H_b \cdot H_c}} \rightarrow 0$

## 2.13 ĐIỆN DUNG CỦA ĐƯỜNG DÂY LỘ KÉP

Đối với đường dây lộ kép, để áp dụng được phương pháp khoảng cách trung bình nhân và bán kính trung bình nhân thì đường dây phải có cách bố trí đối xứng để có sự phân bố đều của dòng điện dung trên mỗi đơn vị chiều dài giữa các dây dẫn song song của cùng một pha. Nếu không có cách bố trí đối xứng đường dây phải được hoán vị đầy đủ.

Các cách bố trí sau đây là đối xứng (H.2.30):



Hình 2.30

Đối với đường dây ba pha lộ kép có cách bố trí đối xứng và có hoán vị, dung kháng pha tương đương mỗi km của đường dây ở tần số 50 Hz cho bởi công thức:

$$x_1 = 0,1315 \log \frac{D_m}{D_s} \text{ M}\Omega\text{-km/pha.} \quad (2.90)$$

$$\text{dung dẫn } b_o = \frac{7,60}{\log D_m / D_s} \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$$

với  $D_m$  định như trung hợp tính cảm kháng của đường dây.  $D_s$  xác định theo công thức:

$$D_s = \sqrt[12]{r_a \cdot r_{a''} \cdot r_b \cdot r_{b''} \cdot r_c \cdot r_{c''} \cdot D_{a,a''}^2 \cdot D_{b,b''}^2 \cdot D_{c,c''}^2} \quad (2.91)$$

Nếu các dây dẫn giống nhau:

$$D_s' = \sqrt[6]{r^3 \cdot D_{a'a''} \cdot D_{b'b''} \cdot D_{c'c''}} \quad (\text{dùng bán kính } r \text{ của dây dẫn}) \quad (2.92)$$

**Ví dụ 2.6:** Đường dây trong ví dụ 2.4 vận hành ở điện áp dây cân bằng 110 kV và được hoán vị đối xứng. Tính dung kháng và dòng điện điện dung trong hai trường hợp vận hành một bên và hai bên

**Giải**

a) Chỉ vận hành một bên của đường dây

Dung kháng tương đương của mỗi pha đường dây đổi với trung tính cho bởi công thức:

$$\begin{aligned} x' &= 0,1315 \log \frac{D_m}{r} = 0,1315 \log \frac{\sqrt[3]{D_{a'b'} \cdot D_{b'c'} \cdot D_{c'a'}}}{r} \\ x' &= 0,1315 \log \frac{\sqrt[3]{4,29^2 \times 8,40}}{0,00717} = 0,378 \text{ (M}\Omega\text{.km)} \end{aligned}$$

$$\text{Dung dẫn } b_0 = \frac{1}{0,378} = 2,646 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$$

$$\text{Theo giả thiết } \dot{U}_{an} = \frac{110}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{kV}, \dot{U}_{bn} = \frac{110}{\sqrt{3}} \angle -120^\circ \text{kV}$$

$$\text{và } \dot{U}_{cn} = \frac{110}{\sqrt{3}} \angle -240^\circ \text{kV.}$$

$$\text{Suy ra: } I'_a = \frac{\dot{U}_{an}}{-jx'} \cdot 10^{-6} = \frac{63508 \angle 0^\circ}{0,378 \angle -90^\circ} \cdot 10^{-6} = 0,168 \angle 90^\circ \text{ ampe/km}$$

$$\text{Tương tự: } I'_b = 0,168 \angle -30^\circ \text{ ampe/km}$$

$$I'_c = 0,168 \angle -150^\circ \text{ ampe/km}$$

b) Nếu vận hành cả hai phía của đường dây và được hoán vị đối xứng, hãy tính lại dung kháng và dòng điện điện dung:

$$\text{Từ công thức: } x' = 0,1315 \log \frac{D_m}{D_s} \left( \text{M}\Omega \cdot \text{km/pha} \right)$$

$$D_m = \sqrt[12]{D_{a'b'} \cdot D_{a'b''} \cdot D_{a''b'} \cdot D_{a''b''} \cdot D_{b'c'} \cdot D_{b'c''} \cdot D_{b''c'} \cdot D_{b''c''} \cdot D_{ca'} \cdot D_{ca''} \cdot D_{c'a'} \cdot D_{c'a''}}$$

$$D_m = \sqrt[6]{D_{a'b'} \cdot D_{a'b''} \cdot D_{b'c'} \cdot D_{b'c''} \cdot D_{ca'} \cdot D_{ca''}}$$

vì  $D_{a'b'} = D_{b'c'} \text{ và } D_{a'b''} = D_{b'c''}$

$$D_m = \sqrt[6]{D_{a'b'}^2 \cdot D_{a'b''}^2 \cdot D_{ca'}^2 \cdot D_{ca''}^2} = \sqrt[6]{4,29^2 \cdot 10,47^2 \cdot 8,4 \cdot 12,1} = 7,68 \text{ (m).}$$

$$D_s' = \sqrt[6]{r^3 \cdot D_{a'a''} \cdot D_{b'b''} \cdot D_{c'c''}} = \sqrt[6]{0,00717^3 \times 8,70 \times 10,50 \times 8,70} = 0,258 \text{ (m).}$$

$$\text{Suy ra: } x' = 0,1315 \log \frac{7,68}{0,258} = 0,1938 \left( \text{M}\Omega \cdot \text{km/pha} \right).$$

Dòng điện điện dung:

$$I'_a = \frac{\dot{U}_{an}}{-jx'} \cdot 10^{-6} = \frac{63508 \angle 0^\circ}{0,1938 \angle -90^\circ} \cdot 10^{-6} = 0,328 \angle 90^\circ \text{ ampe/km}$$

$$\text{Tương tự: } I'_b = 0,328 \angle -30^\circ \text{ ampe/km}$$

$$I_c = 0,328 \angle -150^\circ \text{ ampe/km}.$$

\* **Tóm tắt trị số phỏng chừng của đường dây truyền tải ba pha một lô, 50 Hz:**

1- Cảm kháng của đường dây khoảng  $0,4 \Omega/\text{km}$ .

2- Dung kháng của đường dây khoảng  $0,35 \div 0,4 M\Omega \cdot \text{km}$ , tức là điện dung khoảng  $0,008 \div 0,01 \mu\text{F}/\text{km}$ , dung dẫn  $b_0$  khoảng  $2,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$

$$3- \text{Tổng trở đặc tính của đường dây } Z_o = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}} \approx 400 \Omega$$

4- Công suất kháng do điện dung phát ra trên ba pha mỗi  $100 \text{ km}$  đường dây khoảng:

$$q_c = 0,25U^2 \left( \frac{\text{kVAr}}{100 \text{ km}} \right) \quad (2.93)$$

với  $U$  là điện áp dây ( $\text{kV}$ ).

Cho cả đường dây chiều dài  $L$  khoảng:

$$Q_c = 0,25 \times U^2 \times \frac{1}{100} \text{ kVAr.}, \quad \text{trong đó } l \text{ tính bằng km} \quad (2.94)$$

Như vậy, đối với điện áp  $110 \text{ kV}$ ,  $q_c$  khoảng  $3 \text{ MVA} \text{r}$  mỗi  $100 \text{ km}$ ; và đối với điện áp  $230 \text{ kV}$ ,  $q$  khoảng  $13 \text{ MVA} \text{r}$  mỗi  $100 \text{ km}$ .

## C. TỔN HAO VÂNG QUANG CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN - ĐIỆN DẪN TÁC DỤNG CỦA ĐƯỜNG DÂY

### 2.14 HIỆN TƯỢNG VÂNG QUANG VÀ TỔN HAO DO VÂNG QUANG

Vâng quang điện xảy ra khi điện trường quanh bề mặt dây dẫn vượt quá sức bền về điện của không khí khoảng  $21 \text{ kV}$  (hiệu dụng) /cm. Ở điện trường này, không khí bị ion hóa mạnh và độ bền về điện của nó ở vùng quanh dây dẫn xem như triệt tiêu, vùng không khí đó coi như dẫn điện, điều này làm cho dây dẫn trở nên có điện trở lớn. Do đó, tổn hao đường dây bị tăng lên.

Điện trường tới hạn (sụp đổ) còn được dùng để gọi điện trường lúc có xảy ra hiện tượng nói trên. Điện áp tới hạn sụp đổ là điện áp tạo ra sự chọc thủng điện môi không khí quanh dây dẫn.

Vâng quang điện xuất hiện thành các vâng sáng xanh quanh dây dẫn, nhất là ở chỗ bề mặt dây dẫn bị xù xì và đồng thời có tiếng ồn và tạo ra khí ozone, nếu không khí ẩm thì phát sinh axit nitric; ozone và axit nitric ăn mòn kim loại và vật liệu cách điện.

Điện áp đối với trung tính ở bề mặt của dây dẫn đạt tới điện áp tới hạn thì điện trường cho bởi hệ thức:

$$E_o = \frac{U_o}{r \ln \frac{D}{r}} \Rightarrow U_o = E_o \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (2.95)$$

trong đó:  $U_o$ : điện áp tới hạn hiệu dụng đối với trung tính.

$E_o = 21 \text{ kV}$  (hiệu dụng)/cm.

r: bán kính dây dẫn, cm

D: khoảng cách giữa hai dây dẫn, cm ; trường hợp ba pha bố trí theo hình tam giác

đều.

Nếu  $E_o = 30 \text{ kV/cm}$  (đỉnh) thì điện áp  $U_o$  là điện áp cực đại (đỉnh) đối với trung tính.

Công thức tính  $U_o$  nói trên chỉ tính cho trường hợp khí hậu tốt, ở điều kiện chuẩn  $25^\circ\text{C}$  và  $76\text{cm Hg}$  đối với dây dẫn tròn nhẵn, nếu có kể thêm mật độ của không khí khác với điều kiện chuẩn và tình trạng bề mặt của dây dẫn thì  $U_o$  được tính như sau:

$$U_o = 21,1 \cdot m_o \cdot \delta \cdot r \times 2,303 \log \frac{D}{r} \text{ kV (hiệu dụng).} \quad (2.96)$$

trong đó: \*  $m_o$ : hệ số dạng của bề mặt dây

- = 1 đối với dây dẫn tròn;
- =  $0,93 \div 0,98$  đối với dây nhám;
- =  $0,8 \div 0,87$  đối với dây bện.

\*  $\delta$ : thừa số mật độ của không khí:

$$\delta = \frac{3,92b}{273+t} \quad (2.97)$$

$b$ : áp suất không khí,  $\text{cm Hg}$

$t$ : nhiệt độ bách phân,  $^\circ\text{C}$ .

Đối với dây dẫn bố trí nằm ngang hay thẳng đứng thì giảm 4% cho dây giữa và tăng 6% cho hai dây ngoài bìa.

Ở điện áp sụp đổ tối hạn  $U_o$  chưa trông thấy được vầng quang. Điện áp trông thấy vầng quang (phát sinh)  $U_t$  ở đó sự phóng điện trông thấy được cho bởi công thức sau đây:

$$U_t = 21,1m_v \cdot \delta \cdot r \left( 1 + \frac{0,3}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \times 2,303 \log \frac{D}{r} \text{ kV (hiệu dụng)} \quad (2.98)$$

trong đó:  $m_v = 1$  đối với dây dẫn nhẵn;

=  $0,72$  đối với vầng quang cục bộ;

=  $0,82$  đối với vầng quang dọc trên toàn đường dây.

Có thể nâng cao điện áp tối hạn bằng cách tăng khoảng cách  $D$  giữa các dây dẫn, tăng bán kính  $r$  của dây dẫn, hoặc bằng cách phân dây dẫn ra thành nhiều dây nhỏ cho một pha (phân pha) để tăng bán kính biến của pha.

Tăng  $D$  như vậy không tốt, không kinh tế vì cột phải làm rộng hơn và tăng  $D$  thì  $E$  giảm được ít vì  $D$  đứng sau dấu  $\log$ . Tăng  $r$  thì tương đối tốt vì gần như  $U_o$  tỉ lệ với  $r$ .

Để giới hạn tổn hao vầng quang, đường kính tối thiểu của dây dẫn tùy theo cấp điện áp được cho trong bảng:

Điện áp định mức ( $\text{kV}$ ) Số dây dẫn trong một pha	Đường kính của dây dẫn nhỏ nhất cho phép ( $\text{mm}$ )	Mã hiệu dây dẫn
110	11,3	AC - 70
150	15,2	AC - 120
220	21,6	AC - 240
330		
1 dây dẫn trong 1 pha	33,1	ACO - 600
2 dây dẫn trong 1 pha	$2 \times 21,6$	$2 \times \text{ACO} - 240$
500		
2 dây dẫn trong 1 pha	2×37,1	2×ACO - 700
3 dây dẫn trong 1 pha	3×27,2	3×ACO - 400

Thông thường điện áp vận hành từ  $60 \text{ kV}$  trở lên mới phải xét đến tổn thất do vầng quang

điện gây nên. Ngay sau khi đạt đến  $U_o$ , tổn hao vầng quang mỗi pha đối với điện áp pha  $U$  kV từ dây đến trung tính là:

$$\Delta P = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U - U_o)^2 \times 10^{-5} \text{ kW/km/pha} \quad (2.99)$$

với  $f$ : tần số

$U, U_o$ : là các điện áp pha (kV).

Tổng quát, tổn hao vầng quang trên mỗi km đường dây khi thiết kế được giới hạn ở khoảng 0,6 kW/km/3 pha trong điều kiện khí hậu tốt.

**Ví dụ 2.7:** Tìm tổn hao vầng quang của đường dây ba pha dài 100 km với dây dẫn bằng đồng đường kính 20 mm và bố trí tam giác đều, khoảng cách trung bình giữa các pha là 8m. Điện áp dây là 240 kV, tần số 50 Hz, dây sạch và nhẵn, áp suất không khí là 75cm Hg và nhiệt độ không khí là  $30^{\circ}\text{C}$ .

**Giải**

$$\delta = \frac{3,92b}{273+t} = \frac{3,92 \times 75}{273+30} = 0,97.$$

$m_o = 1$  đối với dây sạch và trơn.

$$\log \frac{D}{r} = \log \frac{800}{1} = 2,9.$$

$$\begin{aligned} U_o &= 21,1m_o \cdot \delta \cdot r \times 2,303 \log \frac{D}{r} \\ &= 21,1 \times 1 \times 0,97 \times 1 \times 2,303 \times 2,9 = 136,69 \text{ kV} \end{aligned}$$

hiệu dụng dây đến trung tính.

$$U = \frac{240}{\sqrt{3}} = 138,6 \text{ kV} \text{ đến trung tính}$$

$U > U_o$  nên có vầng quang. Tổn hao vầng quang:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U - U_o)^2 \times 10^{-5} \\ &= \frac{241}{0,97} (50 + 25) \sqrt{\frac{1}{800}} (138,6 - 136,69)^2 \times 10^{-5} = 0,024 \text{ kW/km/pha} \end{aligned}$$

Tổn hao vầng quang của đường dây:

$$0,024 \times 100 \times 3 = 7,2 \text{ kW}$$

Ngoài tổn thất công suất do hiện tượng vầng quang điện đường dây trên không còn có tổn thất công suất tác dụng do rò điện. Có hiện tượng rò điện vì:

- Bán thân lớp men sứ không nhẵn, cường độ điện trường phân bố không đều trên mặt sứ.

- Mặt sứ bị bẩn do bụi, các sợi bông, chất hóa học, mưa phùn ... do đó mặt sứ trở nên dãn điện và dòng điện sẽ rò xuống đất. Ban đêm ta sẽ thấy sáng xanh xanh và nghe tiếng lách tách trên đường dây 110–220 kV, tổn thất công suất tác dụng do bởi dòng điện rò trên mặt sứ cách điện và tổn thất trong chất điện môi của sứ thường rất nhỏ; vì vậy không xét đến.

Khi tính toán mạng điện, tổn thất công suất tác dụng do vầng quang điện được phản ánh trên sơ đồ thay thế bằng trị số điện dẫn của đường dây. Trị số điện dẫn  $g_o$  của đường dây trên 1 km chiều dài được xác định từ công thức:

$$\Delta P_{g_o} = U^2 \cdot g_o \quad (2.100)$$

trong đó  $\Delta P_{g_o}$  là tổn thất công suất tác dụng do vầng quang điện của ba pha trên 1 km đường dây (MW).

U: điện áp dây (kV) và  $g_o = \left( \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}} \right)$

## D. ĐIỆN TRỞ CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

### 2.15 ĐIỆN TRỞ DÂY DẪN

Điện trở của dây dẫn dùng đơn vị là  $\Omega/\text{km}$  và có thể tra bảng tìm điện trở của các loại dây dẫn. Trên thực tế, nếu dùng công thức tính điện trở một chiều  $R = \rho \frac{l}{F}$  ( $F$  là tiết diện dây) để tính điện trở của các loại dây dẫn thì kết quả không hoàn toàn giống ở bảng, mà thông thường bé hơn vì các lý do sau đây:

- a) Hiệu ứng mặt ngoài của điện xoay chiều khiến cho dòng điện phân bố nhiều hơn ở quanh bề mặt của dây chứ không đều đặn trên khắp tiết diện của dây như trường hợp điện một chiều, do đó điện trở suất  $\rho$  tăng lên ( $\rho_- > \rho_+$ ).
- b) Nhiều dây mang phụ tải lớn đặt gần nhau làm cho mật độ dòng điện phân bố trong dây dẫn không đều. Đó là hiệu ứng ở gần.
- c) Phần lớn các loại dây đều là dây vặn xoắn nên chiều dài thực tế của nó thường lớn hơn 2%–3%.
- d) Nhiệt độ thay đổi cũng làm điện trở khác nhau. Theo tiêu chuẩn Nga thì nhiệt độ tính toán là  $+20^\circ\text{C}$ . Với một phụ tải nhất định khi nhiệt độ tăng thì điện trở của dây dẫn sẽ tăng và ngược lại. Đối với đường dây trên không, do có đối lưu gió tỏa nhiệt tương đối tốt nên yếu tố nhiệt độ không cần xét tới. Trường hợp cần phải tính điện trở thực tế theo nhiệt độ thực tế thì hệ số nhiệt của điện trở dây đồng và dây nhôm bằng  $0,004/\text{°C}$ .

Nếu biết điện trở  $R_{t1}$  của dây dẫn ở nhiệt độ  $t_1 {}^\circ\text{C}$  thì điện trở  $R_{t2}$  ở nhiệt độ  $t_2 {}^\circ\text{C}$  có thể tính được từ biểu thức:

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{\frac{1}{\alpha_0} + t_2}{\frac{1}{\alpha_0} + t_1} \quad (2.101)$$

Biểu thức này suy ra từ quan hệ:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_0 t)$$

trong đó  $R_t$  là điện trở ở  $t {}^\circ\text{C}$ ,  $R_0$  là điện trở ở  $0^\circ\text{C}$  và  $\alpha_0$  là hệ số nhiệt độ ở  $0^\circ\text{C}$  của dây dẫn, với đồng  $\alpha_0 = 0,0041/\text{°C}$ , với nhôm  $\alpha_0 = 0,0038/\text{°C}$

Sau đây là một vài số liệu cần nhớ:

- Trường hợp điện một chiều: điện trở suất

$$\rho_{Cu} = 18 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km} \quad \text{và} \quad \rho_{Al} = 29,5 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$$

- Trường hợp điện xoay chiều: điện trở suất

$$\rho_{Cu} = 18,8 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km} \quad \text{và} \quad \rho_{Al} = 31,5 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$$

Điện dẫn suất:

$$\text{với } \gamma = \frac{1}{\rho} \text{ thì } \gamma_{Cu} = 53 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \text{ và } \gamma_{Al} = 31,7 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}.$$

Hai yếu tố a) và b) có ảnh hưởng rất nhỏ hầu như không đáng kể. Hai yếu tố c) và d) có ảnh hưởng nhiều đến trị số của  $R$ .

## 2.16 KHẢ NĂNG MANG TẢI CỦA DÂY DẪN TRÊN KHÔNG

Công suất tỏa nhiệt ( $I^2r$ , watt)) sinh ra trong dây dẫn được tiêu tán khỏi mặt ngoài của dây một phần nhờ bức xạ ( $\omega_{bx}$ , watt/cm<sup>2</sup>), một phần nhờ đối lưu ( $\omega_{dl}$ , watt/cm<sup>2</sup>).

$$I^2r = A(\omega_{bx} + \omega_{dl}) \quad (2.102)$$

trong đó  $A$  là diện tích mặt ngoài của dây dẫn tính bằng cm<sup>2</sup>.

Theo định luật Stefan-Boltzmann, tổn hao nhiệt bức xạ là:

$$\omega_{bx} = 5,7E \left[ \left( \frac{T_{dd}}{1000} \right)^4 - \left( \frac{T_{xq}}{1000} \right)^4 \right] \text{watt/cm}^2 \quad (2.103)$$

trong đó  $T_{dd}$  và  $T_{xq}$  lần lượt là nhiệt độ Kelvin của dây dẫn và của môi trường xung quanh và  $E$  là hệ số phát xạ mà giá trị là  $E = 1$  đối với thể đen tuyệt đối và  $E = 0,5$  đối với đồng bị oxit hóa.

Nếu  $T_{dd} - T_{xq} = \Delta t$  độ bách phân là sự gia tăng nhiệt độ của dây dẫn và với  $\Delta t/T_{xq} < 0,2$ , ta có thể dùng khai triển nhị thức để được dạng gần đúng sau đây:

$$\omega_{bx} = 0,0228E \left( \frac{T_{xq}}{1000} \right)^3 \cdot \Delta t \text{ watt/cm}^2 \quad (2.104)$$

Nếu lấy nhiệt độ xung quanh là 40°C ( $T_{xq} = 273^\circ + 40^\circ K$ ) và  $E=0,5$ :

$$\omega_{bx} = 0,0114 \left( \frac{313}{1000} \right)^3 \cdot \Delta t \approx 0,35 \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} \text{ watt/cm}^2 \quad (2.105)$$

Nhiệt lượng mặt trời làm nhiệt độ dây dẫn tăng lên, nhưng các kết quả thực nghiệm cho thấy rằng sự gia tăng này chỉ khoảng từ 2°C đến 8°C do đó có thể bỏ qua.

Sự tiêu tán nhiệt lượng do đối lưu được xác định như sau:

$$\omega_{dl} = 0,0184 \frac{\sqrt{p \cdot v}}{T_0^{0,123} \cdot \sqrt{2a}} \cdot \Delta t \text{ watt/cm}^2 \quad (2.106)$$

trong đó:  $p$  là áp suất không khí ( $p = 1$  với áp suất chuẩn định);

$v$  là vận tốc gió tính bằng m/giây (ngoài trời thường  $v \geq 0,6$  m/giây);

$2a$ : đường kính của dây tính bằng mm;

$T_0$ : nhiệt độ không khí.

Với áp suất chuẩn định ( $p = 1$ ), với vận tốc gió  $v = 0,6$  m/s và nhiệt độ 40°C (hay 313°K), có được:

$$\omega_{dl} = \frac{0,0069}{\sqrt{2a}} \cdot \Delta t \text{ watt/cm}^2$$

Như vậy, dòng điện chấp nhận được ứng với một sự gia tăng nhiệt độ của dây dẫn bằng  $\Delta t^\circ C$  là:

$$I_{cp} = \sqrt{\frac{A \cdot \Delta t}{r} \left( 0,35 \times 10^{-3} + \frac{0,0069}{\sqrt{2a}} \right)} \quad (2.107)$$

trong đó,  $A$  là diện tích mặt ngoài của đoạn dây dẫn (tính bằng  $cm^2$ ) điện trở  $r$  tính bằng  $ohm$ .

Nhiệt độ cho phép tối đa được giới hạn khoảng  $100^\circ C$ , nếu không thì cả đồng lẫn nhôm sẽ bị mòn dần dưới tác dụng lâu dài của nhiệt độ lớn hơn, do đó muốn được an toàn khi xét  $I_{cp}$  nhiệt độ dây dẫn chỉ được gia tăng tối đa vào khoảng từ  $40^\circ C$  đến  $50^\circ C$ .

Tuy nhiên, cần lưu ý là do các điều kiện tổn hao trên dây, độ sụt áp hay vấn đề ổn định tĩnh ... khiến ta phải vận hành đường dây với một trị số dòng điện nhỏ hơn nhiều so với trị số cho phép phát nóng. Sự phát nóng này chỉ trở thành yếu tố giới hạn khả năng mang tải trong các đường dây ngắn, đặc biệt là trong các đường dây phân phối hạ thế.

**Ví dụ 2.8:** Tìm dòng điện cho phép phát nóng của dây đồng mã hiệu M-120 có đường kính  $15,8$  mm, điện trở  $r = 0,158 \Omega/km = 0,158 \cdot 10^{-3} \Omega/m$ . Cho nhiệt độ không khí là  $40^\circ C$ , độ tăng nhiệt độ cho phép của dây là  $\Delta t = 40^\circ C$ .

### Giải

Diện tích xung quanh của một mét dây:

$$A = \pi \times 1,58 \times 100 = 496,4 \text{ cm}^2$$

$$I_{cp} = \sqrt{\frac{A \cdot \Delta t}{r} \left( 0,35 \times 10^{-3} + \frac{0,0069}{\sqrt{2a}} \right)} = \sqrt{\frac{496,4 \times 40}{0,158 \times 10^{-3}} \left( 0,35 \times 10^{-3} + \frac{0,0069}{\sqrt{15,8}} \right)} = 511 \text{ A}$$

Trị số này phù hợp với dòng cho phép từ bảng tra là 485 A đối với dây M-120

## E. CÁC THÔNG SỐ CỦA ĐƯỜNG DÂY CÁP NGẦM

Cáp ngầm có các thông số giống như đường dây truyền tải trên không: tổng trở nối tiếp gồm cảm kháng và điện trở và tổng trở rẽ gồm dung kháng và điện dẫn. Tuy vậy cũng có sự khác nhau, chẳng hạn:

1. Các đường dây trong đường cáp gần nhau hơn so với đường dây trên không.
2. Tiết diện dây dẫn thường không tròn mà có dạng hình quạt.
3. Các dây dẫn được bao bọc bởi các phần tử kim loại như vỏ chì, ống thép.
4. Vật liệu cách điện giữa các dây dẫn hầu hết là bằng vật liệu thố rắn hơn là thố khí và thường là cách điện phức hợp.

Những yếu tố trên làm cho việc xác định các thông số trở nên phức tạp. Sự phân bố dòng điện trên tiết diện dây dẫn và dòng điện điện dung quanh bề mặt dây dẫn thường không đồng đều, thêm vào đó, sự xuất hiện ống thép làm thay đổi cảm kháng của đường dây và làm tăng thêm tổn thất. Chất cách điện thố rắn có tổn hao điện môi cũng như có thể có tổn hao vắng quang ở những chỗ trống nhỏ giữa các lớp giấy cách điện.

### 2.17 ĐIỆN TRỞ VÀ CẢM KHÁNG CỦA CÁP NGẦM

#### 2.17.1 Cáp ba pha ba lõi có chung vỏ chì và vỏ bọc kim loại (nếu có)

Giả thiết dòng điện ba pha là cân bằng, không xét dòng thứ tự không.

Cảm kháng của đường cáp được tính toán theo các công thức được biết khi tính cho đường

dây trên không. Ảnh hưởng của hiệu ứng ở gần và hiệu ứng mặt ngoài tương đối nhỏ.

Tuy vậy, điện trở của đường cáp có phức tạp hơn do ảnh hưởng của dòng điện xoáy trong vỏ bọc cáp và do sự phân bố không đồng đều của dòng điện trên bề mặt tiết diện dây, có thể viết:

$$r_{AC} = (\chi_s + \chi_p + \chi_l + \chi_a) \cdot r_{DC} \quad (2.108)$$

trong đó các hệ số  $\chi_s$ ,  $\chi_p$ ,  $\chi_l$ ,  $\chi_a$  lần lượt xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng mặt ngoài, hiệu ứng ở gần, vỏ bọc chì, vỏ bọc kim loại.  $r_{DC}$  là điện trở một chiều.

Điện trở, cảm kháng và dung kháng đối với cáp ba lõi có thể tra từ bảng số liệu.

### 2.17.2 Tổng trở của đường dây ba pha gồm các dây cáp một lõi

Cáp một lõi dùng trong đường dây cao áp thường có vỏ chì nhưng không có vỏ sắt. Những dây cáp đơn này được đặt trong hầm cáp. Các dây cáp thuộc về đường dây ba pha có thể đặt chung trong một hầm cáp hay trong các hầm kế cận nhau; nếu đặt chung chúng được bện với nhau để được hoán vị đầy đủ; trường hợp đặt riêng, chúng được hoán vị ở các hầm chính để được đổi xứng về điện.

Tính thông số đường dây tương tự như cáp ba lõi. Sự khác biệt đáng kể ở đây là do tính chất của dòng điện xoáy. Trong trường hợp cáp một lõi, điện áp cảm ứng theo chiều dọc của vỏ cáp gần bằng trên dây dẫn, vì dây dẫn và vỏ cáp cùng móc vòng bởi một từ trường. Trên đường dây cao áp có chiều dài đáng kể điện áp này đặc biệt cao làm xuất hiện dòng điện đi trong đất khi vượt quá độ cách điện giữa vỏ bọc và đất. Để loại trừ hiện tượng này, các vỏ chì của các đường cáp ba pha thường được nối tắt với nhau ở các khoảng cách thích hợp, khi đó các vỏ chì hợp thành mạch vòng được nối tắt, mạch vòng nối tắt này giống như cuộn dây nối tắt phía thứ cấp của biến thế mà sơ cấp là dây dẫn lõi cáp, điều này làm giảm cảm kháng của đường dây nhưng làm tăng tổn thất và dẫn tới làm tăng điện trở biểu kiến của dây dẫn.

Đối với đường dây một pha hay ba pha dùng cáp một lõi cảm kháng của đường cáp cho bởi:

$$x_{ac} = \xi_l \cdot x_a \quad (2.109)$$

trong đó:  $x_a$  - cảm kháng của dây dẫn không xét ảnh hưởng của vỏ bọc cáp;

$\xi_l$  - hệ số có xét đến ảnh hưởng của việc giảm cảm kháng do dòng điện trong vỏ cáp.

$$\xi_l = 1 - \frac{x_l}{x_a} \frac{x_l^2}{x_l^2 + r_l^2} \quad (2.110)$$

với:  $x_l$ : cảm kháng của vỏ cáp;

$r_l$  : điện trở của vỏ cáp.

Để tính  $x_a$  có thể tra bảng để có thành phần cảm kháng dây dẫn  $x_{kk}$  và cảm kháng phân cách  $x_{ik}$ .

$$\text{Từ đó: } x_a = x_{kk} + x_{ik} \quad (2.111)$$

$$\text{và } x_l = x_{l_1} + x_{ik} \quad (2.112)$$

trong đó  $x_{l_1}$  là thành phần cảm kháng dây dẫn của bản thân vỏ bọc nếu xem vỏ cáp như dây dẫn.

Ví dụ sau đây xác định cảm kháng của dây cáp.

**Ví dụ 2.9:** Đường dây cáp ba pha 35 kV gồm ba dây cáp một lõi đặt trong hầm cáp trên mặt phẳng nằm ngang, khoảng cách D giữa hai dây là 5 in ( $\approx 12,5\text{ cm}$ ), tiết diện lõi cáp  $1500\text{ MCM}$  ( $\approx 750\text{ mm}^2$ ), dòng điện tải là  $1000\text{ ampel/dây}$ .

Tính cảm kháng của đường dây, giả thiết tần số  $f = 60\text{ Hz}$ . Suy ra tổn thất trên đường cáp.

### Giải

a) Tính cảm kháng

Khoảng cách trung bình hình học giữa các pha:

$$D_m = \sqrt[3]{5^2 \times 10} = 6,2996\text{ in} = \frac{6,2996}{12} = 0,525\text{ft} \approx 0,525 \times 0,3 = 0,158\text{ m}$$

Tra bảng điện kháng phân cách:

$$x_{ik} = x_m = -0,079\text{ }\Omega/\text{mile}$$

Tra bảng cáp một lõi, điện kháng dây dẫn:

$$x_{kk} = x_s = 0,374\text{ }\Omega/\text{mile}$$

$$\text{Suy ra: } x_a = x_{kk} + x_{ik} = 0,374 - 0,079 = 0,295\text{ }\Omega/\text{mile}$$

Cũng từ bảng dây cáp, tra được:

Cảm kháng của vỏ cáp (thành phần dây dẫn):

$$x_l = 0,285\text{ }\Omega/\text{mile}$$

Điện trở của vỏ cáp:  $r_l = 0,700\text{ }\Omega/\text{mile}$

Suy ra cảm kháng của vỏ cáp (có xét tương hỗ trong ba pha)

$$x_l = 0,285 - 0,079 = 0,206\text{ }\Omega/\text{mile}$$

$$\text{Tính hệ số } \xi_l: \quad \xi_l = 1 - \frac{0,206}{0,295} \frac{0,206^2}{0,206^2 + 0,7^2} = 0,914$$

Cảm kháng xoay chiều của toàn bộ cáp (dây dẫn và vỏ)

$$x_{ac} = 0,994 \times 0,295 = 0,278\text{ }\Omega/\text{mile} = \frac{0,278}{1,609} = 0,1728\text{ }\Omega/\text{km}$$

b) Tính điện trở

Với dây cáp, điện trở một chiều được tính với các số liệu:

- Điện trở suất:  $\rho_{Cu} = 1,724 \cdot 10^{-8}\Omega \cdot \text{m}$  ở  $20^\circ C$

$$\rho_{Al} = 2,282 \cdot 10^{-8}\Omega \cdot \text{m}$$
 ở  $20^\circ C$

- Hệ số nhiệt độ của điện trở:

$$\alpha_{Cu} = 0,0034 \div 0,004/\text{ }^\circ C.$$

$$\alpha_{Al} = 0,0032 \div 0,0056/\text{ }^\circ C$$

- Tăng thêm 2% trên điện trở do dây bện vặn xoắn:

Điện trở một chiều cho mỗi đơn vị chiều dài là:

$$r_{dc} = 1,02 \left[ 1 + \alpha \left( t - 20^\circ \right) \right] \cdot \frac{\rho}{F} \quad \Omega/\text{đơn vị chiều dài}$$

Với cáp lõi đồng, chọn:

$$\rho_{Cu} = 1,724 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$\alpha_{Cu} = 0,00393 / ^\circ C$$

$$t = 65^\circ C$$

$$F = 1500 \text{ MCM}$$

$$\begin{aligned} \text{Biết rằng } 1 \text{ MCM} &= 10^3 \text{ CM} = 10^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (10^{-3})^2 \text{ in}^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} \cdot (0,0254)^2 \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0254)^2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Vậy: } F = 1500 \text{ MCM} = 1500 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,0254)^2 \cdot 10^{-3} = 7,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$r_{dc} = 1,02 \left[ 1 + 0,00393 (65^\circ - 20^\circ) \right] \frac{1,724 \cdot 10^{-8}}{7,6 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^3 = 0,0272 \Omega/\text{km}$$

$$r_{dc} = 0,0272 \times 1,609 = 0,0438 \Omega/\text{mile}$$

a) Tra bảng dây cáp để có điện trở có xét ảnh hưởng của hiệu ứng mặt ngoài:

$$\chi_s \cdot r_{dc} = 0,050 \Omega/\text{mile}.$$

$$\text{Suy ra: } \chi_s = \frac{0,050}{0,0438} = 1,14$$

b) Xét hiệu ứng ở gần.

Tra bảng để có đường kính của lõi cáp là 1,412 in. Suy ra bán kính của lõi cáp:

$$a = \frac{1,412}{2} = 0,706 \text{ in}$$

$$\frac{a}{D} = \frac{0,706}{5} = 0,141$$

Hiệu ứng ở gần được đặc trưng bởi hệ số  $\chi_p$  cho bởi công thức:

$$\chi_p = \frac{\mu(\text{ma})}{1 - \frac{a^2}{D^2} \cdot \alpha(\text{ma}) + \frac{a^4}{D^4} \cdot \beta(\text{ma})} - 1 \quad (2.113)$$

$$\text{trong đó: } ma = 0,0636 \sqrt{\frac{f}{K \cdot r_{dc}}} \quad (2.114)$$

K: hệ số điện trở ngang,  $K = 1$  đối với dây dẫn rắn,  $K = 1,25 \div 1,35$  đối với dây bện nhiều sợi.

$r_{dc}$ : điện trở một chiều,  $\Omega/\text{mile}$ .

f: tần số,  $Hz$ .

$\alpha(\text{ma}), \beta(\text{ma})$ : là các hàm đặc biệt suy từ hàm Bessel và được biểu diễn bằng đồ thị biểu

diễn hàm số theo  $\sqrt{\frac{f}{K \cdot r_{dc}}}$ .

Đối với đường dây một pha:

$$\mu(\text{ma}) = 1 \quad (2.115)$$

Đối với đường dây ba pha bố trí theo tam giác đều:

$$\mu(\text{ma}) = 1 + \frac{1}{4}\alpha - \frac{5}{24}\alpha^2 - \frac{3}{8}\alpha^8 \quad (2.116)$$

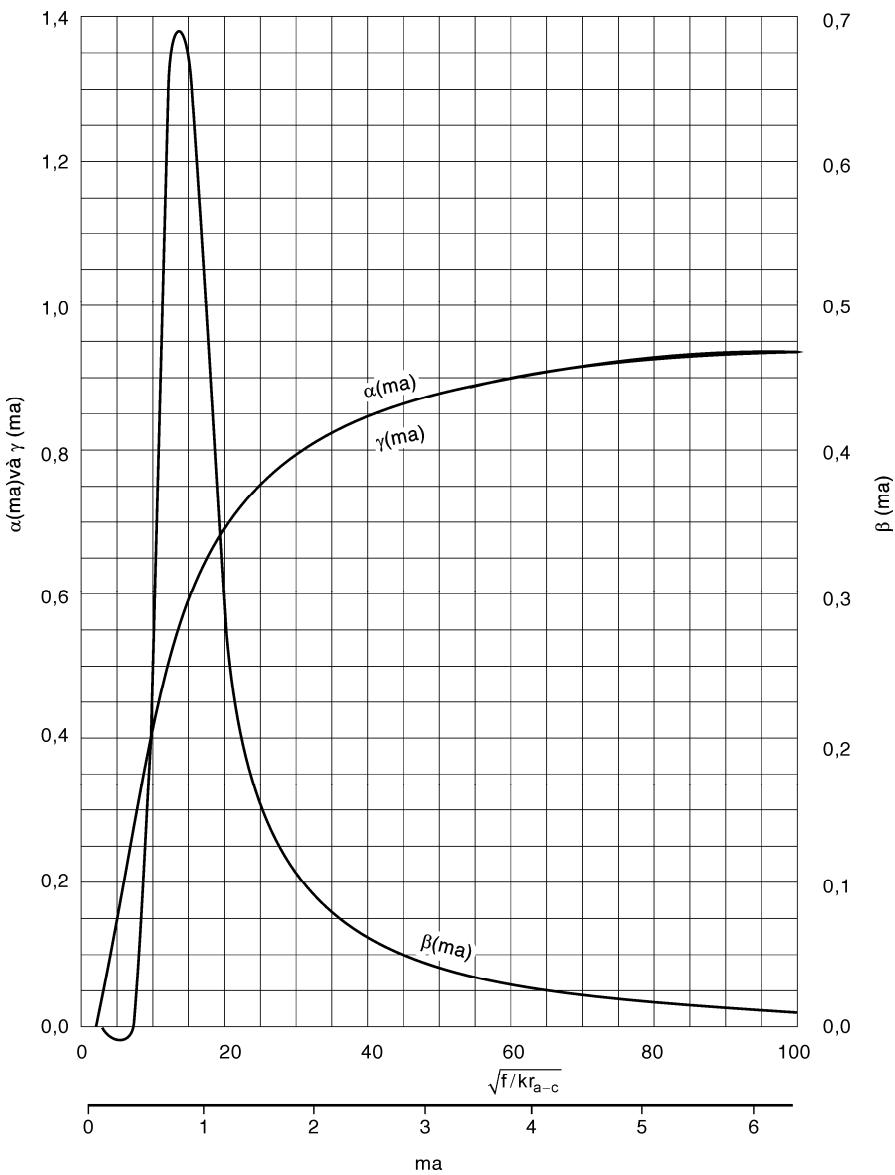
Đối với đường dây bố trí trên mặt phẳng nằm ngang:

$$\mu(ma) = 1 + \frac{1}{4}\alpha' - \frac{1}{8}\alpha'^2 + \frac{5}{24}\alpha'^8 \quad (2.117)$$

với

$$\alpha' = \frac{a^2}{D^2} \alpha(ma) \quad (2.118)$$

Trở lại với ví dụ:  $\sqrt{\frac{f}{K_r_{dc}}} = \sqrt{\frac{60}{1,3 \times 0,0438}} = 32,5$ , ma =  $0,0636 \times 32,5 = 2,067$



**Hình 2.31**

Tra đồ thị H.2.31 có được:

$$\alpha(ma) = 0,814$$

$$\beta(ma) = 0,0085$$

Suy ra:  $\alpha' = 0,141^2 \times 0,814 = 0,0162$ .

$$\mu(ma) = 1 + \frac{1}{4} \times 0,0162 - \frac{1}{8} \times (0,0162)^2 + \frac{5}{24} \times (0,0162)^8 = 1,0041$$

$$\text{Hệ số hiệu ứng ở gần: } \chi_p = \frac{1,0041}{1 - 0,141^2 \times 0,841 + \frac{0,141^4 \times 0,0085}{1 - 0,141^2}} - 1 = 0,0203$$

Theo bảng tra, bán kính trung bình  $c_l$  của vỏ chì:

$$c_l = \frac{1}{12} \left( \frac{1,412}{2} + 0,345 + \frac{0,125}{2} \right) = 0,0929 \text{ ft}$$

- Bề dày lớp cách điện: 345 mil = 0,345 in

- Đường kính lõi: 1,412 in

- Bề dày vỏ chì: 125 mil = 0,125 in

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$$

γ) Hệ số ảnh hưởng của dòng điện xoáy:

$$\begin{aligned} \chi_l &= \frac{r_l}{r_{dc}} \cdot \frac{x_l^2}{r_l^2 + x_l^2} + \frac{2,94}{10^6 r_{dc} \cdot r_l} \cdot f^2 \left( \frac{c_l}{D} \right)^2 \\ &= \frac{0,70}{0,0438} \cdot \frac{0,206^2}{0,7^2 + 0,206^2} + \frac{2,94 \times 60^2}{0,70 \times 0,0438 \cdot 10^6} \left( \frac{0,0929}{0,526} \right)^2 = 1,27 + 0,0107 = 1,28 \end{aligned}$$

Cuối cùng điện trở biểu kiến của dây cáp:

$$r_{ac} = (\chi_s + \chi_p + \chi_l) \cdot r_{dc}$$

$$r_{ac} = (1,14 + 0,0203 + 1,28) \cdot r_{dc} = 0,107 \Omega/\text{mile} = 0,0665 \Omega/\text{km}$$

Tính tổng thất

Tổng thất tổng của đường cáp:

$$\Delta P = r_{ac} \cdot I^2 = 0,107 \cdot 1000^2 = 107000 \text{ W/mile/pha} \approx 66500 \text{ W/km/pha}$$

trong đó:

Tổng thất trong chính dây dẫn:

$$\Delta P_{lõi} = (\chi_s + \chi_p) \cdot r_{dc} \cdot I^2 = 1,16 \cdot 0,0438 \cdot 1000^2 = 50800 \text{ W/mile} \approx 31570 \text{ W/km/pha}$$

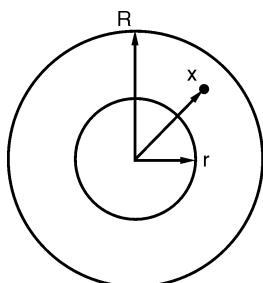
Tổng thất trong vỏ cáp:

$$\Delta P_{võ} = \chi_l \cdot r_{dc} \cdot I^2 = 1,28 \cdot 0,0438 \cdot 1000^2 = 56000 \text{ W/mile} \approx 34804 \text{ W/km/pha}$$

Nhận xét rằng, trong trường hợp cáp một lõi được chôn trong các rãnh riêng biệt, việc nối tắt các vỏ chì để tạo mạch vòng kín sẽ tạo ra tổn hao phụ đáng kể khi cáp tải dòng điện lớn.

## 2.18 ĐIỆN DUNG CỦA ĐƯỜNG DÂY CÁP

### 1. Cáp một lõi



Điện dung của đường cáp cho bởi công thức:

$$C = \frac{0,0242\epsilon}{\log_{10} \frac{R}{r}} \mu\text{F}/\text{km} \quad (2.119)$$

với  $\epsilon$  hằng số điện thẩm tương đối.

Điện trường tại điểm cách tâm khoảng cách  $x$  ở vỏ cáp:

$$E_x = \frac{U}{x \ln \frac{R}{r}} \text{ volt/m} \quad (2.120)$$

**Hình 2.32**

Điện trường lớn nhất:

$$E_{\max} = \frac{U}{r \ln \frac{R}{r}} \text{ volt/m} \quad (2.121)$$

Điện trường nhỏ nhất:

$$E_{\min} = \frac{U}{R \ln \frac{R}{r}} \text{ volt/m} \quad (2.122)$$

Đối với một giá trị của R, có một giá trị của r sao cho gradient điện áp tại bờ mặt dây dẫn nhỏ nhất. Giá trị này cho bởi:

$$\ln \frac{R}{r} = 1 \quad \text{hay } r = \frac{R}{e} \quad (2.123)$$

Điện trở cách điện:

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{R}{r} \quad \Omega \quad (2.124)$$

trong đó:  $\rho$  – điện trở suất của cách điện

$l$  – chiều dài cáp

**Ví dụ 2.10:** Xét một km của đường cáp một lõi có đường kính lõi là 1 cm và đường kính ngay dưới vỏ chì là 3 cm. Hằng số điện thẩm tương đối  $\epsilon = 4$ , hệ số công suất là 0,04 khi không tải với nguồn cung cấp 11 kV giữa ruột và vỏ chì, tần số 50 Hz. Tính:

- a) Điện dung của cáp;
- b) Dòng điện điện dung;
- c) Tốn hao điện môi;
- d) Điện trở cách điện.

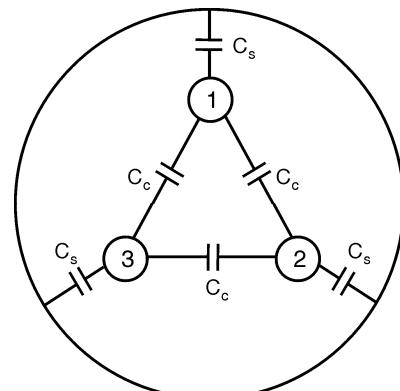
**Giải**

$$a) C = \frac{0,0242\epsilon}{\log_{10} \frac{R}{r}} = \frac{0,0242 \times 4}{\log_{10} \frac{3}{1}} = 0,2028 \mu\text{F/km}$$

$$b) I_C = \frac{314 \times 0,2028 \times 11000}{10^6} = 0,7\text{A}.$$

$$c) \Delta P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 11000 \times 0,7 \times 0,04 = 308 \text{ W.}$$

$$d) R_i = \frac{U^2}{P} = \frac{11000^2}{308} = 0,393 \cdot 10^6 \Omega = 0,393 \text{ M}\Omega.$$



**Hình 2.33. Các điện dung trong cáp**

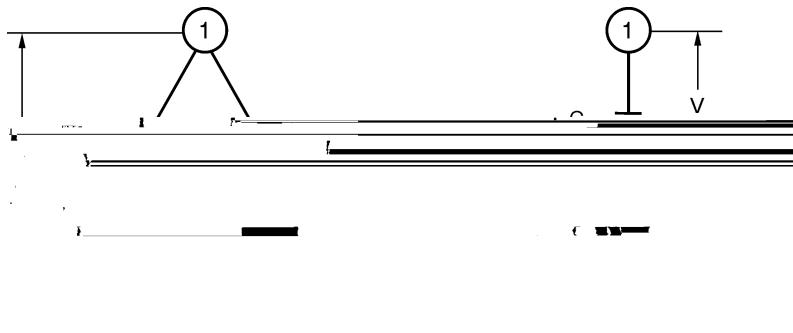
## 2. Cáp ba lõi

Trong cáp ba lõi có điện dung giữa các lõi và điện dung giữa lõi và vỏ (H.2.33).

$C_c$ : điện dung giữa hai dây dẫn;

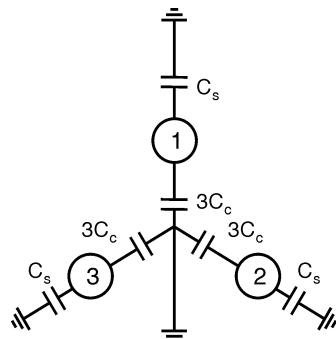
$C_s$ : điện dung giữa mỗi dây dẫn và vỏ.

Các điện dung  $C_c$  mắc theo hình tam giác được biến đổi thành các điện dung  $C_1$  mắc theo hình sao với  $C_1 = 3C_c$  (H.2.34).



**Hình 2.34:** Biến đổi về cách mắc hình Y

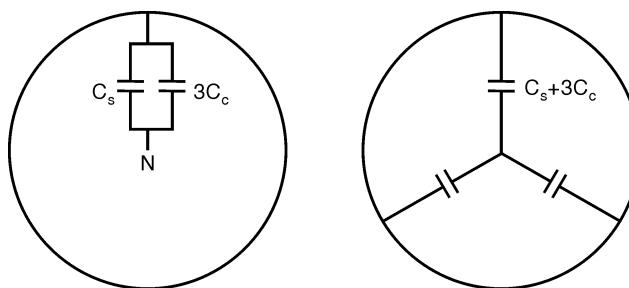
Từ đó có sơ đồ thay thế tương đương hình sao đổi với điện dung của cáp (H.2.35.).



**Hình 2.35:** Sơ đồ thay thế hình Y của điện dung cáp

Vì  $C_s$  mắc hình sao đổi với vỏ cáp và  $3C_c$  mắc hình sao đổi với trung tính N, do đó coi như  $C_s$  và  $3C_c$  mắc song song nhau (H.2.36) và điện dung tương đương mỗi pha:

$$C_N = C_s + 3C_c \quad (2.125)$$



**Hình 2.36**

$C_N$  được tính bằng công thức thực nghiệm:

$$C_N = \frac{0,0298\epsilon}{\log_{10} \left[ 1 + \frac{T+t}{d} (3,84 - 1,7 \frac{t}{T} + 0,52 \frac{t^2}{T^2}) \right]} \mu\text{F/km} \quad (2.126)$$

trong đó,  $t$ : bề dày lớp vỏ chì bọc.

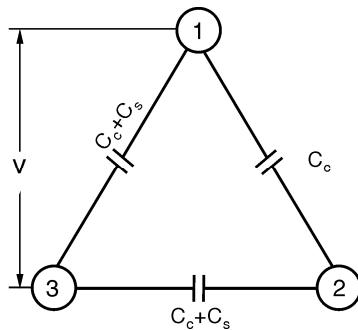
$T$ : bề dày của lớp cách điện dây dẫn.

$d$ : đường kính dây dẫn.

Tuy vậy,  $C_N$  cũng có thể tìm được bằng cách đo  $C_c$  và  $C_s$  qua 3 thí nghiệm sau:

#### Thí nghiệm 1

Đo điện dung giữa hai lõi, lõi thứ ba được nối với vỏ, khi đó một trong ba điện dung  $C_s$  được loại trừ (H.2.37).



**Hình 2.37.** Thí nghiệm 1 với lõi 3 được nối vỏ

Lõi 3 nối với vỏ, điện dung tương đương  $C_a$  giữa lõi 1 và 2:

$$C_a = C_c + \frac{C_c + C_s}{2} = \frac{1}{2}(3C_c + C_s)$$

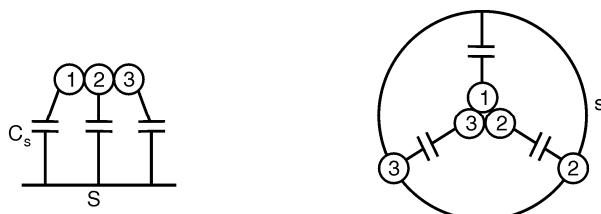
$$C_a = \frac{1}{2}C_N$$

Vì  $3C_c + C_s = C_N$

Suy ra:  $C_N = 2C_a$  (2.127)

#### Thí nghiệm 2

Nối chung 3 lõi và đo điện dung  $C_b$  giữa chúng với vỏ. Các  $C_c$  bị nối tắt, trong khi các  $C_s$  trở thành song song (H.2.38).



**Hình 2.38:** Thí nghiệm 2

$$C_b = 3C_s$$

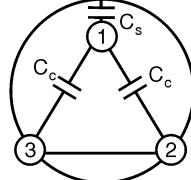
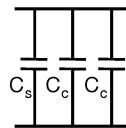
Suy ra:  $C_s = \frac{C_b}{3}$  (2.128)

#### Thí nghiệm 3

Hai lõi 2 và 3 được nối ra vỏ và đo điện dung  $C_d$  giữa lõi 1 với vỏ, lúc này có hai điện dung  $C_s$  bị nối tắt và một  $C_c$  cũng bị nối tắt (H.2.39).

$$\begin{aligned}C_d &= C_s + 2C_c \\2C_c &= C_d - C_s \\2C_c &= C_d - \frac{C_b}{3}\end{aligned}$$

Suy ra:  $C_c = \frac{C_d}{2} - \frac{C_b}{6}$  (2.129)



Hình 2.39: Thí nghiệm 3

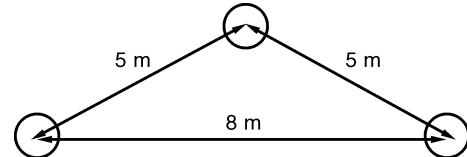
Từ thí nghiệm 2 và 3 có được:

$$C_N = C_s + 3C_c = \frac{C_b}{3} + \frac{3C_d}{2} - \frac{C_b}{2} = \left( \frac{3}{2}C_d - \frac{C_b}{6} \right). \quad (2.130)$$

## BÀI TẬP CHƯƠNG 2

- 2.1.** Một đường dây ba pha, 50 Hz, gồm ba dây dẫn bố trí như trong H.BT2.1 dây dẫn có đường kính 6,35 mm. Tìm cảm kháng mỗi km chiều dài đường dây. Giả thiết đường dây được hoán vị đầy đủ và dây dẫn hình trụ, đặc ruột.

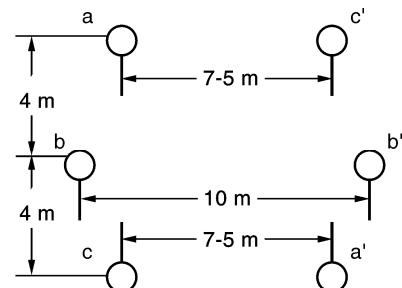
ĐS:  $x_0 = 0,488 \Omega/km$



Hình BT2.1

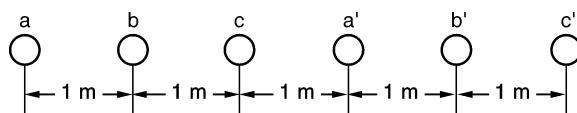
- 2.2.** Trong H.BT2.2. vẽ một đường dây hai mạch vận hành song song, 50 Hz. Mỗi mạch ở một bên của trục. Bán kính trung bình hình học (GMR hay GMD tự thân) của mỗi dây đơn là 1 cm. Đường dây được hoán vị đầy đủ. Các dây a, a' ; b, b' ; c, c' lần lượt thuộc cùng một pha. Tìm cảm kháng mỗi pha của đường dây.

ĐS:  $0,191 \Omega/km/pha$



Hình BT2.2

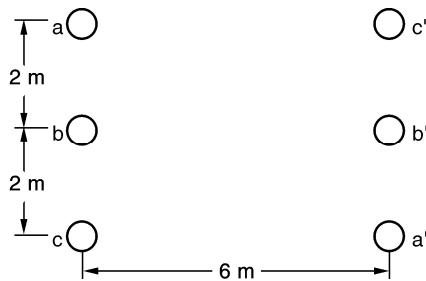
- 2.3.** Một đường dây ba pha lô kép (hai mạch) (H.BT2.3). Các dây dẫn a, a' ; b, b' ; c, c' lần lượt thuộc về một pha. Bán kính của mỗi dây dẫn là 1,5 cm. Tìm điện cảm của đường dây lô kép theo mH/km/pha.



Hình BT2.3

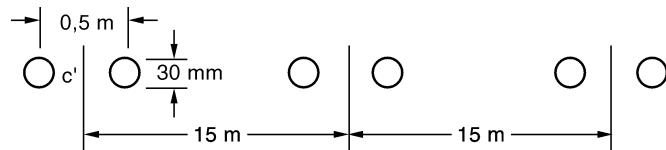
ĐS:  $0,454 \text{ mH}/\text{km}/\text{pha}$

- 2.4.** Một đường dây ba pha hai mạch (H.BT2.4). Đường kính mỗi dây dẫn là 2 cm. Đường dây được hoán vị đầy đủ và phụ tải cân bằng trên ba pha. Tìm điện dung mỗi pha đến trung tính của đường dây

**Hình BT2.4**

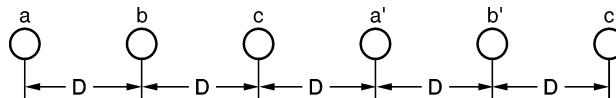
$$\text{ĐS: } 0,0204 \mu\text{F/km}$$

- 2.5.** Một đường dây 500 kV dùng dây chùm gồm hai dây dẫn trên mỗi pha như trong H.BT2.5.. Tìm cảm kháng mỗi pha ở tần số 50 Hz. Giả thiết hoán vị đầy đủ và mỗi dây đơn tải 50% dòng điện pha.

**Hình BT2.5**

$$\text{ĐS: } 0,346 \Omega/\text{km}$$

- 2.6.** Tìm dung dẫn ở 50 Hz đến trung tính trên mỗi km chiều dài đường dây của đường dây ba pha hai mạch có hoán vị đầy đủ. Cho khoảng cách  $D = 7$  m và bán kính mỗi dây dẫn là 1,38 cm.

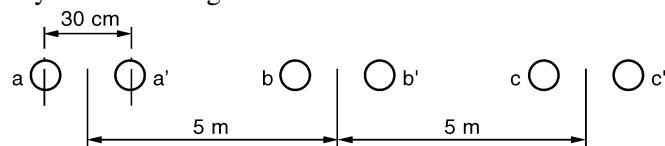


$$\text{ĐS: } 5,53 \times 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$$

- 2.7.** Tìm điện dung mỗi pha đến trung tính trên mỗi km đường dây của đường dây ba pha có dây dẫn đường kính 2 cm bố trí trên ba đỉnh tam giác cạnh lần lượt bằng 5 m, 6 m và 7 m. Giả thiết đường dây được hoán vị đầy đủ và phụ tải cân bằng trên ba pha.

$$\text{ĐS: } 8,72 \times 10^{-3} \mu\text{F/km}$$

- 2.8.** Tìm điện dung mỗi pha đến trung tính của đường dây một mạch ba pha, dây dẫn chùm như trong H.BT2.8. Dây dẫn có đường kính 5 cm.

**Hình BT2.8**

$$\text{ĐS: } 0,0129 \mu\text{F/km}$$

- 2.9.** Một đường dây ba pha có dây dẫn bố trí trên ba đỉnh tam giác đều, cạnh bằng 3 m. Đường dây được bố trí lại với dây dẫn bố trí trên mặt phẳng ngang ( $D_{13} = 2D_{12} = 2D_{23}$ ). Các dây dẫn được hoán vị đầy đủ. Tìm khoảng cách giữa các dây dẫn kế cận sao cho đường dây mới có cùng điện cảm như đường dây ban đầu.

ĐS: 2,38 m

- 2.10.** Một đường dây vận hành ở điện áp 220 kV có kích thước trong H.BT2.10.

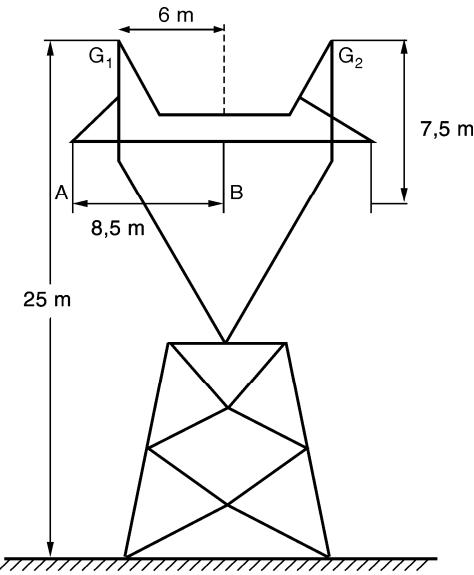
Đường dây dài 140 km, dây dẫn loại AC\_400 và dây chống sét loại ΠC-95.

a) Nếu đường dây không hoán vị các pha và các pha theo thứ tự a, b, c từ trái sang phải, hãy tính điện áp cảm ứng mỗi pha mỗi km đường dây đối với phụ tải cân bằng 50 Hz 400 ampe mỗi pha.

b) Nếu đường dây được hoán vị, tính cảm kháng toàn phần của đường dây và điện áp cảm ứng mỗi pha của toàn đường dây đối với phụ tải cân bằng 400 ampe mỗi pha.

c) Tính dòng điện điện dung trên mỗi pha của đường dây, giả thiết đường dây hoán vị đối xứng.

d) Tính tổn hao vâng quang và điện trở rẽ tương đương của đường dây..



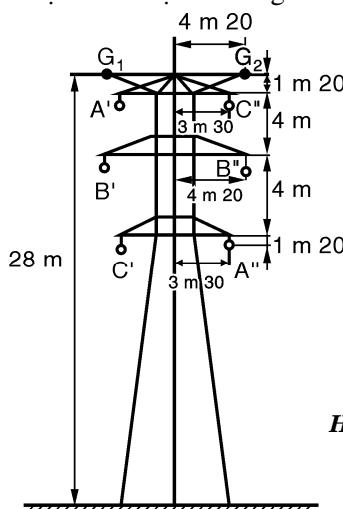
Hình BT2.10

- 2.11.** Một đường dây ba pha lộ kép, 110 kV, có kích thước ở H. BT2.11.

Đường dây dài 85 km, dây dẫn mã hiệu M-150 bằng đồng và hai dây chống sét bằng thép mã hiệu ΠC-50. Các kích thước hình học được ghi trên hình vẽ. Tìm:

a) Điện áp cảm ứng mỗi km trên mỗi pha đối với phụ tải cân bằng 300 Ampe đối với đường dây không hoán vị.

b) Cảm kháng của toàn đường dây và sụt áp toàn phần trên mỗi pha, đối với phụ tải đã nói ở câu a) khi đường dây được hoán vị đối xứng.



Hình BT2.11

## Chương 3

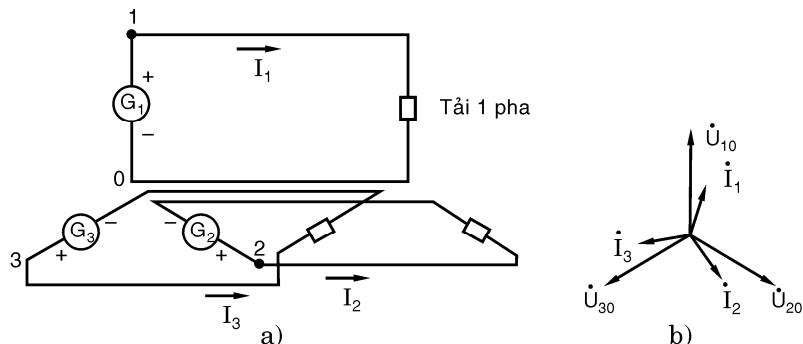
# MÔ HÌNH ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN VÀ KHẢO SÁT VẬN HÀNH

### 3.1 MỞ ĐẦU

Chương này nhằm mục đích mô hình hóa đường dây truyền tải ba pha cân bằng với các thông số của đường dây như điện cảm, điện dung, điện trở đã biết. Để liên lạc với các đại lượng ở đầu phát  $E_p, I_p$  với các đại lượng ở đầu nhận  $E_N, I_N$ , dùng hằng số mạch  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$  hay mạch  $\pi$  và mạch  $T$  tương ứng của mạng hai cửa, thụ động và tuyến tính tượng trưng cho đường dây tải điện và tùy theo mức độ chính xác, sẽ đưa ra mạch tương đương của đường dây ngắn, trung bình và đường dây dài.

### 3.2 TRUYỀN TẢI ĐIỆN BA PHA

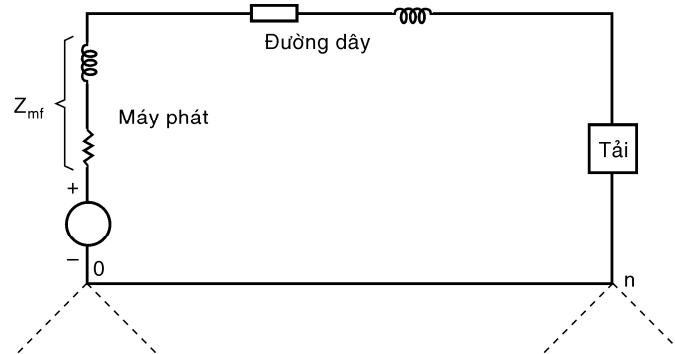
Một máy phát điện ba pha có thể dùng để cung cấp cho ba phụ tải một pha riêng rẽ nhau và như thế có tất cả sáu đường dây nối giữa nguồn và tải (H.3.1).



Hình 3.1

Nhắc lại rằng ba điện áp tạo ra ở cuộn dây của máy phát bằng nhau về biên độ và lệch nhau  $120^\circ$ . Sự phân phối công suất theo cách này là không thực tế là vì đối với phụ tải cân bằng luôn luôn có  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  và do đó các dây nối giữa O và n có thể dùng chung một dây, dây này không tải dòng điện nào cả và có thể bỏ luôn trong một hệ thống ba pha ba dây không có dây trung tính. Phụ tải giờ đây được mắc  $Y$  hay  $\Delta$ , cả hai cách mắc này đều có thuận lợi như: ít tổn dây dẫn, ít tổn hao Joule, sụt áp từ nguồn đến tải ít hơn so với cách nối ba pha riêng rẽ, đó là chưa nói tới những thuận lợi về kích thước, giá thành và hiệu suất của các máy điện ba pha.

Tình trạng này được giả thiết trong nhiều bài toán về hệ thống ba pha cân bằng. Vì lý do này, có nhiều thuận tiện để đơn giản mạch điện bằng cách thay thế nó trên cơ sở một pha và như vậy cách nối  $Y$  dễ hình dung nhất (H.3.2).

**Hình 3.2**

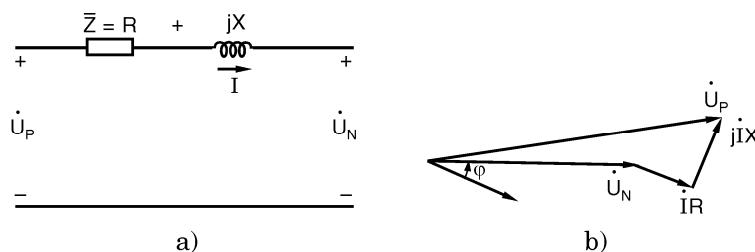
Hình vẽ trên đây chỉ xét một pha của mạch Y cân bằng với các tổng trở tập trung. Hiểu rằng hai pha còn lại đều mang cùng một dòng điện về trị số hiệu dụng và chứa các tổng trở bằng với pha đang xét đến. Đường On có thể không có trong thực tế, tuy vậy vẫn vẽ thêm và nó có tổng trở bằng không.

Để cho mạng điện được đơn giản, tất cả các giá trị về điện áp, dòng điện tổng trở và công suất có thể biểu diễn trong giá trị tương đối.

### 3.3 ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI NGẮN

Hiện tại chưa có một ranh giới rõ rệt cho đường dây ngắn, trung bình và dài vì còn phụ thuộc vào mức độ chính xác của bài toán. Về mặt giải tích, mô hình tương đương một đường dây ngắn áp dụng tốt cho đường dây dưới 50 km.

Mạch tương đương của đường dây ngắn chỉ gồm tổng trở nối tiếp của đường dây và là tổng trở tập trung (H.3.3).

**Hình 3.3:** Mạch tương đương của đường dây ngắn và đồ thị vectơ với phụ tải có tính cảm

Hằng số mạch tổng quát cho đường dây ngắn:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_P \\ \dot{I}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_N \\ \dot{I}_N \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Có ngay:

$$\bar{A} = 1$$

$$\bar{B} = \bar{Z} = R + jX = r_o l + jx_o l \quad (l: \text{chiều dài đường dây}) \quad (3.2)$$

$$\bar{C} = 0$$

$$\bar{D} = \bar{A} = 1$$

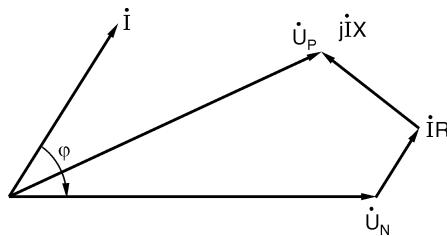
Nói cách khác:  $\dot{U}_P = (1) \cdot \dot{U}_N + (\bar{Z}) \cdot \dot{I}_N$   
 $\dot{I}_P = (0) \cdot \dot{U}_N + (1) \cdot \dot{I}_N$

(3.3)

Ghi chú:  $\dot{U}_P, \dot{U}_N$  là điện áp pha

Có thể kiểm tra tính chất  $\bar{AD} - \bar{BC} = 1$ .

Đồ thị vectơ cho trường hợp tải có tính dung (H.3.4)



Hình 3.4

Sụt áp định nghĩa như sau:  $\Delta U\% = \frac{|U_P| - |U_N|}{|U_N|} 100\%$

(3.4)

### 3.4 ĐƯỜNG DÂY CÓ CHIỀU DÀI TRUNG BÌNH

Khi chiều dài của đường dây tăng lên, nếu chỉ dùng sơ đồ đường dây ngắn sẽ không chính xác vì như vậy đã bỏ qua tổng dẫn rẽ (dung dẫn) của đường dây. Ranh giới giữa đường dây dài và trung bình thường vào khoảng từ 200–250 km.

Đường dây trung bình có thể thay thế gần đúng bằng mạch tương đương  $\pi$  hoặc  $T$ .

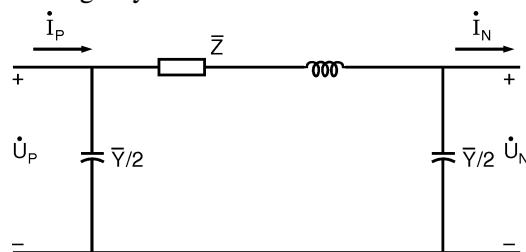
a) Mạch  $\pi$ -chuẩn:

– Tổng trắc nối tiếp  $\bar{Z} = \bar{z}_0 l = (r_0 + jx_0) \cdot l$

$\bar{z}_0$ : tổng trắc nối của một đơn vị chiều dài dây;

$l$ : chiều dài đường dây

– Tổng dẫn mắc rẽ của mỗi pha đường dây đối với trung tính trên toàn chiều dài đường dây  $\bar{Y} = \bar{y} \cdot l$  được chia làm phân nửa và mỗi  $\frac{\bar{Y}}{2}$  được tập trung ở mỗi đầu đường dây,  $y$  là dung dẫn trên mỗi đơn vị chiều dài đường dây.



Hình 3.5: Mạch  $\pi$ -chuẩn của đường dây có chiều dài trung bình

Điện áp đầu phát:

$$\boxed{U_P = \left( U_N \frac{\bar{Y}}{2} + I_N \right) \cdot \bar{Z} + U_N = \left( \underbrace{\bar{Y} \cdot \bar{Z}}_{A} / 2 + 1 \right) U_N + \underbrace{\bar{Z} \cdot I_N}_{B}}$$
(3.5)

Từ đó:  $\bar{A} = \frac{\bar{Y} \cdot \bar{Z}}{2} + 1, \quad \bar{B} = \bar{Z}$

(3.6)

Dòng điện đầu phát:

$$I_P = U_P \cdot \frac{\bar{Y}}{2} + U_N \cdot \frac{\bar{Y}}{2} + I_N = \left[ \left( \frac{\bar{Y} \bar{Z}}{2} + 1 \right) \cdot U_N + \bar{Z} \cdot I_N \right] \frac{\bar{Y}}{2} + \frac{U_N \cdot \bar{Y}}{2} + I_N$$
(3.7)

$$\boxed{I_P = \left( \underbrace{\frac{\bar{Y}^2 \cdot \bar{Z}}{4} + \bar{Y}}_{C} \right) \cdot U_N + \left( \underbrace{\frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2} + 1}_{D} \right) I_N}$$
(3.8)

Như vậy đối với mạch  $\pi$  chuẩn:

$$\bar{A} = 1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2} \quad \bar{B} = \bar{Z} \quad \bar{C} = \bar{Y} + \frac{\bar{Y}^2 \cdot \bar{Z}}{4} \quad \bar{D} = 1 + \frac{\bar{Y} \cdot \bar{Z}}{2}$$
(3.9)

Điện áp đầu nhận lúc không tải ( $I_N = 0$ ):

$$\boxed{U_{N0} = \frac{U_P}{A}, \text{ vì } |\bar{A}| < 1 \text{ đối với đường dây chiều dài trung bình nên } |U_{N0}| > |U_P| \text{ do ảnh hưởng của điện dung đường dây.}}$$

Phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận:

$$\Delta U_N \% = \frac{|U_{N0}| - |U_N|}{|U_N|} \cdot 100\%$$

với  $U_N$  là điện áp đầu nhận khi đường dây đầy tải.

Phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận được hiểu là độ tăng điện áp tính theo phần trăm của điện áp đầu nhận ứng với đường dây đầy tải khi đường dây trở nên không tải.

$$\text{Phần trăm sụt áp: } \Delta U \% = \frac{|U_P| - |U_N|}{|U_N|} \cdot 100\%$$

Đối với đường dây ngắn,  $|\bar{A}| = 1$ ,  $|U_P| = |U_{N0}|$ ,  $\Delta U_N \% = \Delta U \%$

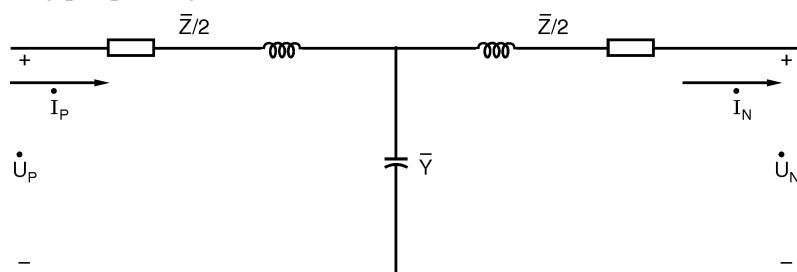
b) Mạch T chuẩn:

Ngoài ra có thể biểu diễn gần đúng có kể ảnh hưởng của điện dung đường dây bằng mạch T chuẩn trong Hình 3.6.:

Z và Y định nghĩa giống như ở mạch  $\pi$  chuẩn; các hằng số A, B, C, D của mạch T chuẩn:

$$\bar{A} = 1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2} = \bar{D} \quad \bar{B} = \bar{Z} + \frac{\bar{Y} \cdot \bar{Z}^2}{4} \quad \bar{C} = \bar{Y}$$
(3.10)

tìm được theo phương pháp tương tự như mạch  $\pi$ .

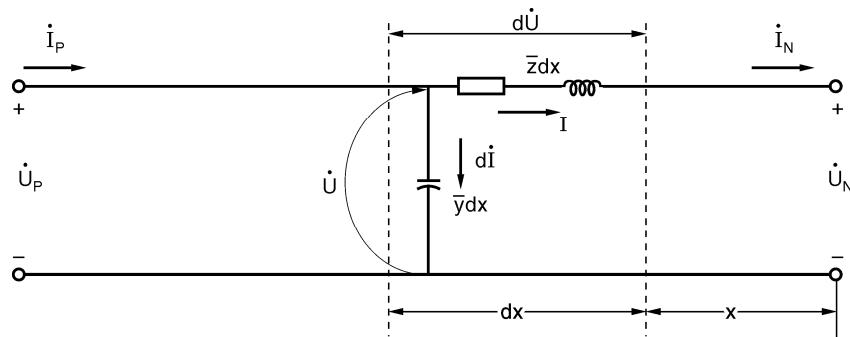


**Hình 3.6: Mạch T-chuẩn**

*Chú ý:* Mạch  $\pi$  chuẩn và T chuẩn không tương đương nhau trong phép biến đổi Y- $\Delta$  vì chỉ là biểu diễn gần đúng.

### 3.5 ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN DÀI

Đối với đường dây dài, việc dùng thông số tập trung không còn chính xác nữa mà phải xét thông số rải trên toàn đường dây. Để có một lời giải chính xác, trước hết xét một đoạn vi cấp của đường dây trong H.3.7. và khảo sát đúng đắn ảnh hưởng của điện dung phân bố và mối liên quan của nó với tổng trở vi cấp của đường dây.



**Hình 3.7: Một đoạn vi cấp của đường dây dài**

Xét một đoạn vi cấp  $dx$  ở cách đầu nhận một đoạn  $x$ . Khảo sát ở trạng thái thường trực hình sin.

Gọi:  
 $\bar{z}$ : tổng trở một đơn vị chiều dài;  
 $\bar{y}$ : tổng dẫn của một đơn vị chiều dài.

Điện áp ngang qua phần vi cấp này:

$$d\bar{U} = \bar{I} \cdot \bar{z} \cdot dx \Rightarrow \frac{d\bar{U}}{dx} = \bar{I} \cdot \bar{z}$$

Sự biến thiên  $dI$  của dòng điện  $I$  trong đoạn vi cấp là do dòng điện điện dung:

$$d\bar{I} = \bar{U} \cdot \bar{y} \cdot dx \Rightarrow \frac{d\bar{I}}{dx} = \bar{U} \cdot \bar{y}$$

Từ đó:  $\frac{d^2 \bar{U}}{dx^2} = \bar{z} \cdot \frac{d\bar{I}}{dx} = \bar{z} \cdot \bar{y} \cdot \bar{U}$

$$\frac{d^2 \bar{I}}{dx^2} = \bar{y} \cdot \frac{d\bar{U}}{dx} = \bar{z} \cdot \bar{y} \cdot \bar{I} \quad (3.11)$$

Hai phương trình vi phân này có dạng tương tự nhau với điều kiện ban đầu là  $x = 0$ ,  $\bar{I} = \bar{I}_N$  và  $\bar{U} = \bar{U}_N$ .

Với phương trình:  $\frac{d^2 \bar{U}(x)}{dx^2} - \bar{z} \cdot \bar{U}(x) \cdot \bar{y} = 0$

Lấy biến đổi Laplace của phương trình này:

$$s^2 \bar{U}(s) - s \cdot \bar{U}'(x_0) - \bar{U}(x_0) - \bar{z} \cdot \bar{y} \cdot \bar{U}(s) = 0 \quad (3.12)$$

Khi  $x = 0, \bar{U} = \bar{U}_N$  và  $\bar{I} = \bar{I}_N$

Từ đó:  $\bar{U}'(x_0) = \frac{d\bar{U}}{dx} \Big|_{x=0} = \bar{I} \cdot \bar{z} \Big|_{x=0} = \bar{I}_N \cdot \bar{z}$  (3.13)

Vậy:  $s^2 \cdot \bar{U}(s) - s \cdot \bar{U}_N - \bar{I}_N \bar{z} - \bar{z} \cdot \bar{y} \cdot \bar{U}(s) = 0$

$$(s^2 - \bar{z} \cdot \bar{y}) \cdot \bar{U}(s) = s \cdot \bar{U}_N + \bar{z} \cdot \bar{I}_N$$

$$\bar{U}(s) = \frac{s \cdot \bar{U}_N + \bar{z} \cdot \bar{I}_N}{s^2 - \bar{z} \cdot \bar{y}} \quad (3.14)$$

$$\bar{U}(s) = \bar{U}_N \frac{s}{s^2 - \bar{z} \cdot \bar{y}} + \bar{z} \cdot \bar{I}_N \frac{1}{s^2 - \bar{z} \cdot \bar{y}}$$

Lấy Laplace nghịch:

$$\bar{U}(x) = \underbrace{\left[ \text{ch} \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \cdot x \right]}_A \cdot \bar{U}_N + \underbrace{\left[ \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}} \text{sh} \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \cdot x \right]}_B \cdot \bar{I}_N \quad (3.15)$$

Tương tự:  $\bar{I}(x) = \left[ \text{ch} \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \cdot x \right] \bar{I}_N + \left[ \sqrt{\frac{\bar{y}}{\bar{z}}} \text{sh} \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \cdot x \right] \bar{U}_N$   
 $\bar{I}(x) = \underbrace{\left[ \sqrt{\frac{\bar{y}}{\bar{z}}} \text{sh} \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \cdot x \right]}_C \cdot \bar{U}_N + \underbrace{\left( \text{ch} \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \cdot x \right)}_D \cdot \bar{I}_N$  (3.16)

Định nghĩa:  $\sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} = m$  là hằng số truyền và  $\sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}} = \bar{Z}_0 = \frac{1}{\bar{Y}_0}$

$\bar{Z}_0$  - tổng trở đặc tính của đường dây,  $\bar{Y}_0$  - tổng dẫn đặc tính của đường dây

Như vậy:  $\bar{U}(x) = (\text{ch} mx) \bar{U}_N + (\bar{Z}_0 \cdot \text{sh} mx) \bar{I}_N$   
 $\bar{I}(x) = (\bar{Y}_0 \text{sh} mx) \bar{U}_N + (\text{ch} mx) \bar{I}_N$  (3.17)

hay viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \bar{U}(x) \\ \bar{I}(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch} mx & \bar{Z}_0 \cdot \text{sh} mx \\ \bar{Y}_0 \cdot \text{sh} mx & \text{ch} mx \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_N \\ \bar{I}_N \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Phương trình rõ ràng và đúng đắn nhưng khó giải thích ý nghĩa. Để giải thích ý nghĩa, trước hết ta thấy hằng số truyền m là số phức  $m = u + jv$

Biết rằng:  $\text{ch} mx = \frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2}$  và  $\text{sh} mx = \frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2}$

Như vậy:  $\bar{U}(x) = \frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2} \bar{U}_N + \bar{Z}_0 \frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2} \bar{I}_N$

$$\begin{aligned}\bar{U}(x) &= \frac{e^{mx}}{2} \left( \bar{U}_N + \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N \right) + \frac{e^{-mx}}{2} \left( \bar{U}_N - \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N \right) \\ \dot{U}(x) &= \frac{e^{ux} \cdot e^{jvx}}{2} \left( \bar{U}_N + \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N \right) + \frac{e^{-ux} e^{-jvx}}{2} \left( \bar{U}_N - \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N \right)\end{aligned}\quad (3.19)$$

Tương tự:

$$\begin{aligned}\bar{I}(x) &= \frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2} \bar{Y}_0 \bar{U}_N + \frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2} \bar{I}_N \\ \dot{I}(x) &= \frac{e^{mx}}{2} \left( \bar{Y}_0 \cdot \bar{U}_N + \bar{I}_N \right) + \frac{e^{-mx}}{2} \left( \bar{I}_N - \bar{Y}_0 \cdot \bar{U}_N \right) \\ \ddot{I}(x) &= \frac{e^{ux} \cdot e^{jvx}}{2} \left( \bar{Y}_0 \cdot \bar{U}_N + \bar{I}_N \right) + \frac{e^{-ux} \cdot e^{-jvx}}{2} \left( \bar{I}_N - \bar{Y}_0 \cdot \bar{U}_N \right)\end{aligned}\quad (3.20)$$

Nhận xét về  $U(x)$ :

□  $\bar{U}_N + \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N$  và  $\bar{U}_N - \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N$  là các vectơ pha.

□ Thừa số  $e^{ux}$  và  $e^{-ux}$  ảnh hưởng đến biên độ của các vectơ pha, khi x tăng thì  $e^{ux}$  tăng,  $e^{-ux}$  giảm, u gọi là hằng số biên độ.

□ Thừa số  $e^{jvx}$  và  $e^{-jvx}$  làm thay đổi góc pha khi x thay đổi, v gọi là hằng số pha

□  $\frac{e^{ux} \cdot e^{jvx}}{2} (\bar{U}_N + \bar{I}_N \bar{Z}_0)$  là sóng điện áp tối.

□  $\frac{e^{-ux} \cdot e^{-jvx}}{2} (\bar{U}_N - \bar{I}_N \bar{Z}_0)$  là sóng điện áp phản xạ.

□ Điện áp trên một điểm trên đường dây là tổng số của hai điện áp chồng chất của sóng điện áp tối và phản xạ.

□  $\frac{e^{ux} \cdot e^{jvx}}{2} (\bar{Y}_0 \bar{U}_N + \bar{I}_N)$  là sóng dòng điện tối.

□  $\frac{e^{-ux} \cdot e^{-jvx}}{2} (\bar{I}_N - \bar{Y}_0 \bar{U}_N)$  là sóng dòng điện phản xạ (tính theo chiều của sóng tối).

□ Giả thiết  $u = 0$  (đường dây không tổn hao) và đường dây đang không tải ( $I_N = 0$ ).

Sóng tối  $\frac{e^{jvx}}{2} \bar{U}_N$  và sóng phản xạ  $\frac{e^{-jvx}}{2} \bar{U}_N$  triệt tiêu nhau khi  $vx = \frac{\pi}{2}$  radian ứng với

đường dây có chiều dài bằng  $1/4$  độ dài sóng. Tuy vậy, hiện tượng triệt tiêu điện áp không là vấn đề quan trọng trong tần số công nghiệp.

□ Độ dài sóng  $\lambda$  là khoảng cách x cần thiết để cho sóng tối (hoặc sóng phản xạ) thay đổi pha  $2\pi$  radian

$$\text{hay } v \cdot \lambda = 2\pi$$

$$\text{suy ra } \lambda = 2\pi/v$$

Ngoài ra nếu gọi  $V$  là vận tốc truyền sóng ( $V \approx 300.000 \text{ km/s}$ ) thì  $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{300.000}{50} = 6000 \text{ km}$

Như vậy đối với đường dây 300 km thì độ lệch pha do truyền sóng bằng:

$$\theta = v \cdot x = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x = \frac{2\pi}{6000} \cdot 300 = \frac{\pi}{10} \text{ rad} = 18^\circ$$

Điều này chứng tỏ đường dây 300 km vẫn còn quá ngắn so với đường dây  $1/4$  độ dài sóng =

1500 km nên hiện tượng triệt tiêu điện áp nói trên là không thực tế.

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda}x \text{ gọi là độ dài véc tơ của đường dây.}$$

□ Trường hợp đường dây hở mạch:

$$\begin{aligned} \text{Lúc đó } I_N &= 0 \text{ và: } U(x) = \frac{\square U_N}{2} e^{ux} \cdot e^{jvx} + \frac{\square U_N}{2} e^{-ux} \cdot e^{-jvx} \\ I(x) &= \frac{\square U_N}{2} \bar{Y}_0 \cdot e^{ux} \cdot e^{jvx} - \frac{\square U_N}{2} \bar{Y}_0 \cdot e^{-ux} \cdot e^{-jvx} \end{aligned}$$

Tại đầu nhận ( $x = 0$ ) sóng tới và sóng phản xạ của điện áp đều bằng  $\frac{\square U_N}{2}$  và cộng với nhau bằng đúng  $\square U_N$  còn sóng dòng điện tới và phản xạ triệt tiêu nhau.

□ Trường hợp đường dây ngắn mạch ( $\square U_N = 0$ ):

$$\begin{aligned} \square U(x) &= \frac{\square I_N \cdot \bar{Z}_0}{2} \cdot e^{ux} \cdot e^{jvx} - \frac{\square I_N \cdot \bar{Z}_0}{2} e^{-ux} \cdot e^{-jvx} \\ \square I(x) &= \frac{\square I_N}{2} e^{ux} \cdot e^{jvx} + \frac{\square I_N}{2} e^{-ux} \cdot e^{-jvx} \end{aligned}$$

Tại đầu nhận  $x = 0$ ,  $\square U(x) = 0$  và  $\square I(x) = \square I_N$  = dòng ngắn mạch.

- Ý nghĩa của tổng trổ đặc tính  $\bar{Z}_0$

Tổng trổ đặc tính  $\bar{Z}_0$  của đường dây truyền tải điện lực khoảng 400  $\Omega$  cho đường dây đơn. Một đường dây tận cùng bằng tổng trổ  $\bar{Z}_0$  thì sóng phản xạ dòng điện bị triệt tiêu, đường dây như vậy gọi là đường dây dài vô hạn. Đường dây điện lực thường không tận cùng bằng  $\bar{Z}_0$ , trường hợp đường dây thông tin có thể tận cùng bằng  $\bar{Z}_0$  để loại trừ sóng phản xạ. Do đó đường dây vô hạn là không thực tế áp dụng trong hệ thống điện.

Khi đặt một điện áp  $\square U_P$  vào đầu phát của đường dây, lập tức có một sự phân bố điện áp  $\square U_x$  dọc theo đường dây. Điện áp này được phân tích thành hai sóng. Sóng tới đi từ nguồn đến đầu nhận và sóng phản xạ đi theo chiều ngược lại từ đầu nhận ngược trở về đầu phát. Mỗi sóng điện áp tới hoặc phản xạ được đi kèm theo bởi sóng điện tới hoặc phản xạ.

Gọi  $x$  là khoảng cách từ một điểm trên đường dây đến đầu nhận từ phương trình (3.20), các phương trình sóng tới và sóng phản xạ tại  $x$  như sau:

$$\begin{aligned} \text{- Điện áp tới: } \square U_0 &= \frac{1}{2} (\square U_N + \bar{Z}_0 \square I_N) \cdot e^{mx} \\ \text{- Điện áp phản xạ: } \square U_1 &= \frac{1}{2} (\square U_N - \bar{Z}_0 \square I_N) \cdot e^{-mx} \\ \text{- Dòng điện tới: } \square I_0 &= \frac{1}{2\bar{Z}_0} (\square U_N + \bar{Z}_0 \square I_N) \cdot e^{mx} \\ \text{- Dòng điện phản xạ: } \square I_1 &= \frac{1}{2\bar{Z}_0} (\square U_N - \bar{Z}_0 \square I_N) \cdot e^{-mx} \text{ tính theo chiều phản xạ} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Nhận xét rằng tỷ số của sóng điện áp (tối hay phản xạ) và sóng dòng điện (tối hay phản xạ) tương ứng tại bất kỳ vị trí nào trên đường dây là một hằng số độc lập với chiều dài đường dây và chỉ phụ thuộc vào tổng trổ nối tiếp và tổng dẫn rẽ trên mỗi đơn vị chiều dài của đường dây, gọi hằng số đó là tổng trổ đặc tính.

$$\bar{Z}_0 = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} \quad (3.22)$$

Các sóng tối  $\bar{U}_0, \bar{I}_0$  hướng về đầu nhận, chúng được đặc trưng bởi quan hệ sau đây:

$$\frac{\bar{U}_0}{\bar{I}_0} = \bar{Z}_0$$

Khi sóng tối gặp phải tổng trổ  $\bar{Z}_N$  ở đầu nhận thì có sóng phản xạ  $\bar{U}_1, \bar{I}_1$  hướng về nguồn sao cho ở đầu nhận có được quan hệ sau đây:

$$\frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1} = \bar{Z}_0$$

và:  $\frac{\bar{U}_N}{\bar{I}_N} = \bar{Z}_N$

trong đó  $\bar{U}_N$  và  $\bar{I}_N$  là các sóng tổng hợp được ở đầu nhận. Như vậy ở đầu nhận phải có quan hệ sau đây:

$$\bar{I}_N = \bar{I}_0 - \bar{I}_1$$

$$\bar{U}_N = \bar{U}_0 + \bar{U}_1$$

Rõ ràng, ở đây đang quan tâm đến những gì xảy ra ở đầu nhận. Mặt khác, đối với một điểm nào đó trên đường dây, việc xác định các sóng tổng hợp dựa vào các phương trình cơ bản:

$$\bar{U}_x = \bar{U}_0 + \bar{U}_1 = chmx \cdot \bar{U}_N + \bar{Z}_0 shmx \cdot \bar{I}_N$$

$$\bar{I}_x = \bar{I}_0 - \bar{I}_1 = \frac{1}{\bar{Z}_0} shmx \cdot \bar{U}_N + chmx \cdot \bar{I}_N$$

Khi một đường dây được *tận cùng bằng tổng trổ đặc tính* thì các sóng phản xạ bị triệt tiêu, vì khi đó  $\bar{U} = \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_N$

Vì sóng phản xạ không còn nữa, có được:  $\frac{\bar{U}_0}{\bar{I}_0} = \frac{\bar{U}_N}{\bar{I}_N} = \bar{Z}_0$

Mặt khác, điện áp thực và dòng điện thực tại bất kỳ vị trí nào trên đường dây cũng có quan hệ:

$$\frac{\bar{U}_x}{\bar{I}_x} = \bar{Z}_0 \quad \text{với mọi } x.$$

Vì chỉ có sóng tới và vì  $\frac{U_0}{I_0} = \bar{Z}_0$  nên có thể nói rằng tổng trở đặc tính của một đường dây

có chiều dài  $l$  là tổng trở nhin từ một điểm trên đường dây cho đầu đường dây này kéo dài đến vô hạn ( $l \rightarrow \infty$ ).

Trị số của tổng trở đặc tính gần như không đổi đối với đường dây cao áp từ 60 kV đến 400 kV. Đối với đường dây đơn,  $Z_0$  khoảng 400  $\Omega$ . Phụ tải ứng với tổng trở đặc tính còn gọi là SIL (*surge impedance load*), phụ tải tổng trở xung hay công suất tự nhiên ( $SIL = \frac{U^2}{Z_0}$ ).

□ Trường hợp đặc biệt của đường dây không tổn hao ( $R = 0$ ),  $Z_0$  trở thành điện trở  $R_0$

$$\bar{Z}_0 = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = R_0 \quad (\Omega) \quad (3.23)$$

Bảng dưới đây cho các giá trị gần đúng điện trở đặc tính của một số đường dây trên không

Số dây dẫn mỗi pha	Điện trở đặc tính ( $R_0$ )
1	400
2	320
3	290
4	280

- Do sự biến đổi liên tục của phụ tải, công suất được chuyển tải trên đường dây có thể thuộc về một trong các tình trạng sau đây:

a) *Tình trạng I*

Trường hợp công suất truyền tải  $P$  bằng với công suất tự nhiên  $P_0$  của đường dây ( $P_0 = \frac{U^2}{R_0}$ )

Trong trường hợp này, điện trở đặc tính của đường dây bằng với điện trở của phụ tải đầu nhận ( $R_0 = R_N$ ) (đường dây không tổn hao): không có sụt áp trên đường dây, không cần bù công suất kháng từ bên ngoài vì tổn thất công suất phản kháng do cảm kháng được bù hoàn toàn bởi công suất kháng do điện dung đường dây phát ra.

b) *Tình trạng 2*

Trường hợp công suất truyền tải  $P$  lớn hơn công suất tự nhiên  $P_0$ . Điện trở của tải đầu nhận nhỏ hơn điện trở đặc tính của đường dây ( $R_N < R_0$ ) (đường dây không tổn hao). Do phụ tải lớn đặt ở đầu nhận, vì vậy có độ sụt áp lớn dọc theo đường dây làm điện áp đầu nhận bị giảm thấp đến mức không còn thỏa mãn được nữa dẫn đến hiện tượng sụp đổ điện áp.

Để duy trì điện áp không đổi ở đầu nhận phải bù công suất phản kháng cảm do tổn hao trên điện cảm của đường dây bằng công suất dung kháng với các thiết bị bù như tụ bù ngang, máy bù đồng bộ quá kích thích, máy bù tĩnh SVC hoạt động ở tính dung.

c) *Tình trạng 3*

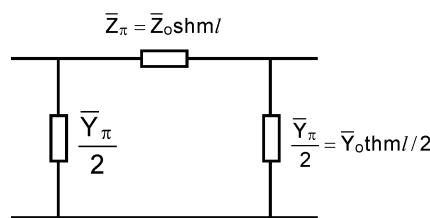
Trường hợp công suất truyền tải  $P$  nhỏ hơn công suất tự nhiên  $P_0$ . Điện trở tải đầu nhận lớn hơn điện trở tải đặc trưng ( $R_N > R_0$ ) (đường dây không tổn hao). Khi có phụ tải thấp ở đầu nhận nhỏ hơn công suất tự nhiên, dòng điện điện dung gây ra quá điện áp ở đầu nhận, gây nguy hiểm cho cách điện của phụ tải.

Để loại bỏ hiện tượng quá áp, duy trì điện áp đầu nhận trong giới hạn cho phép cần phải bù công suất dung kháng của đường dây bằng công suất bù, có tính cảm với thiết bị bù như cuộn kháng bù ngang, máy bù đồng bộ thiếu kích thích hay máy bù tĩnh hoạt động ở tính cảm.

### 3.6 MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA ĐƯỜNG DÂY DÀI

Từ hằng số A, B, C, D của đường dây dài dưới dạng các hàm hyperbolic có thể suy ra được mạch tương đương chính xác của đường dây dài ở trạng thái xác lập. Sau đây sẽ trình bày hai loại mạch tương đương  $\pi$  và T.

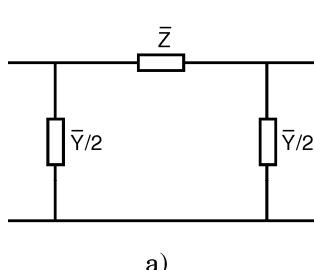
a) *Mạch  $\pi$  tương đương*



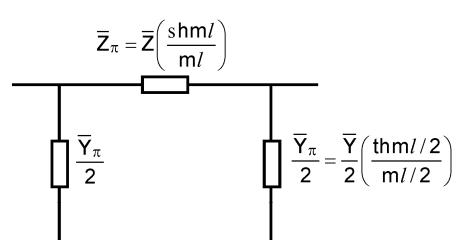
**Hình 3.8:** Mạch  $\pi$  tương đương của đường dây dài

Trong phần nói về mạch  $\pi$  chuẩn, suy ra được các hệ thức của mạch  $\pi$  đối với A và B như sau:

$$\bar{A} = 1 + \frac{\bar{Z}_\pi \cdot \bar{Y}_\pi}{2} \quad \bar{B} = \bar{Z}_\pi \quad \Rightarrow \frac{\bar{Y}_\pi}{2} = \frac{\bar{A} - 1}{\bar{B}}$$



a)



b)

**Hình 3.9:** So sánh mạch  $\pi$ - chuẩn a) với mạch  $\pi$  tương đương b)

Ngoài ra nếu đường dây có chiều dài  $l$  thì các hằng số  $\bar{A}$  và  $\bar{B}$  cho bởi:

$$\bar{A} = chml \quad \text{và} \quad \bar{B} = \bar{Z}_0 \operatorname{sh} ml$$

Như vậy:

$$\bar{Z}_\pi = \bar{Z}_0 \operatorname{sh} ml \quad (3.24)$$

và:  $1 + \frac{\bar{Z}_\pi \bar{Y}_\pi}{2} = chml \Rightarrow \frac{\bar{Y}_\pi}{2} = \frac{chml - 1}{\bar{Z}_o shml} = \frac{1}{\bar{Z}_o} th \frac{ml}{2}$  (3.25)

Ngoài ra:  $\bar{Z}_o = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} = \sqrt{\frac{\bar{Z} l^2 \bar{Z}}{\bar{Y} l^2 \bar{Z}}} = \sqrt{\frac{\bar{Z}^2}{m^2 l^2}} = \frac{\bar{Z}}{ml}$

hay:  $\bar{Z}_o = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} = \sqrt{\frac{\bar{Z} l^2 \bar{Z}}{\bar{Y} l^2 \bar{Z}}} = \sqrt{\frac{m^2 l^2}{\bar{Y}^2}} = \frac{ml}{\bar{Y}}$

Vậy có thể viết:  $\frac{\bar{Y}_\pi}{2} = \frac{1}{\bar{Z}_o} th \frac{ml}{2} = \frac{\bar{Y}}{ml} \cdot th \frac{ml}{2} = \frac{\bar{Y}}{2} \frac{th(ml/2)}{ml/2}$  (3.26)

$$\bar{Z}_\pi = \bar{Z}_o shml = \frac{\bar{Z}}{ml} shml = \bar{Z} \frac{shml}{ml}$$
 (3.27)

b) Mạch T tương đương:

Giữa  $\bar{Z}_T$ ,  $\bar{Y}_T$  và  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$ ,  $\bar{D}$  có quan hệ sau đây:

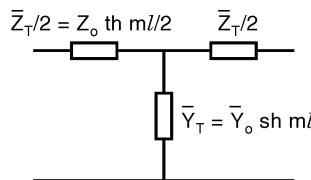
$$\begin{aligned} \bar{A} &= 1 + \frac{\bar{Z}_T \cdot \bar{Y}_T}{2} = chml \\ \bar{C} &= \bar{Y}_T = \bar{Y}_o shml \end{aligned}$$
 (3.28)

Suy ra:  $\frac{\bar{Z}_T}{2} = \frac{ch ml - 1}{\bar{Y}_o shml} = \bar{Z}_o \cdot th \frac{ml}{2}$  (3.29)

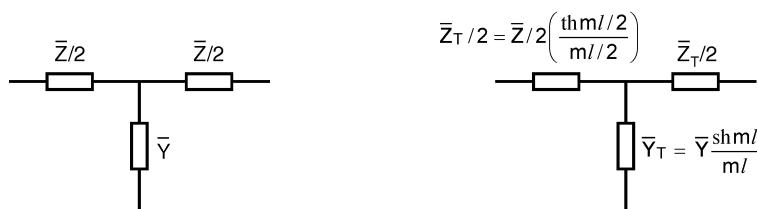
Có thể viết:  $\bar{Y}_T = \bar{Y}_o shml = \bar{Y} \frac{sh ml}{ml}$  (3.30)

$$\frac{\bar{Z}_T}{2} = \bar{Z}_o th \frac{ml}{2} = \frac{\bar{Z}}{ml} \cdot th \frac{ml}{2} = \frac{\bar{Z}}{2} \cdot \frac{th ml/2}{ml/2}$$
 (3.31)

Tóm lại mạch T tương đương của đường dây dài.



**Hình 3.10:** Mạch T tương đương của đường dây dài



**Hình 3.11:** So sánh mạch T-chuẩn a) và mạch T tương đương b)

Các thừa số  $\frac{shml}{ml}$  và  $\frac{thml/2}{ml/2}$  là các thừa số hiệu chỉnh tác động trên mạch  $\pi$  và T chuẩn gần đúng để cho mạch  $\pi$  và T tương đương.

Lưu ý:

\* Mạch  $\pi$  và T chính xác của đường dây dài có thể suy lẩn nhau bằng phương pháp biến

đổi  $Y-\Delta$ .

\* Mạch  $\pi$  và  $T$  này gọi là *chính xác* chỉ duy nhất đổi với tín hiệu  $\bar{U}_P, \bar{I}_P, \bar{U}_N, \bar{I}_N$  là các đại lượng ở đầu và cuối đường dây.

\* Mạch  $\pi, T$  hay hằng số  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$  chỉ diễn tả cho sơ đồ một pha

$U_P, U_N$  hiểu là điện áp pha, nếu là điện áp dây thì phải dùng quan hệ sau đây:

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_P \\ \bar{I}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \sqrt{3}\bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_N \\ \bar{I}_N \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

với  $\bar{U}_P$  và  $\bar{U}_N$  là điện áp dây

### 3.7 CÁCH TÍNH HẰNG SỐ MẠCH $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$ , CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

$$\begin{aligned} \text{Biết rằng: } chml &= ch(u + jv)l = \frac{1}{2}(e^{ul+jvl} + e^{-ul-jvl}) \\ &= \frac{1}{2}(e^{ul} + e^{-ul})\cos vl + j\frac{1}{2}(e^{vl} - e^{-vl})\sin vl = chul.\cos vl + jshul.\sin vl \end{aligned}$$

$$\text{Từ đó: } \bar{A} = chml = chul \cdot \cos vl + j shul \cdot \sin vl \quad (3.33)$$

$$\text{Tương tự: } \bar{B} = \bar{Z}_0 shml = \bar{Z}_0 (shul \cdot \cos vl + j chul \cdot \sin vl) \quad (3.34)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{\bar{Z}_0} shml = \frac{1}{\bar{Z}_0} (shul \cdot \cos vl + j chul \cdot \sin vl) \quad (3.35)$$

Tất cả hàm lượng giác và hyperbolic trong các phương trình này có biến thực, trị số của chúng có thể tính từ bảng số hoặc máy tính.

$$\text{Hằng số truyền: } m = \sqrt{\bar{z}\bar{y}} = \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}}, \text{ với } \bar{z}' = \frac{1}{\bar{y}} \quad (3.36)$$

$$\text{Suy ra: } m l = \sqrt{\bar{z}\bar{y}l^2} = \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}} \quad (3.37)$$

$$\text{với } \bar{Z} = \bar{z} \cdot l \text{ và } \bar{Z}' = \frac{1}{\bar{y}l} = \frac{\bar{z}'}{l} = \frac{1}{\bar{Y}}$$

$$\text{Tổng trở đặc tính: } \bar{Z}_0 = \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}} = \sqrt{\bar{z}\bar{z}'} = \sqrt{\bar{z}l\frac{\bar{z}'}{l}} = \sqrt{\bar{Z}\bar{Z}'} \quad (3.38)$$

$$\begin{aligned} \text{Suy ra: } \bar{A} &= A \angle \alpha = chml = 1 + \frac{(ml)^2}{2!} + \frac{(ml)^4}{4!} + \frac{(ml)^6}{6!} + \frac{(ml)^8}{8!} + \dots \\ &= \left( 1 + \frac{\bar{Z}}{2\bar{Z}'} + \frac{\bar{Z}^2}{24\bar{Z}'^2} + \frac{\bar{Z}^3}{720\bar{Z}'^3} + \frac{\bar{Z}^4}{40320\bar{Z}'^4} + \dots \right) \end{aligned} \quad (3.39)$$

$$\begin{aligned} \bar{B} &= B \angle \beta = \bar{Z}_0 shml = \bar{Z}_0 \left( ml + \frac{(ml)^3}{3!} + \frac{(ml)^5}{5!} + \frac{(ml)^7}{7!} + \frac{(ml)^9}{9!} + \dots \right) \\ &= \bar{Z} \left( 1 + \frac{\bar{Z}}{6\bar{Z}'} + \frac{\bar{Z}^2}{120\bar{Z}'^2} + \frac{\bar{Z}^3}{5040\bar{Z}'^3} + \frac{\bar{Z}^4}{362880\bar{Z}'^4} + \dots \right) \end{aligned} \quad (3.40)$$

$$\bar{C} = C \angle \gamma = \frac{1}{Z_0} \text{ shml} = \frac{1}{Z'} \left( 1 + \frac{\bar{Z}}{6\bar{Z}'} + \frac{\bar{Z}^2}{120\bar{Z}'^2} + \frac{\bar{Z}^3}{5040\bar{Z}'^3} + \frac{\bar{Z}^4}{362880} \frac{1}{\bar{Z}^4} + \dots \right) \quad (3.41)$$

$$\bar{D} = \bar{A} \quad (3.42)$$

Đối với đường dây thực tế, tỷ số  $\bar{Z}/\bar{Z}' \ll 1$  do đó các chuỗi số trên hội tụ rất nhanh. Chẳng hạn, với chiều dài đường dây khoảng 500 km, tần số 50Hz, ta chỉ phạm một sai số 0,1% nếu chỉ giữ lại ba số hạng đầu trong các khai triển trên, còn nếu chỉ giữ lại hai số hạng đầu thì sai số là 0,5%.

Sai số này giảm rất nhanh nếu chiều dài đường dây càng ngắn đi. Do đó, có thể chỉ xét hai số hạng đầu trong các phương trình trên, kết quả vẫn khá chính xác đối với đường dây tải điện không dài hơn 500 km (phần lớn các đường dây hiện tại đều như thế).

Các công thức trên có thể đơn giản hơn nữa nếu để ý rằng điện trở rẽ (do vầng quang và rò điện) của đường dây rất lớn, do đó ta chỉ phạm sai số rất ít nếu giả sử rằng:

$$\bar{z}' = \frac{1}{\bar{y}} = -jx' \Rightarrow \bar{Z}' = -j\frac{x'}{l}$$

trong đó  $\bar{y}$ : dung dẫn trên một đơn vị chiều dài và  $x'$ : dung kháng trên một đơn vị chiều dài

$$\bar{z} = r + jx \Rightarrow \bar{Z} = rl + jxl$$

Bỏ qua các số hạng thứ ba trở đi và tách phần thực và ảo, được các công thức gần đúng sau đây:

$$\bar{A} \approx \left( 1 - \frac{x}{x'} \frac{l^2}{2} \right) + j \frac{r}{x'} \frac{l^2}{2} \quad (3.43)$$

$$\bar{B} \approx rl \left( 1 - \frac{x}{x'} \frac{l^2}{3} \right) + jxl \left[ 1 + \left( \frac{r^2}{xx'} - \frac{x}{x'} \right) \frac{l^2}{6} \right] \quad (3.44)$$

$$\bar{C} \approx j \frac{l}{x'} \left( 1 - \frac{x}{x'} \frac{l^2}{6} + j \frac{r}{x'} \cdot \frac{l^2}{6} \right) \quad (3.45)$$

Công thức mạch π tương đương

$$\begin{aligned} \bar{Z}_\pi &= \bar{B}, & \bar{Z}'_\pi &= \frac{\bar{B}}{\bar{A} - 1} = \frac{1}{\bar{Y}_\pi / 2} \\ \bar{Z}_\pi &\approx rl \left( 1 - \frac{x}{x'} \frac{l^2}{3} \right) + jxl \left[ 1 + \left( \frac{r^2}{xx'} - \frac{x}{x'} \right) \frac{l^2}{6} \right] \end{aligned} \quad (3.46)$$

$$\text{và: } \frac{1}{\bar{Y}_\pi / 2} = \bar{Z}'_\pi = -j \frac{2x'}{l} \left[ \left( 1 - \frac{x}{x'} \frac{l^2}{12} \right) + j \frac{r}{x'} \cdot \frac{l^2}{12} \right] \quad (3.47)$$

Công thức tính mạch T tương đương:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{Z}_T}{2} &= \frac{\bar{A} - 1}{\bar{C}}, & \bar{Z}'_T &= \frac{1}{\bar{C}} = \frac{1}{\bar{Y}_T} \\ \frac{\bar{Z}_T}{2} &= \frac{1}{2} rl \left( 1 - \frac{x}{x'} \frac{l^2}{12} \right) + j \frac{1}{2} xl \left[ 1 + \left( \frac{r^2}{xx'} - \frac{x}{x'} \right) \frac{l^2}{12} \right] \end{aligned} \quad (3.48)$$

$$\frac{1}{\bar{Y}_T} = \bar{Z}'_T = -j \frac{x'}{l} \left[ \left( 1 + \frac{x}{x'} \frac{l^2}{6} \right) - j \frac{r}{x'} \cdot \frac{l^2}{6} \right] \quad (3.49)$$

Đối với đường dây giả thiết không tổn hao ( $R = 0$ )

Hằng số truyền:  $m = \sqrt{\bar{z}\bar{y}} = j\sqrt{x_0y} = j\sqrt{x_0b_0} = j\omega\sqrt{LC} = jv \text{ rad/km}$  (chỉ có phần ảo)

Tổng trở đặc tính:  $\bar{Z}_0 = \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}} = \sqrt{\frac{jx_0}{jb_0}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{X}{vl} = \frac{vl}{Y}$  (số thực)

với  $X = x_0l$ ,  $Y = vl = b_0l$ .

Hằng số mạch:  $\bar{A} = chml = ch(jvl) = \cos vl$

$$\bar{B} = \bar{Z}_0 shml = Z_0 sh jvl = jZ_0 \sin vl = jX \left( \frac{\sin vl}{vl} \right)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{Z_0} shml = jY \left( \frac{\sin vl}{vl} \right); \quad \bar{D} = \bar{A} = \cos vl$$

Mạch π tương đương:  $\bar{Z}_\pi = \bar{B} = jZ_0 \sin vl = jX \left( \frac{\sin vl}{vl} \right)$

$$\frac{\bar{Y}_\pi}{2} = \frac{\bar{A} - 1}{\bar{B}} = \frac{\cos vl - 1}{jZ_0 \sin vl} = \frac{-2 \sin^2 \frac{vl}{2}}{j \frac{vl}{\sin vl}} = j \frac{Y}{2} \frac{\operatorname{tg}(vl/2)}{(vl/2)}$$

**Ví dụ 3.1:** Đường dây ba pha hai lô (lô kép) dài 192 km có các thông số tính toán được như sau:

Cảm kháng  $x = 0,268 \Omega/\text{km}$  mỗi pha.

Dung kháng  $x' = 0,1608 \text{ M}\Omega.\text{km}$  mỗi pha.

Điện trở đường dây hai lô  $r = 0,0735 \Omega/\text{km}$  mỗi pha.

$$\bar{z} = r + jx = 0,278 \angle 74,65^\circ \Omega/\text{km}$$

$$\bar{z}' = -jx' \cdot 10^6 = -j160800 \Omega.\text{km}$$

Tổng trở đặc tính và hằng số truyền:

$$\bar{Z}_0 = \sqrt{zz'} = \sqrt{0,278 \times 160800 \angle (74,65^\circ - 90^\circ)} = 212 \angle -7,68^\circ \Omega$$

$$\bar{m} = \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{z}'}} = \sqrt{\frac{0,278}{160800} \angle (74,65^\circ + 90^\circ)} = 0,176 \cdot 10^{-3} + j1,30 \cdot 10^{-3}$$

Suy ra:  $u = 0,176 \cdot 10^{-3}$      $v = 1,30 \cdot 10^{-3}$

(Đường dây tải cao áp lô kép có tổng trở đặc tính khoảng 200 Ω trong khi  $Z_0$  của đường dây lô đơn khoảng 400 Ω).

Đường dây dài 192 km, do đó:  $ul = 0,176 \cdot 10^{-3} \times 192 = 0,0337$

$$vl = 1,30 \cdot 10^{-3} \times 192 = 0,250 \text{ rad}$$

Các hằng số mạch tổng quát tính theo hàm số vòng và hàm hyperbolic như sau:

$$\bar{A} = ch 0,0337 \cdot \cos 0,25 + jsh 0,0337 \sin 0,25$$

$$= 1,0006 \times 0,969 + j0,0337 \times 0,247 = 0,9696 + j0,0083 = 0,9696 \angle 0,49^\circ$$

$$\bar{B} = 212 \angle -7,68^\circ (\operatorname{sh} 0,0337 \cdot \cos 0,25 + j \operatorname{ch} 0,0337 \cdot \sin 0,25)$$

$$\bar{B} = 212 \angle -7,68^\circ (0,0337 \times 0,969 + j1,0006 \times 0,247) = 52,88 \angle 74,79^\circ \Omega$$

$$\bar{C} = \frac{1}{212 \angle -7,68^\circ} (\operatorname{sh} 0,0337 \cdot \cos 0,25 + j \operatorname{ch} 0,0337 \sin 0,25)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{212 \angle -7,68^\circ} (0,0337 \times 0,969 + j1,0006 \times 0,247) = 0,001177 \angle 90,15^\circ \frac{1}{\Omega}$$

Trị số gần đúng của  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$  có thể tính theo các công thức gần đúng (3.43), (3.44) và (3.45) như sau:

$$\bar{A} \approx \left( 1 - \frac{0,268}{160800} \cdot \frac{192^2}{2} \right) + j \frac{0,0735}{160800} \cdot \frac{192^2}{2} = 0,9693 \angle 0,50^\circ$$

$$\bar{B} \approx 0,0735 \times 192 \left( 1 - \frac{0,268}{160800} \cdot \frac{192^2}{3} \right) + j 192 \times 0,268 \left[ 1 + \left( \frac{0,0735^2}{0,268 \times 160800} - \frac{0,268}{160800} \right) \cdot \frac{192^2}{6} \right] \approx 53,19 \angle 74,95^\circ \Omega$$

$$\bar{C} \approx j \frac{192}{160800} \left( 1 - \frac{0,268}{160800} \cdot \frac{192^2}{6} + j \frac{0,0735}{160800} \cdot \frac{192^2}{6} \right) = 0,00118 \angle 90,1^\circ \frac{1}{\Omega}$$

Lời giải gần đúng này chứng tỏ các công thức gần đúng áp dụng rất tốt đối với đường dây dài khoảng 200 km.

**Ví dụ 3.2:** Với các hằng số  $\bar{A}, \bar{B}$  vừa tính được trong ví dụ 3.1, hãy tính mạch  $\pi$  tương đương bằng cách áp dụng các công thức gần đúng (3.46) và (3.47).

$$\bar{Z}_\pi = \bar{B} = 52,88 \angle 74,79^\circ \Omega$$

$$\bar{Z}'_\pi = -j \frac{2 \times 160800}{192} \left[ \left( 1 - \frac{0,268}{160800} \cdot \frac{192^2}{12} \right) + j \frac{0,0735}{160800} \cdot \frac{192^2}{12} \right] = 1675 \angle -89,9^\circ \approx 1675 \angle -90^\circ \Omega$$

Nếu tính theo mạch  $\pi$  chuẩn của đường dây trung bình thì:

$$\bar{Z}_\pi = \bar{B} = \bar{z} \cdot l = 0,278 \angle 74,65^\circ \cdot 192 = 53,376 \angle 74,65^\circ \Omega$$

$$\bar{Z}'_\pi = 2 \cdot \frac{160800}{192} \angle -90^\circ = 1675 \angle -90^\circ \Omega$$

Vậy mạch  $\pi$  chuẩn cũng áp dụng tốt đối với đường dây dài 200 km.

Sau khi xác định các hằng số mạch ABCD có thể tính toán vận hành đường dây để xác định các đại lượng ở đầu phát và đầu nhận.

**Ví dụ 3.3:** Một phụ tải ba pha 75.000 kW, 50 Hz,  $\cos\phi = 0,99$  sôm (có tính dung). Tìm điện áp đầu phát  $U_P$ , tổn thất công suất  $\Delta P$  và góc lệch pha giữa điện áp đầu phát  $U_P$  và điện áp đầu nhận  $U_N$ . Tìm điện áp đầu nhận lúc không tải.

Biết rằng  $U_N = 154$  kV (điện áp dây). Đường dây dài 320 km với các hằng số:

$$\bar{A} = 0,91673 + j0,017136$$

$$\bar{B} = 30,604 + j151,06 \Omega$$

$$\bar{C} = -0,0000064 + j0,0010577 \quad \frac{1}{\Omega}$$

### Giải

$$\text{Biết rằng } \bar{S}_N = \sqrt{3} \bar{U}_N \cdot \bar{I}_N^*, \text{ chọn } \bar{U}_N = \left| \bar{U}_N \right| \angle 0^\circ = 154 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

Công suất phụ tải ở đầu nhận với  $\cos\phi = 0,99$  sôm:

$$\bar{S}_N = 75000 - j10685 \text{ kVA}$$

$$\text{Suy ra: } \sqrt{3} \bar{I}_N^* = \frac{\bar{S}_N^*}{\bar{U}_N} = \frac{75000 + j10685}{154} = 487 + j69,4 \text{ A}$$

Từ phương trình:  $\bar{U}_P = \bar{A} \bar{U}_N + \bar{B} \bar{I}_N^* \sqrt{3}$

$$\begin{aligned} U_P &= 154000(0,9167 + j0,0171) + (487 + j69,4)(30,604 + j151,06) \\ &= (141172 + j2633) + (4419 + j75689) = 145591 + j78322 \\ &= 165320 \angle 28,28^\circ \text{ V} = 165,3 \angle 28,28^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{487 + j69,4}{30,6 + j151,06} \quad \bar{A} \cdot \bar{U}_N = 154000(0,9167 + j0,0171) \\ & + \left\{ \begin{array}{l} 14902 + j2123 \\ -10483 + j73566 \end{array} \right. \quad \bar{B} \cdot \bar{I}_N \cdot \sqrt{3} = \left. \begin{array}{l} 141172 + j2633 \\ 4419 + j75689 \end{array} \right\} + \\ & \sqrt{3} \bar{I}_N \cdot \bar{B} = 4419 + j75689 \quad \bar{U}_P = 145591 + j78322 \end{aligned}$$

Góc giữa  $U_P$  và  $U_N$ :  $\delta = \arctg \left( \frac{78322}{145591} \right) = 28^\circ 28$

$$U_P = \sqrt{(145591)^2 + (78322)^2} = 165320 \text{ V} = 165,3 \text{ kV}$$

Dòng điện đầu phát:  $\sqrt{3} \bar{I}_P = \bar{C} \cdot \bar{U}_N + \sqrt{3} \bar{D} \cdot \bar{I}_N$

$$\sqrt{3} \bar{I}_P = (-0,0000064 + j0,0010577) \cdot 154000 + (0,916 + j0,0171) \cdot (487 + j69,4) = 444,3 + j234,8 \text{ A}$$

Suy ra:  $\bar{I}_P = 256,5 + j135,56 = 290,12 \angle 27,05^\circ \text{ A}$

Công suất đầu phát:

$$\begin{aligned} \bar{S}_P &= \sqrt{3} \bar{U}_P \cdot \bar{I}_P^* = (145,591 + j78,322) \cdot (444,3 - j234,8) = 83076 + j613 \text{ kVA} \\ &= 83,076 + j0,613 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Tất cả các hằng số mạch trong bảng là số phức. Để kiểm tra kết quả tính toán, lưu ý  $\bar{A}\bar{D} - \bar{B}\bar{C} = 1$

Tổn thất công suất trên đường dây:

$$\Delta \bar{S} = \bar{S}_P - \bar{S}_N = (83076 + j613) - (75000 - j10685) = 8076 \text{ kW} + j11298 \text{ kVAr}$$

Điện áp đầu nhận lúc không tải:

$$|\bar{U}_{N0}| = \frac{|\bar{U}_P|}{|\bar{A}|} = \frac{165,3}{|0,9167 + j0,0171|} = 180 \text{ kV}$$

Phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận:

$$\Delta U_N \% = \frac{|\bar{U}_{N0}| - |\bar{U}_N|}{|\bar{U}_N|} \cdot 100\% = \frac{180 - 154}{154} \cdot 100\% = 16,88\%$$

Phần trăm sụt áp:  $\Delta U \% = \frac{|\bar{U}_P| - |\bar{U}_N|}{|\bar{U}_N|} \cdot 100\% = \frac{165,3 - 154}{154} \cdot 100\% = 7,33\%$

#### Bảng công thức tính toán hằng số mạch của tổ hợp các phần tử

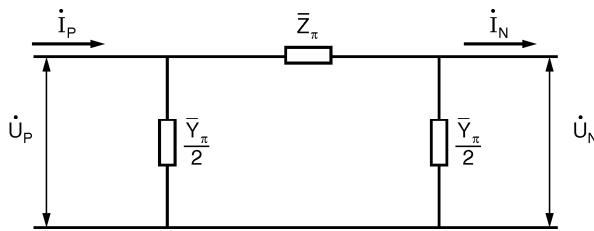
Kiểu mạng điện		Hàng số mạch tương đương			
		$\bar{A}_{td}$	$\bar{B}_{td}$	$\bar{C}_{td}$	$\bar{D}_{td td}$
1. Tổng trở nối tiếp		1	$Z$	0	1
2. Tổng dẫn rẽ		1	0	$Y$	1
3. Đường dây đồng nhất		$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\bar{A} = \bar{D}$
4. Hai đường dây đồng nhất		$\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 + \bar{C}_1 \cdot \bar{B}_2$	$\bar{B}_1 \cdot \bar{A}_2 + \bar{A}_1 \cdot \bar{B}_2$	$\bar{A}_1 \cdot \bar{C}_2 + \bar{A}_2 \cdot \bar{C}_1$	$\bar{A}_1 \cdot \bar{B}_2 + \bar{B}_1 \cdot \bar{C}_2$

5. Hai đường dây hay mạng điện không đồng nhất		$\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 + \bar{C}_1 \cdot \bar{B}_2$	$\bar{B}_1 \cdot \bar{A}_2 + \bar{D}_1 \cdot \bar{B}_2$	$\bar{A}_1 \cdot \bar{C}_2 + \bar{D}_2 \cdot \bar{C}_1$	$\bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 + \bar{B}_1 \cdot \bar{C}_2$
6. Mạng điện tổng quát với tổng trở máy biến áp đầu phát		$\bar{A} + \bar{C} \cdot \bar{Z}_{ba}$	$\bar{B} + \bar{D} \cdot \bar{Z}_{ba}$	$\bar{C}$	$\bar{D}$
7. Mạng điện tổng quát với tổng trở máy biến áp đầu nhận		$\bar{A}$	$\bar{B} + \bar{A} \cdot \bar{Z}_{ba}$	$\bar{C}$	$\bar{D} + \bar{C} \cdot \bar{Z}_{ba}$
8. Hai mạng điện song song		$\frac{\bar{A}_1 \bar{B}_2 + \bar{A}_2 \bar{B}_1}{\bar{B}_1 + \bar{B}_2}$	$\frac{\bar{B}_1 \bar{B}_2}{\bar{B}_1 + \bar{B}_2}$	$\frac{\bar{C}_1 + \bar{C}_2 + (\bar{A}_1 - \bar{A}_2)(\bar{D}_2 - \bar{D}_1)}{\bar{B}_1 + \bar{B}_2}$	$\frac{\bar{D}_1 \bar{B}_2 + \bar{D}_2 \bar{B}_1}{\bar{B}_1 + \bar{B}_2}$

### 3.8 MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN MỘT ĐƯỜNG DÂY DÀI

Có nhiều khó khăn gặp phải khi mô hình một đường dây dài nhưng trong nhiều trường hợp vẫn có cách thay thế một đường dây dài bằng nhiều đoạn đường dây có chiều dài trung bình.

Xét mạch  $\pi$  tương đương của đường dây dài:



Hình 3.12: Mạch  $\pi$  tương đương

Các quan hệ giữa đầu phát và đầu nhận của mạch  $\pi$  tương đương tương tự như đối với đường dây có chiều dài trung bình với mạch  $\pi$ -chuẩn.

$$\dot{U}_P = \left( 1 + \frac{\bar{Z}_\pi \cdot \bar{Y}_\pi}{2} \right) \dot{U}_N + \bar{Z}_\pi \cdot \dot{I}_N \quad (3.50)$$

$$\dot{I}_P = \left( 1 + \frac{\bar{Z}_\pi \cdot \bar{Y}_\pi}{4} \right) \bar{Y}_\pi \cdot \dot{U}_N + \left( 1 + \frac{\bar{Z}_\pi \cdot \bar{Y}_\pi}{2} \right) \cdot \dot{I}_N \quad (3.51)$$

Trong mục 3.6 đã xác định:  $\bar{Z}_\pi = \bar{B} = \bar{Z}_0 \cdot \text{sh}ml$

$$\text{Sắp xếp lại biểu thức của } Z_\pi: \bar{Z}_\pi = \frac{l\sqrt{\bar{z}}}{l\sqrt{\bar{y}}} \cdot \frac{\sqrt{\bar{z}}}{\sqrt{\bar{y}}} \cdot \text{sh}ml = l \cdot \bar{z} \cdot \frac{\text{sh}ml}{ml} \quad (3.52)$$

Khi  $\frac{\text{sh}ml}{ml}$  tiến đến 1 thì sai số mắc phải khi thay thế thông số của đường dây dài bằng

thông số của đường dây trung bình sẽ bằng 0 vì:

$$\bar{Z}_\pi = l \bar{z} = \bar{Z}$$

$$\text{Cũng vậy: } \bar{Y}_\pi = 2(\frac{\bar{A}-1}{\bar{B}}) = 2(\frac{\text{ch}ml-1}{\bar{Z}_0 \text{sh}ml}) = 1 \cdot \bar{y} \frac{\text{th}(ml/2)}{ml/2} \quad (3.53)$$

khi  $\frac{\text{th}(ml/2)}{ml/2}$  tiến đến 1 thì sai số mắc phải cũng bằng không, khi đó:

$$\bar{Y}_\pi = l \cdot \bar{y} = \bar{Y}$$

Như vậy, để có thể thay thế mạch tương đương một đường dây dài bằng mạch tương đương của một đường dây trung bình điều kiện cần thiết là  $\frac{\text{sh}ml}{ml} = \frac{\text{th}(ml/2)}{ml/2}$  cả hai phải tiến về 1. Nếu điều kiện này được thỏa mãn thì mạch  $\pi$  tương đương được thay bằng mạch  $\pi$ -chuẩn.

Để có được một ý tưởng về sai số mắc phải khi dùng mạch  $\Pi$  chuẩn, hãy xét trường hợp  $R = 0$  ứng với đường dây không tổn hao, trong trường hợp này  $ml = j\omega l$  ( $LC$ ) $^{1/2}$

Khi đó  $\text{sh}ml$  và  $\text{ch}ml$  trở thành:

$$\text{sh}(ml) = \text{sh}[j\omega l(LC)^{1/2}] = j\sin[\omega l(LC)^{1/2}] \quad (3.54.)$$

và

$$\frac{|\text{sh}ml|}{|ml|} = \frac{\sin[\omega l(LC)^{1/2}]}{[\omega l(LC)^{1/2}]} = \frac{\sin x}{x} \quad \text{với } x = |ml| \quad (3.55)$$

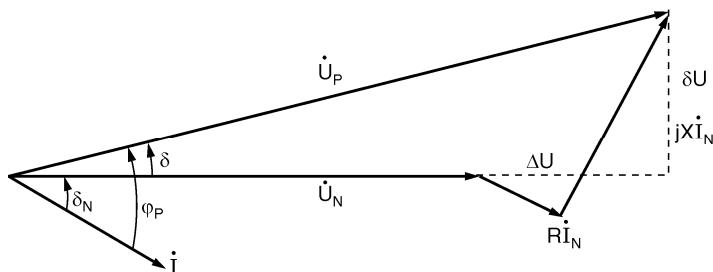
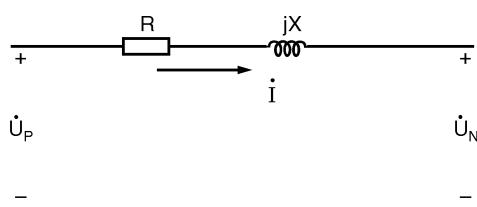
Nhận thấy rằng  $\sin x/x$  tiến về 1 khi  $x$  tiến về số 0, do đó với tần số cố định (50 Hz), phải giảm  $l$  để giảm sai số mắc phải.

Thực tế, để có được mô hình tương đối chính xác, chia chiều dài  $l$  của đường dây dài thành  $k$  đoạn và biểu diễn các đoạn bằng các mạch  $\Pi$  chuẩn có chiều dài  $l/k$  ứng với đường dây trung bình.

### 3.9 TÍNH TOÁN VẬN HÀNH ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN NGẮN

#### 3.9.1 Tính toán đường dây ngắn từ các điều kiện về đầu nhận

Xét một đường dây ngắn với sơ đồ thay thế trong H.3.14. Các điều kiện về đầu nhận được biết như điện áp  $U_N$ , dòng điện  $I_N$ , công suất đầu nhận  $P_N$ , hệ số công suất đầu nhận  $\cos\phi_N$ . Hãy tìm các điều kiện của đầu phát.



Hình 3.14: Mạch tương đương đường dây ngắn và đồ thị vectơ

Nếu  $U_P$  và  $U_N$  là điện áp pha, và chọn  $U_N$  làm gốc:

$$\begin{aligned} \bar{U}_P &= \bar{U}_N + I\bar{Z} = \bar{U}_N + I(\cos \varphi_N - j \sin \varphi_N)(R + jX) \\ &= U_N + I(R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N) + jI(X \cos \varphi_N - R \sin \varphi_N) \\ &= U_N + \Delta U + j\delta U \end{aligned} \quad (3.56)$$

$$U_P = \sqrt{[U_N + I(R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N)]^2 + [I(X \cos \varphi_N - R \sin \varphi_N)]^2} \quad (3.57)$$

Đối với tải cảm:  $\cos \varphi_N$  trắc,  $\varphi_N > 0$ ,  $\sin \varphi_N > 0$ .

Đối với tải dung:  $\cos \varphi_N$  sớm,  $\varphi_N < 0$ ,  $\sin \varphi_N < 0$

vì  $P_N = U_N I \cos \varphi_N$  và  $Q_N = U_N I \sin \varphi_N$  nên có thể viết:

$$\begin{aligned} U_P &= \sqrt{\left(U_N + \frac{P_N R + Q_N X}{U_N}\right)^2 + \left(\frac{P_N X - Q_N R}{U_N}\right)^2} \\ U_P &= \sqrt{(U_N + \Delta U)^2 + (\delta U)^2} \end{aligned} \quad (3.58)$$

với  $P_N$  và  $Q_N$  là công suất một pha.  $Q_N > 0$  đối với tải cảm và  $Q_N < 0$  đối với tải dung.

$\Delta U$  là thành phần sụt áp cùng pha với  $U_N$  và  $\delta U$  là thành phần sụt áp vuông góc với  $U_N$

Nếu  $U_P$  và  $U_N$  là điện áp dây và công suất ba pha

$$U_P = \sqrt{[U_N + \sqrt{3}I(R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N)]^2 + [\sqrt{3}I(X \cos \varphi_N - R \sin \varphi_N)]^2} \quad (3.59)$$

$$U_P = \sqrt{\left(U_N + \frac{P_N R + Q_N X}{U_N}\right)^2 + \left(\frac{P_N X - Q_N R}{U_N}\right)^2} \quad (3.60)$$

với  $P_N$  và  $Q_N$  là công suất ba pha.

Nếu  $IR$  và  $IX$  không vượt quá 10% điện áp pha thì  $U_P$  có thể được tính gần đúng bở qua thành phần vuông góc.

$$U_P \approx U_N + \sqrt{3}I(R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N) \quad (3.61)$$

$$\approx U_N + \frac{P_N R + Q_N X}{U_N} = U_N + \Delta U \quad (3.62)$$

- Độ sụt áp tính theo % của điện áp đầu nhận:

$$\Delta U \% = \frac{U_P - U_N}{U_N} \cdot 100\% \quad (3.63)$$

- Tốn thất trên đường dây:

$$\text{Tốn thất tác dụng: } \Delta P = 3I^2R = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U_N^2} R \text{ (ba pha)} \quad (3.64)$$

$$\Delta P = 2I^2R \quad (\text{một pha hai dây}) \quad (3.65)$$

Tốn thất phản kháng:

$$\Delta Q = 3I^2X = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U_N^2} X \quad (\text{ba pha}) \quad (3.66)$$

$$\Delta Q = 2I^2X \quad (\text{một pha hai dây}) \quad (3.67)$$

- Hiệu suất truyền tải:

$$\eta = \frac{P_N}{P_P} = \frac{P_N}{P_N + \Delta P} = \frac{U_N \cos \varphi_N}{U_P \cos \varphi_P} \quad (3.68)$$

Phương trình này dùng cho cả đường dây ba pha lăp một pha

- Công suất đầu phát:

$$P_P = P_N + \Delta P \quad (3.69)$$

$$Q_P = Q_N + \Delta Q \quad (3.70)$$

- Hệ số công suất đầu phát:

$$\cos \varphi_P = \frac{P_P}{S_P} = \frac{P_P}{\sqrt{P_P^2 + Q_P^2}} \quad (3.71)$$

$$\text{hay theo đồ thị vectơ } \cos \varphi_P = \frac{U_N \cos \varphi_N + \sqrt{3}IR}{U_P} \quad (\text{với } U_P \text{ và } U_N \text{ là điện áp dây}) \quad (3.72)$$

- Góc lệch pha  $\delta$  giữa  $U_P$  và  $U_N$ :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sqrt{3}IX \cos \varphi_N - \sqrt{3}IR \sin \varphi_N}{U_N + \sqrt{3}IR \cos \varphi_N + \sqrt{3}IX \sin \varphi_N} = \frac{\delta U}{U_N + \Delta U} \quad (3.73)$$

với  $U_N$  là điện áp dây.

- Lượng công suất tối đa có thể truyền tải.

Với một độ sụt áp cho trước ( $U_P$  và  $U_N$  cho trước)

$$P_{\max} = \frac{U_N^2}{Z^2} \left\{ Z \left( \frac{U_P}{U_N} \right) - R \right\} \quad (3.74)$$

với  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

Hãy chứng minh biểu thức này.

**Ví dụ 3.4:** Một đường dây ngắn trên không ba pha có tổng trở mỗi pha đường dây là  $2\Omega + j6 \Omega$ , cung cấp cho phụ tải  $10000 \text{ kW}$  ở hệ số công suất  $0,8$  trẽ. Điện áp đầu nhận  $U_N = 22 \text{ kV}$ , tính điện áp  $U_P$  ở đầu phát.

**Giải**

$$\text{Nếu tính theo điện áp pha: } U_N = \frac{22.000}{\sqrt{3}} = 12700 \text{ V}$$

$$\text{Đòng điện trên đường dây: } I = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22000 \cdot 0,8} = 328A$$

Lấy điện áp  $U_N$  làm chuẩn:

$$U_P = \sqrt{(U_N + IR \cos \varphi_N + IR \sin \varphi_N)^2 + (IX \cos \varphi_N - IR \sin \varphi_N)^2}$$

với  $\cos \varphi_N = 0,8$  trễ (tải cảm)

$$\varphi_N = +36,87^\circ$$

$$\sin \varphi_N = 0,6$$

$$IR \cos \varphi_N = 328 \cdot 2 \cdot 0,8 = 525 \text{ V}$$

$$IR \sin \varphi_N = 328 \cdot 2 \cdot 0,6 = 394 \text{ V}$$

$$IX \cos \varphi_N = 328 \cdot 6 \cdot 0,8 = 1575 \text{ V}$$

$$IX \sin \varphi_N = 328 \cdot 6 \cdot 0,6 = 1181 \text{ V}$$

$$U_P = \sqrt{(12700 + 525 + 1181)^2 + (1575 - 394)^2} = 14450 \text{ V}$$

Tính theo điện áp dây và dòng điện:

$$\begin{aligned} U_P &= \sqrt{(U_N + \sqrt{3}IR \cos \varphi_N + \sqrt{3}IX \sin \varphi_N)^2 + (\sqrt{3}IX \cos \varphi_N - \sqrt{3}IR \sin \varphi_N)^2} \\ &= \sqrt{(22000 + \sqrt{3} \cdot 525 + \sqrt{3} \cdot 1182)^2 + (\sqrt{3} \cdot 1575 - \sqrt{3} \cdot 394)^2} = \sqrt{3} \cdot 14450 = 25028 \text{ V} = 25,028 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tính theo công suất (công suất ba pha và điện áp dây)

$$\begin{aligned} U_P &= \sqrt{\left(U_N + \frac{P_N R + Q_N X}{U_N}\right)^2 + \left(\frac{P_N X - Q_N R}{U_N}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(22 + \frac{10.2 + 7.5 \cdot 6}{22}\right)^2 + \left(\frac{10.6 - 7.5 \cdot 2}{22}\right)^2} = 25,028 \text{ kV} \text{ (để ý đơn vị)} \end{aligned}$$

Nếu bỏ qua phần vuông góc:

$$U_P = U_N + \frac{P_N R + Q_N X}{U_N} = 22 + \frac{10.2 + 7.5 \cdot 6}{22} = 22 + 2,954 = 24,95 \text{ kV}$$

Phần trăm sụt áp:

$$\Delta U\% = \frac{25,028 - 22}{22} 100\% = 13,76\%$$

**Ví dụ 3.5:** Một phụ tải 2500 kVA, 11 kV,  $\cos \varphi = 0.8$  trẽ được cung cấp bằng đường dây tải điện có điện trở và điện kháng mỗi dây dẫn là  $3 \Omega + j6 \Omega$ , xác định:

- a) Độ sụt áp;
- b) Hệ số công suất ở đầu phát.;
- c) Hiệu suất của đường dây.

trong hai trường hợp:

1. Đường dây một pha;
2. Đường dây ba pha.

Giả thiết cả hai dây là như nhau trong cả hai trường hợp

### Giải

*Trường hợp 1: Đường dây một pha*

Đường dây một pha, hai dây:

Điện trở hai dây:  $R = 2 \times 3 = 6 \Omega$

Điện kháng hai dây:  $X = 2 \times 6 = 12 \Omega$

$$I = \frac{2500}{11} = 227,3 \text{ A}$$

a)  $U_N \cos \varphi_N = 11000 \times 0,8 = 8800 \text{ V}$

$$U_N \sin \varphi_N = 11000 \times 0,6 = 6000 \text{ V}$$

$$IR = 227,3 \times 6 = 1364 \text{ V}$$

$$IX = 227,3 \times 12 = 2728 \text{ V}$$

$$U_P = \sqrt{(U_N \cos \varphi_N + IR)^2 + (U_N \sin \varphi_N + IX)^2}$$

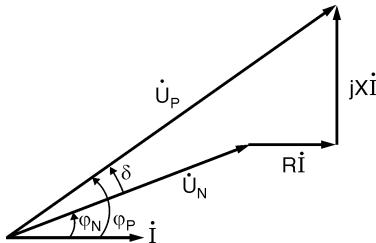
(Hãy chứng minh công thức này khi lấy  $I_N$  làm chuẩn).

$$= 13790 \text{ V} = 13,79 \text{ kV}$$

$$\Delta U\% = \frac{13790 - 11000}{11000} \cdot 100\% = 25,4\%$$

$$b) \cos \varphi_P = \frac{U_N \cos \varphi_N + RI}{U_P} = \frac{8,8 + 1,364}{13,79} = \frac{10,164}{13,79} = 0,737 \text{ trắc.}$$

(xem đồ thị vectơ H.3.15).



**Hình 3.15:** Đồ thị vectơ với  $I_N$  làm gốc

$$c) \text{Hiệu suất: } \eta = \frac{U_N \cos \varphi_N}{U_P \cos \varphi_P} = \frac{11 \times 0,8}{13,8 \times 0,737} = 0,865$$

Có thể tính hiệu suất thông qua tổn thất:

$$\Delta P = RI^2 = 6 \times 227,3^2 \times 10^{-3} = 310 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + \Delta P} = \frac{2000}{2000 + 310} = 0,865$$

*Trường hợp 2: Đường dây ba pha*

$$a) I_N = \frac{S}{\sqrt{3}U_N} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 11} = 131,2 \text{ A}$$

Nếu lấy  $I_N$  làm gốc (xem đồ thị vectơ H.3.15.)

$$U_P = \sqrt{(U_N \cos \varphi_N + \sqrt{3} \cdot I \cdot R)^2 + (U_N \sin \varphi_N + \sqrt{3} \cdot I \cdot X)^2}$$

trong đó:  $U_N \cos \varphi_N = 11000 \times 0,8 = 8800 \text{ V}$

$$U_N \sin \varphi_N = 11000 \times 0,6 = 6600 \text{ V}$$

$$\sqrt{3} \cdot I \cdot R = \sqrt{3} \times 131,2 \times 3 = 681,7 \text{ V}$$

$$\sqrt{3} \cdot I \cdot X = \sqrt{3} \times 131,2 \times 6 = 1363,47 \text{ V}$$

$$U_P = \sqrt{(U_N \cos \varphi_N + \sqrt{3} \cdot I \cdot R)^2 + (U_N \sin \varphi_N + \sqrt{3} \cdot I \cdot X)^2}$$

$$U_P = \sqrt{(8800 + 681,7)^2 + (6600 + 1363,47)^2}$$

$$= \sqrt{(9481,7)^2 + (7963,47)^2} = 12382 \text{ V} = 12,38 \text{ kV}$$

Cách khác:

$$U_P = \sqrt{\left( U_N + \frac{P_N \cdot R + Q_N \cdot X}{U_N} \right)^2 + \left( \frac{P_N \cdot X - Q_N \cdot R}{U_N} \right)^2} = \sqrt{\left( 11 + \frac{2 \times 3 + 1,5 \times 6}{11} \right)^2 + \left( \frac{2 \times 6 - 1,5 \times 3}{11} \right)^2}$$

$$= \sqrt{(11 + 1,364)^2 + (0,682)^2} = 12,382 \text{ kV}$$

với  $P_N = 2 \text{ MW}$  và  $Q_N = 1,5 \text{ MVAr}$

hoặc gần đúng:

$$U_P = U_N + \frac{P_N \cdot R + Q_N \cdot X}{U_N} = 12,364 \quad \text{kV}$$

$$\text{Độ sụt áp: } \Delta U\% = \frac{U_p - U_n}{U_n} \cdot 100\% = \frac{12,38 - 11}{11} \cdot 100\% = 12,54\%$$

$$b) \quad \cos\varphi_P = \frac{U_N \cos\varphi_N + \sqrt{3}IR}{U_P}$$

$$\cos \varphi_P = \frac{9481,7}{12382} = 0,766 \text{ tré}$$

c) Hiệu suất  $\eta = \frac{\sqrt{3}U_N \cdot I \cdot \cos \varphi_N}{\sqrt{3} \cdot U_P \cdot I \cdot \cos \varphi_P} = \frac{U_N \cdot \cos \varphi_N}{U_P \cdot \cos \varphi_P} = \frac{11 \times 0,80}{12,38 \times 0,766} = 0,928$

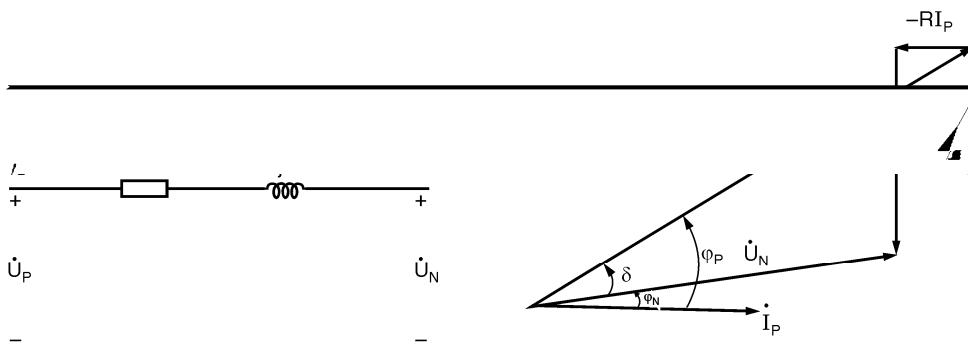
Cũng có thể tính hiệu suất thông qua tổn thất công suất đường dây:

$$\Delta P = 3 RI^2 = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U_N^2} \cdot R = \frac{2^2 + 1,5^2}{11^2} \cdot 3 = 0,1549 \text{ MW} = 155 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + \Delta P} = \frac{P_N}{P_N + \Delta P} = \frac{2000}{2000 + 155} = 0,928$$

### 3.9.2 Tính toán đường dây ngắn từ các điều kiện của đầu phát

Dùng  $I_p$  làm gốc hoặc  $U_p$  làm gốc, vẽ đồ thị véctơ để suy ra điện áp đầu nhận



**Hình 3.16:** Sơ đồ thay thế đường dây ngắn    **Hình 3.17:** Đồ thị vec tơ với  $I_P$  làm gốc

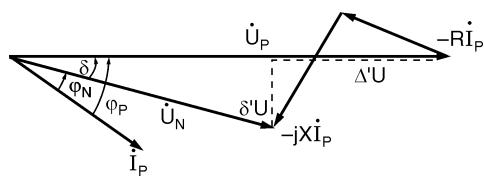
Với  $U_P$  và  $U_N$  là điện áp pha và chọn  $I_P$  làm gốc (H.3.17.):

$$\bar{U}_N = \bar{U}_P - \bar{Z} \cdot \bar{I} = (U_P \cos \varphi_P + j U_P \sin \varphi_P) - (R + jX) \cdot \bar{I} = (U_P \cos \varphi_P - I \cdot R) + j(U_P \sin \varphi_P - IX) \quad (3.75)$$

Suy ra:  $U_N = \sqrt{(U_P \cos \varphi_P - IR)^2 + (U_P \cdot \sin \varphi_P - IX)^2}$  (3.76)

Nếu chọn  $\bar{U}_p$  làm gốc (H.3.18):

$$\bar{U}_N = \bar{U}_P - \bar{Z} \bar{I} = U_P - (R + jX)(I \cos \phi_P - j I \sin \phi_P)$$



**Hình 3.18: Đồ thị vectơ với  $U_P$  làm gốc**

$$U_N = (U_P - IR \cos \varphi_P - IX \sin \varphi_P) - j(IX \cos \varphi_P - IR \sin \varphi_P) = (U_P - \Delta' U) - j\delta' U \quad (3.77)$$

$$U_N = \sqrt{(U_P - IR \cos \varphi_P - IX \sin \varphi_P)^2 + (IX \cos \varphi_P - IR \sin \varphi_P)^2} \quad (3.78)$$

$$\text{hay: } U_N = \sqrt{\left(U_P - \frac{P_P R + Q_P X}{U_P}\right)^2 + \left(\frac{P_P X - Q_P R}{U_P}\right)^2} = \sqrt{(U_P - \Delta' U)^2 + (\delta' U)^2} \quad (3.79)$$

với  $U_P, U_N$  là điện áp pha –  $P_P, Q_P$  là công suất một pha.

Nếu  $U_N$  và  $U_P$  là điện áp dây và  $U_P$  làm gốc có được biểu thức tương tự:

$$U_N = \sqrt{(U_P - \sqrt{3}IR \cos \varphi_P - \sqrt{3}IX \sin \varphi_P)^2 + (\sqrt{3}IX \cos \varphi_P - \sqrt{3}IR \sin \varphi_P)^2} \quad (3.80)$$

hay theo đồ thị vectơ với  $I_P$  làm gốc:

$$U_N = \sqrt{(U_P \cos \varphi_P - \sqrt{3}IR)^2 + (U_P \sin \varphi_P - \sqrt{3}IX)^2} \quad (3.81)$$

hoặc tính theo công suất:

$$U_N = \sqrt{\left(U_P - \frac{P_P R + Q_P X}{U_P}\right)^2 + \left(\frac{P_P X - Q_P R}{U_P}\right)^2} \quad (3.82)$$

trong đó  $P_P, Q_P$  là công suất ba pha,  $U_P, U_N$  là điện áp dây.

$P_P$  (MW),  $Q_P$  (MVAr),  $U_P$  (kV),  $U_N$  (kV)

Khi tính toán gần đúng bỏ qua thành phần vuông góc  $\delta' U$ :

$$U_N \approx U_P - \sqrt{3}IR \cos \varphi_P - \sqrt{3}IX \sin \varphi_P \approx U_P - \frac{P_P R + Q_P X}{U_P} = U_P - \Delta' U \quad (3.83)$$

Sai số không đáng kể đối với đường dây ngắn.

$$\text{- Sụt áp: } \Delta U = \frac{P_P R + Q_P X}{U_P} \quad (3.84)$$

với  $P_P$  (MW),  $Q_P$  (MVAr),  $U_P$  (kV),  $\Delta U$  (kV)

- Tốn thất công suất tác dụng trên đường dây ba pha:

$$\Delta P = 3RI^2 = \frac{P_P^2 + Q_P^2}{U_P^2} R \quad (3.85)$$

trong đó  $P_P$  (MW),  $Q_P$  (MVAr),  $U_P$  (kV),  $\Delta P$  (MW).

- Tốn thất công suất phản kháng trên đường dây ba pha:

$$\Delta Q = 3XI^2 = \frac{P_P^2 + Q_P^2}{U_P^2} X \quad (3.86)$$

trong đó  $P_P$  (MW),  $Q_P$  (MVAr),  $U_P$  (kV),  $\Delta Q$  (MVAr)

- Công suất đầu nhận:  $P_N + jQ_N = (P_P - \Delta P) + j(Q_P - \Delta Q)$

- Hệ số công suất đầu nhận:

$$\cos \varphi_N = \frac{P_N}{S_N} = \frac{P_N}{\sqrt{P_N^2 + Q_N^2}} = \frac{U_P \cos \varphi_P - \sqrt{3}RI}{U_N} \quad (3.87)$$

- Góc lệch pha điện áp giữa đầu phát và đầu nhận (xem đồ thị vectơ H.3.18):

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\sqrt{3}IX \cos\varphi_P - \sqrt{3}IR \sin\varphi_P}{U_P - \sqrt{3}IR \cos\varphi_P - \sqrt{3}IX \sin\varphi_P} = \frac{\delta' U}{U_P - \Delta' U} \quad (3.88)$$

- Hiệu suất tải điện:  $\eta = \frac{P_N}{P_P} = \frac{P_P - \Delta P}{P_P} = \frac{U_N \cos\varphi_N}{U_P \cos\varphi_P}$  (3.89)

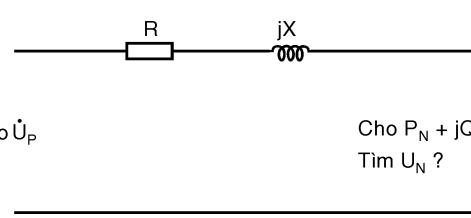
### 3.9.3 Bài toán đặc thù của đường dây tải điện

Trong bài toán này, cho biết:

- Điện áp  $U_P$  ở đầu phát;
- Công suất tác dụng đầu nhận  $P_N$  và hệ số công suất đầu nhận  $\cos\varphi_N$ .

Tìm điện áp ở đầu nhận  $U_N$ .

Bài toán này thường gặp trong hệ thống điện khi đầu phát của đường dây có khả năng điều chỉnh điện áp ở một giá trị  $U_P$  không đổi và tải cuối đường dây là tải thụ động có yêu cầu tiêu thụ công suất.



**Hình 3.19**

Bài toán này có thể giải trực tiếp bằng phương trình bậc hai hoặc dùng phép giải gần đúng. Hãy xét đường dây ba pha, điện áp đầu phát  $U_P$  được viết theo điện áp đầu nhận  $U_N$  (dùng biểu thức gần đúng).

Khi lấy  $U_N$  làm gốc và tính theo dòng điện:

$$U_P = U_N + \sqrt{3} \cdot I(R \cdot \cos\varphi_N + X \cdot \sin\varphi_N)$$

Dễ dàng có được:  $U_N = U_P - \sqrt{3} \cdot I(R \cdot \cos\varphi_N + X \cdot \sin\varphi_N)$

Nếu đầu nhận cho biết  $P_N$  và  $\cos\varphi_N$  thì dòng điện cho bởi:

$$I = \frac{P_N}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi_N}$$

Thay dòng điện trên vào biểu thức của  $U_P$  có được:

$$U_P = U_N + \sqrt{3} \left( \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi_N} \right) (R \cdot \cos\varphi_N + X \cdot \sin\varphi_N) = U_N + \left( \frac{S_N}{U_N} \right) (R \cdot \cos\varphi_N + X \cdot \sin\varphi_N)$$

Trường hợp  $U_P$ ,  $U_N$  – kV,  $S_N$  – kVA thì do đổi đơn vị:

$$U_P = U_N + \left( \frac{S_N}{U_N} \right) (R \cdot \cos\varphi_N + X \cdot \sin\varphi_N) \cdot 10^{-3}$$

Nếu  $S_N$  (MVA) thì không nhân cho  $10^{-3}$ .

$U_N$  là nghiệm của phương trình bậc hai.

**Ví dụ 3.6:** Điện áp đầu phát của một đường dây ngắn ba pha là 13,2 kV. Phụ tải ở đầu nhận là 6000 kVA ở  $\cos\varphi = 0.8$  trẽ. Tổng trở mỗi pha đường dây là:  $2 + j6 \Omega$ . Tìm điện áp đầu nhận.

**Giải:** Điện áp ở đầu nhận  $U_N$ :

$$U_P = U_N + \left( \frac{S_N}{U_N} \right) (R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N) \cdot 10^{-3}$$

$$U_P \cdot U_N = U_N^2 + S_N (R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N) \cdot 10^{-3}$$

$$U_N^2 - U_P \cdot U_N + S_N (R \cos \varphi_N + X \sin \varphi_N) \cdot 10^{-3} = 0$$

$$U_N^2 - 13,2U_N + 6000(2 \times 0,80 + 6 \times 0,60) \cdot 10^{-3} = 0$$

Giải phương trình bậc hai:  $U_N^2 - 13,2U_N + 31,2 = 0$

$$\Delta = 13,2^2 - 4 \times 31,2 = 49,44; \sqrt{\Delta} = 7,03$$

$$U_N = \frac{13,2 \pm 7,03}{2} \Rightarrow U_{N1} = 10,11 \text{ kV}; U_{N2} = 3,08 \text{ kV}$$

Chọn nghiệm lớn  $U_N = U_{N1} = 10,11 \text{ kV}$

Giải gần đúng:

Có thể tính nhanh theo công thức:

$$U_P = U_N + \frac{P_N \cdot R + Q_N \cdot X}{U_N}$$

hay:  $U_N = U_P - \frac{P_N \cdot R + Q_N \cdot X}{U_N}$

Vì chưa biết  $U_N$  có thể lấy gần đúng  $U_N \approx U_{dm}$  (cấp điện áp định mức của đường dây)

$$U_N \approx U_P - \frac{P_N \cdot R + Q_N \cdot X}{U_{dm}}$$

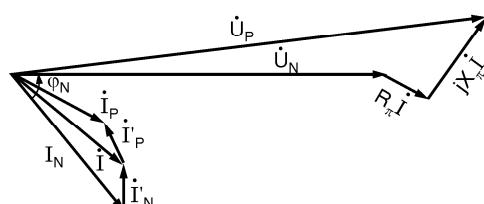
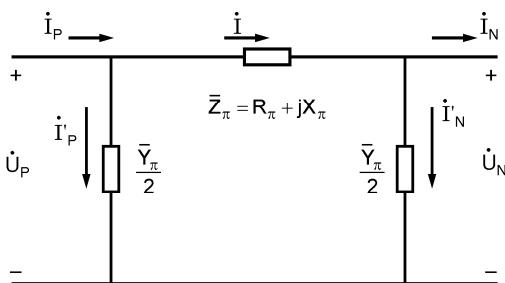
Giả sử cho  $U_N = 13,2 \text{ kV}$  có được:

$$U_N = 13,2 - \frac{4,8 \times 2 + 3,6 \times 6}{13,2} = 13,2 - 2,36 = 10,84 \text{ kV} \text{ (sai số 7%)}$$

### 3.10 TÍNH TOÁN ĐƯỜNG DÂY BIỂU DIỄN THEO SƠ ĐỒ HÌNH $\pi$

#### 3.10.1 Tính toán theo các điều kiện về đầu nhận

Ảnh hưởng của dòng điện điện dung đến sụt áp của đường dây truyền tải chiều dài trung bình hay dài có thể được xác định bằng cách dùng mạch  $\pi$ - chuẩn hay mạch  $\pi$  tương đương. Hình 3.20 trình bày đồ thị vectơ đối với trường hợp tải có tính cảm.



Hình 3.20: Đồ thị vectơ với  $U_N$  làm gốc

Trong sơ đồ, nhánh rẽ của hình  $\pi$  được biểu diễn bằng tổng trổ rẽ  $Z'_\pi$  (dung kháng) hay bởi tổng dãy rẽ  $\bar{Y}_\pi/2$  (dung dãy) với  $\bar{Y}_\pi/2 = (1/\bar{Z}'_\pi)$ ,  $\bar{Z}_\pi$  là nhánh tổng trổ nối tiếp.

Đối với đường dây ba pha dùng điện áp dây, dòng điện qua nhánh  $\bar{Z}_\pi$ :

$$\dot{\bar{I}} = \dot{\bar{I}}_N + \dot{\bar{I}}'_N = \dot{\bar{I}}_N + \frac{\dot{\bar{U}}_N}{\sqrt{3}\bar{Z}_\pi} = \dot{\bar{I}}_N + \frac{\dot{\bar{U}}_N}{\sqrt{3}} \frac{\bar{Y}_\pi}{2} \quad (3.90)$$

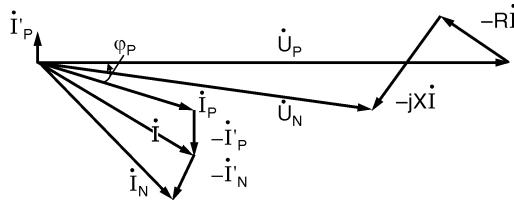
Lấy  $U_N$  làm gốc:  $\dot{\bar{I}} = I_N \cos \varphi_N - j I_N \sin \varphi_N + j \frac{U_N}{\sqrt{3} |\bar{Z}_\pi|}$  (3.91)

Điện áp đầu phát:  $\dot{\bar{U}}_P = \dot{\bar{U}}_N + \sqrt{3} \dot{\bar{I}} \bar{Z}_\pi$  (3.92)

Dòng điện đầu phát:  $\dot{\bar{I}}_P = \dot{\bar{I}} + \dot{\bar{I}}'_P = \dot{\bar{I}} + \frac{\dot{\bar{U}}_P}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_\pi} = \dot{\bar{I}} + \frac{\dot{\bar{U}}_P}{\sqrt{3}} \frac{\bar{Y}_\pi}{2}$  (3.93)

### 3.10.2 Tính toán theo các điều kiện của đầu phát

Trong trường hợp này dòng điện đi trên nhánh  $\bar{Z}_\pi$  bằng hiệu số giữa  $\dot{\bar{I}}_P$  và  $\dot{\bar{I}}'_P$



**Hình 3.21:** Đồ thị vectơ với  $U_P$  làm gốc

$$\dot{\bar{I}} = \dot{\bar{I}}_P - \dot{\bar{I}}'_P = \dot{\bar{I}}_P - \frac{\dot{\bar{U}}_P}{\sqrt{3}\bar{Z}_\pi} = \dot{\bar{I}}_P - \frac{\dot{\bar{U}}_P}{\sqrt{3}|\bar{Z}_\pi|} = \dot{\bar{I}}_P - \frac{\dot{\bar{U}}_P}{\sqrt{3}} \frac{\bar{Y}_\pi}{2} \quad (3.94)$$

Với  $U_P$  làm gốc:  $\dot{\bar{I}} = I_P \cos \varphi_P - j \left( I_P \sin \varphi_P + \frac{U_P}{\sqrt{3} |\bar{Z}_\pi|} \right)$  (3.95)

Điện áp đầu nhận:  $\dot{\bar{U}}_N = \dot{\bar{U}}_P - \sqrt{3} \cdot \dot{\bar{I}} \bar{Z}_\pi$  (3.96)

Dòng điện đầu nhận:  $\dot{\bar{I}}_N = \dot{\bar{I}} - \dot{\bar{I}}_P = \dot{\bar{I}} - \frac{\dot{\bar{U}}_N}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_\pi}$  (3.97)

Phương pháp chung là tính dòng điện  $I$  đi trên nhánh  $Z_\pi$  và dùng các công thức tính toán của đường dây ngắn khi tính toán điện áp theo dòng điện. Mặt khác có thể dùng trực tiếp các sơ đồ thay thế hình  $\Pi$  hay hình  $T$  để tính toán.

**Ví dụ 3.7:** Một đường dây ba pha 110 kV cung cấp phụ tải 50 MW ở hệ số công suất 0,866 trễ. Đường dây có tổng trở nối tiếp  $\bar{Z} = 100 \angle 80^\circ \Omega/\text{pha}$  và dung dãy  $\bar{Y} = 0,0012 \angle 90^\circ \frac{1}{\Omega}/\text{pha}$ .

Điện áp đầu nhận  $U_N = 110 \text{ kV}$ .

Dùng phương pháp tính gần đúng để tính:

- a) Điện áp đầu phát  $U_P$ ;
- b) Dòng điện đầu phát  $I_P$ ;
- c) Hệ số công suất đầu phát;

d) Hiệu suất truyền tải.

### Giải

Xem đường dây có chiều dài trung bình, điện dung đường dây được tập trung về hai đầu đường dây.

Tính theo điện áp pha

$$\dot{U}_P = \dot{U}_N \left( 1 + \frac{1}{2} \bar{Y} \bar{Z} \right) + I_N \bar{Z} \quad (\text{theo (3.5)})$$

với  $U_N = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63,5 \text{ kV}$ ;  $I_N = \frac{50}{\sqrt{3} \times 110 \times 0,866} = 0,303 \text{ kA}$

$$\bar{Z} = 100 \angle 80^\circ = 100(0,1736 + j0,9848) = 17,36 + j98,48 \Omega$$

$$\bar{Y} = 0,0012 \angle 90^\circ = 0 + j0,0012 \quad (1/\Omega)$$

$$\bar{Y} \cdot \bar{Z} = 100 \angle 80^\circ \cdot 0,0012 \angle 90^\circ = 0,12 \angle 170^\circ$$

$$= (-0,12 \times 0,9848) + j(0,12 \times 0,1376) = -0,118 + j0,2028 = 0,12 \angle 170^\circ$$

$$\cos \varphi_N = 0,866 \Rightarrow \varphi_N = 30^\circ, \sin \varphi_N = 0,5$$

với  $U_N$  làm chuẩn

$$\dot{I}_N = 0,303 \angle -30^\circ \text{ kA} = 0,262 - j0,151 \text{ kA}$$

$$\dot{I}_N \bar{Z} = 0,303 \angle -30^\circ \times 100 \angle 80^\circ = 30,3 \angle 50^\circ = 19,45 + j23,2 \text{ kV}$$

Thay vào biểu thức của  $U_P$

$$\begin{aligned} \dot{U}_P &= 63,5(1 - 0,059 + j0,0104) + (19,45 + j23,2) = 63,5(0,941 + j0,0104) + (19,45 + j23,2) \\ &= (59,753 + j0,66) + (19,45 + j23,2) = 79,203 + j23,88 = 82,72 \angle 16^\circ 77 \text{ kV} \end{aligned}$$

Điện áp dây:  $U_P = 82,72 \times \sqrt{3} = 143,28 \text{ kV}$

Dòng điện đầu phát:

$$\begin{aligned} \dot{I}_P &= \dot{U}_N \bar{Y} \left( 1 + \frac{1}{4} \bar{Y} \bar{Z} \right) + \dot{I}_N \left( 1 + \frac{1}{2} \bar{Y} \bar{Z} \right) \quad (\text{theo (3.8)}) \\ &= 63,5(j0,0012)(1 - 0,0295 + j0,0052) + (0,262 - j0,151)(1 - 0,059 + j0,0104) \\ &= j0,0762(0,97 + j0,0052) + (0,262 - j0,151)(0,941 + j0,0104) \\ &= (-0,000396 + j0,0739) + (0,248 - j0,1394) = 0,2476 - j0,0655 = 0,2561 \angle -14^\circ 81 \end{aligned}$$

$$I_P = \sqrt{(0,2476)^2 + (0,0655)^2} = 0,2561 \text{ kA}$$

$$\varphi_P = 16^\circ 77 - (-14^\circ 81) = 31^\circ 58$$

Hệ số công suất đầu phát:  $\cos \varphi_p = \cos 31^\circ 58 = 0,852$  trẽ

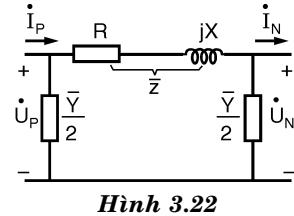
Công suất đầu phát:  $P_P = \sqrt{3} U_P I_P \cos \varphi_P = \sqrt{3} \times 143,28 \times 0,2561 \times 0,852 = 54,14 \text{ MW}$

$$Q_P = \sqrt{3} U_P I_P \sin \varphi_P = \sqrt{3} \times 143,28 \times 0,2561 \times 0,523 = 33,24 \text{ MVar}$$

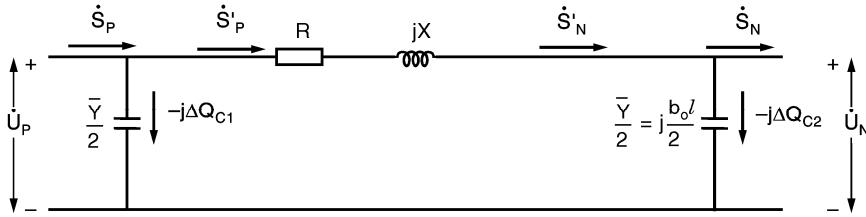
Hiệu suất truyền tải:  $\eta = \frac{P_N}{P_P} = \frac{50}{54,14} = 0,923$

### 3.10.3 Phương pháp tính từng bước

Fương pháp này tính dòng công suất tác dụng và phản kháng từ đầu nhận ngược về đầu phát



Hình 3.22



Hình 3.23

Mặc dù dùng sơ đồ tương đương một pha của đường dây nhưng để thuận lợi tính toán dùng điện áp là điện áp dây và công suất là công suất ba pha.

Khi biết trước  $U_N$  và  $S_N$  và  $\cos\varphi_N$  (hay  $P_N$  và  $\cos\varphi_N$ ), tiến hành tính ngược từ cuối đường dây về đầu đường dây để tìm điện áp  $U_P$  và công suất ở đầu phát. Các bước tính như sau:

$$1) \boxed{S_N} = P_N + jQ_N$$

Nếu cho  $P_N$ ,  $\cos\varphi_N$ , tính  $Q_N = P_N \operatorname{tg}\varphi_N$

Nếu cho  $S_N$ ,  $\cos\varphi_N$ , tính  $P_N = S_N \cos\varphi_N$ ,  $Q_N = S_N \sin\varphi_N$

$$2) \text{Công suất kháng do điện dung ở cuối đường dây: } -j\Delta Q_{c2} = -j(\frac{b_o l}{2})U_N^2$$

3) Công suất ở cuối tổng trở  $Z$  của đường dây:

$$\boxed{S'_N} = \boxed{S_N} + (-j\Delta Q_{c2}) = P_N + j(Q_N - \Delta Q_{c2}) = P'_N + jQ'_N$$

4) Điện áp đầu phát:

$$\Delta U = \frac{P'_N \cdot R + Q'_N \cdot X}{U_N}; \quad \delta U = \frac{P'_N \cdot X + Q'_N \cdot R}{U_N}; \quad U_P = \sqrt{(U_N + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\delta U}{U_N + \Delta U} \Rightarrow \text{góc lệch pha } \delta \text{ giữa } \boxed{U_P} \text{ và } \boxed{U_N}$$

5) Tổn thất công suất trên tổng trở  $Z$ :

$$\boxed{S'_P} = \boxed{S'_N} + (\Delta P + j\Delta Q) = (P'_N + \Delta P) + j(Q'_N + \Delta Q) = P'_P + jQ'_P$$

$$7) \text{Công suất kháng do điện dung ở đầu đường dây: } -j\Delta Q_{c1} = -j(\frac{b_o l}{2})U_P^2$$

$$8) \text{Công suất đầu phát: } \boxed{S_P} = \boxed{S'_P} + (-j\Delta Q_{c1}) = P'_P + j(Q'_P - \Delta Q_{c1}) = P_P + jQ_P$$

$$\text{suy ra } \cos\varphi_p \text{ của đầu phát và hiệu suất tải điện } \eta = \frac{P_N}{P_p}$$

**Ví dụ 3.8:** Làm lại ví dụ 3.7 bằng phương pháp từng bước

**Giải:** Công suất đầu nhận:  $\boxed{S_N} = P_N + jQ_N = 50 + j28,87 \text{ MVA}$

Công suất do điện dung ở cuối đường dây:

$$-j\Delta Q_{c2} = -j\frac{0,0012}{2} \times 110^2 = -j7,26 \text{ MVAr}$$

Công suất ở cuối tổng trở  $Z$ :

$$\boxed{S'_N} = \boxed{S_N} - j\Delta Q_{c2} = 50 + j28,87 - j7,26 = 50 + j21,61 \text{ MVA} = P'_N + jQ'_N$$

$$\text{Điện áp đầu đường dây: } \boxed{U_P} = (U_N + \frac{P'_N R + Q'_N X}{U_N}) + j(\frac{P'_N X - Q'_N R}{U_N})$$

$$\begin{aligned}\bar{U}_P &= (110 + \frac{50 \times 17,36 + 21,61 \times 98,48}{110}) + j(\frac{50 \times 98,48 - 21,61 \times 17,36}{110}) \\ &= (110 + 27,237) + j(41,353) = 137,237 + j41,353 = 143,3 \angle 16^\circ 77 \text{ kV} \\ U_P &= \sqrt{(137,237)^2 + (41,353)^2} = 143,3 \text{ kV}\end{aligned}$$

$$\text{Phần trăm sụt áp: } \Delta U\% = \frac{U_P - U_N}{U_N} 100\% = \frac{143,3 - 110}{110} 100\% = 30\%$$

(đường dây có sụt áp khá lớn).

Tổn thất công suất trên tổng trở của đường dây:

$$\Delta P = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U_N^2} \cdot R = \frac{50^2 + 21,61^2}{110^2} \cdot 17,36 = 4,256 \text{ MW}$$

$$\Delta Q = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U_N^2} \cdot X = \frac{50^2 + 21,61^2}{110^2} \cdot 98,48 = 24,147 \text{ MVAr}$$

Công suất ở đầu tổng trở Z:

$$\bar{S}'_P = \bar{S}_N + (\Delta P + j\Delta Q) = (50 + j21,61) + (4,256 + j24,147) = 54,256 + j45,757 \text{ MVA}$$

Công suất kháng do điện dung ở đầu đường dây:

$$-j\Delta Q_{C1} = -j0,0006 \times (143,3)^2 = -j12,321 \text{ MVAr}$$

Công suất phát:

$$\bar{S}_P = \bar{S}'_P - j\Delta Q_{C1} = 54,256 + j45,757 - j12,321 = 54,256 + j33,436 = 63,73 \angle 31^\circ 6 \text{ MVA}$$

Hệ số công suất đầu phát:  $\cos \varphi_P = \cos 31^\circ 6 = 0,8517$

$$\text{Hiệu suất truyền tải: } \eta = \frac{P_N}{P_P} = \frac{50}{54,256} = 0,922$$

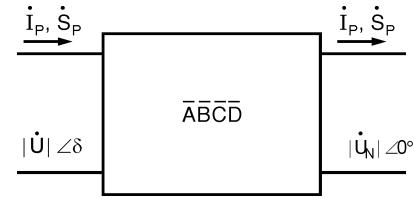
### 3.11 PHƯƠNG TRÌNH CÔNG SUẤT CỦA ĐƯỜNG DÂY

Theo các mục trước, việc vận hành đường dây được biểu diễn theo quan hệ giữa điện áp và dòng điện đầu phát và đầu nhận. Vì phụ tải thường được cho theo công suất tác dụng và phản kháng, điều cần thiết là đưa ra các phương trình tải điện dưới dạng công suất phức ở đầu phát và đầu nhận. Việc khảo sát dòng công suất trong mạng điện sẽ đề cập chi tiết trong chương phân bố công suất, ở đây chỉ trình bày các nguyên tắc của một đường dây tải điện đơn giản.

Chọn vectơ điện áp đầu nhận làm gốc ( $\bar{U}_N = |\bar{U}_N| \angle 0^\circ$ ) là điện áp pha, điện áp đầu phát sớm hơn một góc  $\delta$  ( $\bar{U}_P = |\bar{U}_P| \angle \delta$ ). Góc  $\delta$  còn là góc ngẫu lực khi khảo sát ổn định trong hệ thống.

Công suất phức  $\bar{S}_N$  rời khỏi ở đầu nhận và  $\bar{S}_P$  đi vào ở đầu phát được tính cho một pha (hay trong đơn vị tương đối) cho bởi:

$$\bar{S}_N = P_N + jQ_N = \bar{U}_N \bar{I}_N^* \quad (3.98)$$



Hình 3.24.

$$\underline{S}_P = P_P + jQ_P = \underline{U}_P \underline{I}_P^*$$
 (3.99)

Dòng điện đầu nhận và đầu phát được tính theo điện áp đầu nhận và đầu phát:

$$\underline{I}_N = \frac{1}{\bar{B}} \underline{U}_P - \frac{\bar{A}}{\bar{B}} \underline{U}_N$$
 (3.100)

$$\underline{I}_P = \frac{\bar{D}}{\bar{B}} \underline{U}_P - \frac{1}{\bar{B}} \underline{U}_N$$
 (3.101)

Các biểu thức trên được suy từ quan hệ:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_P \\ \underline{I}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_N \\ \underline{I}_N \end{bmatrix} \quad \text{và} \quad \begin{bmatrix} \underline{U}_N \\ \underline{I}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{D} & -\bar{B} \\ -\bar{C} & \bar{A} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_P \\ \underline{I}_P \end{bmatrix}$$
 (3.102)

với  $\bar{A}\bar{D} - \bar{B}\bar{C} = 1$  và  $\bar{A} = \bar{D}$  đối với đường dây đồng nhất.

Giả thiết đường dây đồng nhất, gọi  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{D}$  là các hằng số của đường dây với:

$$\bar{A} = |\bar{A}| \angle \alpha \quad \bar{B} = |\bar{B}| \angle \beta \quad \bar{D} = |\bar{D}| \angle \xi = |\bar{D}| \angle \alpha$$

$$\text{Do đó có thể viết: } \underline{I}_N = \frac{1}{|\bar{B}|} |\underline{U}_P| \angle (\delta - \beta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_N| \angle (\alpha - \beta)$$
 (3.103)

$$\underline{I}_P = \frac{|\bar{D}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_P| \angle (\alpha + \delta - \beta) - \frac{1}{|\bar{B}|} |\underline{U}_N| \angle -\beta$$
 (3.104)

Thay vào phương trình công suất:

$$\begin{aligned} \underline{S}_N &= |\underline{U}_N| \angle 0^\circ \cdot \left[ \frac{1}{|\bar{B}|} |\underline{U}_P| \angle (\delta - \beta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_N| \angle (\alpha - \beta) \right]^* \\ \underline{S}_N &= \frac{|\underline{U}_P| |\underline{U}_N|}{|\bar{B}|} \angle (\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_N|^2 \angle (\beta - \alpha) \end{aligned}$$
 (3.105)

$$\text{Tương tự: } \underline{S}_P = \frac{|\bar{D}|}{|\bar{B}|} U_P^2 \angle (\beta - \alpha) - \frac{|\underline{U}_P| |\underline{U}_N|}{|\bar{B}|} \angle (\beta + \delta)$$
 (3.106)

Nếu  $|\underline{U}_P|$  và  $|\underline{U}_N|$  là điện áp dây (kV) thì công suất là công suất ba pha (MVA)

Suy ra công suất tác dụng và công suất phản kháng:

$$P_N = \frac{|\underline{U}_P| |\underline{U}_N|}{|\bar{B}|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_N|^2 \cos(\beta - \alpha)$$
 (3.107)

$$Q_N = \frac{|\underline{U}_P| |\underline{U}_N|}{|\bar{B}|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_N|^2 \sin(\beta - \alpha)$$
 (3.108)

$$P_P = \frac{|\bar{D}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_P|^2 \cos(\beta - \alpha) - \frac{|\underline{U}_P| |\underline{U}_N|}{|\bar{B}|} \cos(\beta + \delta)$$
 (3.109)

$$Q_P = \frac{|\bar{D}|}{|\bar{B}|} |\underline{U}_P|^2 \sin(\beta - \alpha) - \frac{|\underline{U}_P| |\underline{U}_N|}{|\bar{B}|} \sin(\beta + \delta)$$
 (3.110)

Tổng quát khi  $\bar{A} \neq \bar{D}$ , với  $\bar{D} = |\bar{D}| \angle \xi$

$$P_N = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\bar{U}_N|^2 \cos(\beta - \alpha) \quad (3.111)$$

$$Q_N = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} |\bar{U}_N|^2 \sin(\beta - \alpha) \quad (3.112)$$

$$P_P = \frac{|\bar{D}|}{|\bar{B}|} |\bar{U}_P|^2 \cos(\beta - \xi) - \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} \cos(\beta + \delta) \quad (3.113)$$

$$Q_P = \frac{|\bar{D}|}{|\bar{B}|} |\bar{U}_P|^2 \sin(\beta - \xi) - \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} \sin(\beta + \delta) \quad (3.114)$$

Dễ dàng thấy rằng công suất nhận được ở đầu nhận lớn nhất khi  $\beta = \delta$ , khi đó:

$$P_{N(\max)} = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} - \frac{|\bar{A}| |\bar{U}_N|^2}{|\bar{B}|} \cos(\beta - \alpha) \quad (3.115)$$

Ứng với công suất kháng ở đầu nhận:

$$Q_N = -\frac{|\bar{A}| |\bar{U}_N|^2}{|\bar{B}|} \sin(\beta - \alpha) < 0 \quad (3.116)$$

Do đó phụ tải tổng hợp ở đầu nhận phải có tính dung để có thể nhận được công suất tác dụng lớn nhất.

Xét trường hợp đặc biệt của đường dây ngắn với tổng trở nối tiếp là  $Z$ . Các hằng số mạch là:

$$\bar{A} = \bar{D} = 1 \angle 0^\circ ; \quad \bar{B} = \bar{Z} = |\bar{Z}| \angle \theta.$$

Khi đó các phương trình công suất đầu nhận trở thành:

$$P_N = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{Z}|} \cos(\theta - \delta) - \frac{|\bar{U}_N|^2}{|\bar{Z}|} \cos \theta \quad (3.117)$$

$$Q_N = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{Z}|} \sin(\theta - \delta) - \frac{|\bar{U}_N|^2}{|\bar{Z}|} \sin \theta \quad (3.118)$$

Phương trình công suất đầu phát:

$$P_P = \frac{|\bar{U}_P|^2}{|\bar{Z}|} \cos \theta - \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{Z}|} \cos(\theta + \delta) \quad (3.119)$$

$$Q_P = \frac{|\bar{U}_P|^2}{|\bar{Z}|} \sin \theta - \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{Z}|} \sin(\theta + \delta) \quad (3.120)$$

Công suất lớn nhất nhận được ở đầu nhận khi  $\theta = \delta$ :

$$P_{N(\max)} = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{Z}|} - \frac{|\bar{U}_N|^2}{|\bar{Z}|} \cos \theta \quad (3.121)$$

$$\text{vì } \cos \theta = R/|Z| \text{ nên: } P_{N(\max)} = \frac{|\bar{U}_P| |\bar{U}_N|}{|\bar{Z}|} - \frac{|\bar{U}_N|^2}{|\bar{Z}|^2} R \quad (3.122)$$

Đối với đường dây tải điện cao áp, điện trở nhỏ hơn so với cảm kháng nhằm duy trì một hiệu suất truyền tải cao, khi đó  $\theta = \arctg(X/R) \approx 90^\circ$ . Với giả thiết này, công suất đầu nhận được viết đơn giản như sau:

$$P_N = \frac{|U_P| |U_N|}{X} \sin \delta \quad (3.123)$$

$$Q_N = \frac{|U_P| |U_N|}{X} \cos \delta - \frac{|U_N|^2}{X} \quad (3.124)$$

Phương trình cho  $Q_N$  còn đơn giản hơn nữa bằng cách giả thiết  $\cos \delta \approx 1$  vì góc  $\delta$  thường nhỏ, như vậy:

$$Q_N = \frac{|U_N|}{X} (|U_P| - |U_N|) \quad (3.125)$$

Đặt  $|U_P| - |U_N| = \Delta U$  là sụt áp đường dây:

$$Q_N = \frac{|U_N|}{X} \cdot \Delta U \quad (3.126)$$

Từ các phương trình trên có các kết luận sau:

1- Đối với  $R \approx 0$ , công suất tác dụng truyền tải đến đầu nhận tỷ lệ với  $\sin \delta$  ( $\approx \delta$  radian với góc  $\delta$  nhỏ), trong khi công suất phản kháng tỷ lệ với độ sụt áp đường dây.

2- Đối với  $R \approx 0$ , công suất tác dụng lớn nhất ở đầu nhận khi  $\delta = 90^\circ$  và bằng  $|U_P| |U_N| / X$ . Góc  $\delta$  được giới hạn thấp hơn  $90^\circ$  vì lý do ổn định.

3- Công suất cực đại truyền tải qua đường dây (với  $X$  cố định) có thể được nâng cao bằng cách nâng cao cấp điện áp tải điện. Đối với đường dây tải điện đi xa, cấp điện áp không thể nâng quá cao ngoài giới hạn cho phép của kỹ thuật hiện tại, để tăng công suất truyền tải trong trường hợp như vậy chỉ có cách là giảm điện kháng của đường dây bằng cách đặt tụ bù dọc, dùng đường dây nhiều mạch song song, dây dẫn phân pha ở đường dây siêu cao áp.

4- Như đã nói, công suất phản kháng cung cấp bởi đường dây tỷ lệ với sụt áp đường dây và gần như độc lập với góc  $\delta$ . Do đó khi yêu cầu về công suất kháng của phụ tải lớn, sụt áp đường dây sẽ nặng nề. Để duy trì sụt áp trong giới hạn, yêu cầu về công suất kháng của phụ tải phải được đáp ứng tại chỗ bằng cách dùng thiết bị phát công suất kháng như máy bù, tụ điện.

**Ví dụ 3.9:** Một đường dây truyền tải 275 kV có các hằng số sau:

$$A = 0,85 \angle 5^\circ ; B = 200 \angle 75^\circ \Omega$$

a) Công suất ở hệ số công suất bằng đơn vị có thể nhận được ở đầu nhận nếu điện áp ở hai đầu được giữ bằng 275 kV.

b) Loại và công suất của thiết bị bù được yêu cầu nếu phụ tải bằng 150 MW ở hệ số công suất bằng đơn vị và điện áp ở hai đầu được duy trì như trong a).

c) Với phụ tải như trong b), tìm điện áp ở đầu nhận nếu không đặt thiết bị bù.

**Giải**

a) Cho  $|U_P| = |U_N| = 275$  kV;  $\alpha = 5^\circ$ ,  $\beta = 75^\circ$ . Vì hệ số công suất đầu nhận bằng 1 nên  $Q_N = 0$ .

Thay các trị số này vào phương trình (3.108), có được:

$$0 = \frac{275 \times 275}{200} \sin(75^\circ - \delta) - \frac{0,85}{200} \cdot 275^2 \cdot \sin(75^\circ - 5^\circ)$$

$$0 = 378 \sin(75^\circ - \delta) - 302$$

Suy ra:  $\delta = 22^\circ$

Từ phương trình (3.107):

$$P_N = \frac{275 \times 275}{200} \cos(75^\circ - 22^\circ) - \frac{0,85}{200} \cdot 275^2 \cdot \cos 70^\circ = 227,6 - 109,9 = 117,7 \text{ MW}$$

b) Nếu vẫn duy trì  $|U_P| = |U_N| = 275 \text{ kV}$ . Phụ tải có công suất  $P_t = 150 \text{ MW} \cos\phi_t = 1$ :

$$P_t = P_N = 150 \text{ MW} ; Q_t = 0$$

Từ phương trình (3.107):

$$150 = \frac{275 \times 275}{200} \cos(75^\circ - \delta) - \frac{0,85}{200} \cdot 275^2 \cos 70^\circ$$

$$150 = 378 \cdot \cos(75^\circ - \delta) - 110$$

$$\text{Suy ra: } \delta = 28,46^\circ$$

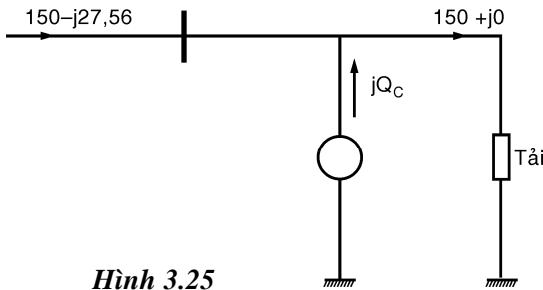
Từ phương trình (3.108):

$$Q_N = \frac{275 \times 275}{200} \sin(75^\circ - 28,46^\circ) - \frac{0,85}{200} \cdot 275^2 \cdot \sin 70^\circ = 274,46 - 302 = -27,56 \text{ MVAr}$$

Như vậy, để duy trì điện áp 275 kV ở đầu nhận,  $Q_N = -27,56 \text{ MVAr}$  phải được lấy ra từ đầu nhận cùng với công suất tác dụng  $P_N = 150 \text{ MW}$ . Phụ tải có công suất 150 MW ở hệ số công suất  $\cos\phi_t = 1$ , nghĩa là  $Q_t = 0$ , do đó phải đặt thiết bị bù công suất kháng ở đầu nhận. Với chiều công suất qui ước trong H.3.25:

$$-27,6 + Q_C = 0$$

$$Q_C = +27,56 \text{ MVAr}$$



Hình 3.25

Thiết bị bù phải cung cấp công suất kháng vào đường dây và đây là tụ bù tĩnh hay máy bù đồng bộ quá kích thích.

c) Vì không đặt thiết bị bù nén:

$$P_N = 150 \text{ MW} ; Q_N = 0$$

Bây giờ với  $|U_P| = 275 \text{ kV}$ , thử tìm  $|U_N|$

Thay số liệu này vào pt (3.107) và (3.108), có được:

$$150 = \frac{275 \cdot |U_N|}{200} \cos(75^\circ - \delta) - \frac{0,85}{200} |U_N|^2 \cos 70^\circ \quad (\text{i})$$

$$0 = \frac{275 \cdot |U_N|}{200} \sin(75^\circ - \delta) - \frac{0,85}{200} |U_N|^2 \sin 70^\circ \quad (\text{ii})$$

từ pt. (ii), có được:  $\sin(75^\circ - \delta) = 0,0029 |U_N|$

$$\text{Suy ra } \cos(75^\circ - \delta) = \sqrt{1 - 0,0029^2 |U_N|^2}$$

$$\text{Thay vào pt (i), có được: } 150 = 1,375 |U_N| \sqrt{1 - 0,0029^2 |U_N|^2} - 0,00145 |U_N|^2$$

Giải phương trình trùng phương và chọn nghiệm có trị số lớn, có được:

$$|U_N| = 244,9 \text{ kV}$$

### BÀI TẬP CHƯƠNG 3

**3.1.** Một đường dây trên không ba pha có điện trở  $2 \Omega$  mỗi pha và cảm kháng  $6 \Omega$ . Phụ tải  $10000 \text{ kW}$  ở hệ số công suất  $0,8$  trẽ, điện áp đầu nhận  $22 \text{ kV}$ . Tìm điện áp đầu phát.

*ĐS: 25 kV*

- 3.2.** Một phụ tải 2500 kVA, điện áp 11 kV, hệ số công suất 0,8 trễ, được cung cấp bằng một đường dây tải điện có điện trở  $3 \Omega$  và cảm kháng  $6 \Omega$  trên mỗi dây dẫn. Xác định: a) phần trăm sụt áp; b) hệ số công suất đầu phát; c) Hiệu suất tải điện của đường dây trong hai trường hợp i) đường dây một pha ii) đường dây ba pha.

*ĐS: i) a) 25,4% b) 0,737 trễ c) 86,6% ii) a) 12,7% b) 0,765 trễ c) 92,9%*

- 3.3.** Một đường dây truyền tải ba pha, dài 8 km, cung cấp cho phụ tải 6000 kW, điện áp đầu nhận 33 kV; cảm kháng mỗi pha của đường dây là  $1 \Omega/\text{km}$ , hệ số công suất đầu nhận 0,8 trễ. Nếu điện áp đầu phát được duy trì ở 34,7 kV. Tìm a) đường kính dây (dùng dây đồng) b) hiệu suất tải điện c) Hệ số công suất đầu phát. Cho điện trở suất của đồng là  $1,7 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ .

*ĐS: a) 0,728 cm b) 97,26% c) 0,78 trễ*

- 3.4.** Điện áp đầu phát của một đường dây ngắn ba pha là 13,2 kV. Phụ tải ở đầu nhận là 6000 kVA ở hệ số công suất 0,8 trễ. Tổng trở mỗi pha của đường dây là  $(2 + j6) \Omega$ . Tìm: a) điện áp đầu nhận b) Hiệu suất tải điện.

*ĐS: a) 10,1 kV b) 87,2%*

- 3.5.** Một đường dây truyền tải 33 kV được nối với hai máy biến áp (tăng áp và giảm áp) giống nhau ở hai đầu, tỷ số biến áp 1/5. Phụ tải 6600 kW ở hệ số công suất bằng 1 và điện áp là 6,6 kV ở thanh cái hạ áp đầu nhận. Tổng trở mỗi pha của đường dây tải điện là  $(2 + j5) \Omega$  và tổng trở mỗi máy biến áp qui về cao áp là  $(1 + j20) \Omega$ . Bỏ qua dòng điện từ hóa trong máy biến áp và điện dung đường dây. Tìm a) Điện áp thanh cái máy phát b) Hệ số công suất máy phát.

*ĐS: a) 7 kV b) 0,966 trễ*

- 3.6.** Một đường dây ngắn ba pha có tổng trở mỗi pha đường dây  $(2 + j4) \Omega$  có điện áp hai đầu bằng nhau 115 kV cung cấp cho phụ tải ở hệ số công suất 0,8 sớm. Tìm công suất cung cấp bởi đường dây.

*ĐS: 845,96 MW*

- 3.7.** Một phụ tải ba pha 20 MW, hệ số công suất 0,866 trễ, được cung cấp bởi đường dây truyền tải ở điện áp 138 kV. Nếu tổn thất công suất tác dụng trên đường dây không vượt quá 5% công suất của phụ tải và nếu điện trở mỗi pha đường dây là  $0,7 \Omega/\text{km}$ , tìm chiều dài đường dây.

*ĐS: 51 km*

- 3.8.** Một đường dây truyền tải ba pha 345 kV, 60 Hz, dài 150 km, điện trở mỗi pha  $0,1 \Omega/\text{km}$ , điện cảm  $1,1 \text{ mH/km}$ , điện dung  $0,02 \mu\text{F/km}$ . Dùng mạch  $\pi$  chuẩn, tìm điện áp đầu phát. Biết rằng đường dây cung cấp cho phụ tải đầu nhận 180 MW, hệ số công suất 0,9 trễ ở 345 kV.

*ĐS: 357,8 kV*

- 3.9.** Một đường dây truyền tải ba pha 230 kV, tổng trở nối tiếp mỗi pha đường dây  $\bar{z} = (0,05 + j0,45) \Omega/\text{km}$ , dung dẫn mỗi pha  $\bar{y} = j3,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1}/\Omega\cdot\text{km}$ . Đường dây dài 80 km. Dùng mạch  $\pi$ -chuẩn, tìm:

a) Hằng số mạch ABCD

Tìm điện áp và dòng điện đầu phát, phần trăm sụt áp và hiệu suất tải điện khi đường dây cung cấp cho tải ở đầu nhận:

- b) 200 MVA, hệ số công suất 0,8 trễ ở 220 kV;
- c) 306 MW, hệ số công suất bằng 1 ở 220 kV.

$$\text{ĐS: } a) A = D = 0,9951 + j0,000544, B = 4 + j36 \Omega, C = j0,0002713 \text{ } 1/\Omega$$

$$b) 242,67 \text{ kV} ; 502,38 \angle -33,69^\circ \text{ A} ; 10,847\% ; 163,18 + j134,02 \text{ MVA} ; 98,052\%$$

$$c) 230,03 \text{ kV} ; 799,86 \angle 2,5^\circ \text{ A} ; 5,073\% ; 313,74 + j55,9 \text{ MVA} ; 97,53\%$$

**3.10.** Một đường dây ngắn ba pha 69 kV, dài 16 km. Đường dây có tổng trở  $0,125 + j0,4375 \Omega/\text{km}$ . Tìm điện áp đầu phát, phần trăm sụt áp, công suất đầu phát, hiệu suất tải điện khi đường dây cung cấp cho đầu nhận:

- a) 70 MVA, hệ số công suất 0,8 ở 64 kV;
- b) 120 MVA, hệ số công suất bằng 1 ở 64 kV.

$$\text{ĐS: } a) 70,508 \text{ kV} ; 10,17\% ; 58,39 + j50,37 \text{ MVA} ; 95,9\%$$

$$b) 69 \text{ kV} ; 7,83\% ; 127 + j24,61 \text{ MVA} ; 94,465\%$$

**3.11.** Tụ bù ngang được đặt ở đầu nhận để cải thiện đặc tính vận hành của đường dây trong bài tập 3.10. Đường dây cung cấp cho phụ tải ở đầu nhận 70 MVA ở hệ số công suất 0,8 trễ, điện áp 64 kV. Tìm công suất tụ bù khi điện áp đầu phát bằng: a) 69 kV; b) 64 kV

$$\text{ĐS: } a) 14,117 \text{ MVA} ; b) 61,24 \text{ MVA}$$

**3.12.** Một đường dây ba pha, 345 kV, 60 Hz có hoán vị, mỗi pha là dây chùm gồm hai dây ACSR 1.113.000 CM ( $\approx 550 \text{ mm}^2$ ) mã hiệu Bluejay 45/7 đặt nằm ngang, ba pha đặt trên mặt phẳng ngang khoảng cách giữa hai pha kế cận là 11 m. Dây dẫn có đường kính 3,195 cm và bán kính trung bình hình học (bán kính tự thân) 1,268 cm, khoảng cách giữa hai dây của dây chùm là 45 cm. Điện trở mỗi dây dẫn của dây chùm là  $0,0538 \Omega/\text{km}$ , bỏ qua điện dẫn rò của đường dây, đường dây dài 150 km. Dùng mạch  $\pi$ -chuẩn tương đương của đường dây, xác định các hằng số ABCD của đường dây

$$\text{ĐS: } A = D = 0,98182 + j0,0012447 ; B = 4,035 + j58,947 \Omega ; C = j0,00061137 \text{ } 1/\Omega$$

**3.13.** Một đường dây ba pha 765 kV, 60 Hz, hoán vị đầy đủ. Mỗi pha là dây chùm gồm bốn dây ACSR 1.431.000 CM, 45/7 Bolink. Ba pha bố trí trên mặt phẳng ngang, khoảng cách giữa hai pha kế cận là 14 m. Dây dẫn có đường kính 3,625 cm, bán kính trung bình hình học 1,439 cm. Dây chùm bố trí theo hình vuông cạnh 45 cm. Đường dây dài 400 km. Giả thiết đường dây không tổn hao.

a) Tìm tổng trở xung (tổng trở đặc tính)  $Z_c$  của đường dây, hằng số pha  $v$ , độ dài sóng  $\lambda$ , phụ tải tổng trở xung (công suất tự nhiên) SIL, và hằng số ABCD.

b) Đường dây cung cấp cho phụ tải 2000 MVA, hệ số công suất 0,8 trễ ở 735 kV. Xác định các đại lượng đầu phát và phần trăm sụt áp.

c) Xác định các đại lượng ở đầu nhận khi đường dây tải từ đầu phát 1920 MW và 600 MVA ở điện áp đầu phát bằng 765 kV.

d) Đường dây được tận cùng bởi một phụ tải thuần trở. Xác định các đại lượng đầu phát và phần trăm sụt áp khi điện trở phụ tải đầu nhận là  $264,5 \Omega$  và điện áp đầu nhận là 735 kV.

$$\text{ĐS: } a) 264,702 \Omega ; vl = 29^\circ ; 4965,2 \text{ km} ; 2210,88 \text{ MW} ; 0,8746 ; j128,34 \Omega ; j0,0018316 \text{ } 1/\Omega$$

$$b) 896,982 \text{ kV} ; 1100,23 \angle -2,456^\circ \text{ A} ; 1600 + j601,508 \text{ MVA} ; 39,536\%$$

$$c) 653,33 \text{ kV} ; 1748,78 \angle -43,556^\circ \text{ A} ; 1920 + j479,33 \text{ MVA} ; 33,88\%$$

d)  $735,13 \text{ kV} ; 1604,07 \angle 28,98^\circ \text{ A} ; 2042,44 + j1,32 \text{ MVA} ; 14,358\%$

**3.14.** Đường dây trong bài tập 3.13. vận hành với điện áp đầu phát là  $765 \text{ kV}$  khi phụ tải ở đầu nhận được cắt ra (đường dây trở nên không tải). Tìm:

a) Điện áp đầu nhận;

b) Điện kháng và công suất kháng  $\text{MVar}$  của cuộn kháng bù ngang đặt ở đầu nhận để duy trì điện áp không tải ở đầu nhận bằng  $735 \text{ kV}$ .

*ĐS: a)  $874,68 \text{ kV}$  b)  $772,13 \Omega$  ;  $699,658 \text{ MVar}$*

**3.15.** Một bộ tụ bù ngang được đặt ở đầu nhận của đường dây trong bài tập 3.13 để cải thiện đặc tính vận hành. Đường dây cung cấp cho phụ tải đầu nhận  $2000 \text{ MVA}$ , hệ số công suất  $0,8$  trễ. Xác định tổng công suất  $\text{MVar}$  của bộ tụ bù mắc Y và điện dung mỗi pha để duy trì điện áp đầu nhận ở  $735 \text{ kV}$  khi điện áp đầu phát là  $765 \text{ kV}$ .

Tìm các đại lượng đầu phát và phần trăm sụt áp (phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận) khi đường dây được bù ngang.

*ĐS:  $802,95 \text{ MVar}$  ;  $3,943 \mu\text{F}$  ;  $1209,46 \angle 24,653^\circ \text{ A}$  ;  $1600 - j90,38 \text{ MVA}$  ;  $19\%$*

**3.16.** Tụ bù dọc đặt nối tiếp ở khoảng giữa của đường dây bài tập 3.13. với độ bù dọc  $40\%$ . Xác định các đại lượng đầu phát và độ sụt áp đường dây (phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận) khi đường dây cung cấp cho phụ tải đầu nhận  $2000 \text{ MVA}$ , hệ số công suất  $0,8$  trễ ở  $735 \text{ kV}$ .

*ĐS:  $822,65 \text{ kV}$  ;  $1164 \angle -3,62^\circ \text{ A}$  ;  $1600 + j440,24 \text{ MVA}$  ;  $21,026\%$*

**3.17.** Tụ bù dọc đặt nối tiếp ở khoảng giữa đường dây bài tập 3.13. với độ bù dọc  $40\%$ . Thêm vào đó tụ bù ngang được đặt ở đầu nhận. Đường dây cung cấp cho phụ tải ở đầu nhận  $2000 \text{ MVA}$ , hệ số công suất  $0,8$  trễ. Xác định công suất kháng và điện dung mỗi pha của tụ bù dọc và bù ngang để giữ cho điện áp đầu nhận  $735 \text{ kV}$  và điện áp đầu phát  $765 \text{ kV}$ . Tìm các đại lượng đầu phát và phần trăm sụt áp của đường dây (phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận) sau khi bù.

*ĐS:  $81,464 \text{ MVar}$  ;  $51,65 \mu\text{F}$  ;  $563,25 \text{ MVar}$  ;  $2,765 \mu\text{F}$  ;  $765 \text{ kV}$  ;  $1209,72 \angle 16,1^\circ \text{ A}$  ;  $1600 - j96,32 \text{ MVA}$  ;  $12,55\%$*

**3.18.** Hằng số ABCD của đường dây truyền tải ba pha,  $500 \text{ kV}$  là:

$$A = D = 0,86 + j0 \quad B = 0 + j130,2 \quad C = j0,002$$

a) Xác định các đại lượng đầu phát và sụt áp khi đường dây cung cấp phụ tải  $1000 \text{ MVA}$ , hệ số công suất  $0,8$  trễ ở  $500 \text{ kV}$ .

Để cải thiện vận hành đường dây, tụ bù dọc được đặt ở hai đầu của mỗi pha đường dây. Hằng số mạch của đường dây có bù trở thành:

$$\begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2}jX_C \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2}jX_C \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

trong đó  $X_C$  là tổng dung kháng của tụ bù dọc. Nếu  $X_C = 100 \Omega$

b) Xác định các hằng số ABCD sau khi bù;

c) Xác định các đại lượng đầu phát và sụt áp (phần trăm thay đổi điện áp đầu nhận) khi đường dây cung cấp cho phụ tải  $1000 \text{ MVA}$ , hệ số công suất  $0,8$  trễ ở  $500 \text{ kV}$ .

*ĐS: a)  $622,153 \text{ kV}$  ;  $794,649 \angle -1,33^\circ \text{ A}$  ;  $800 + j305,408 \text{ MVA}$  ;  $44,687\%$*

*b)  $0,96$  ;  $j39,2$  ;  $j0,002$*

*c)  $530,759 \text{ kV}$  ;  $891,142 \angle -5,65^\circ \text{ A}$  ;  $800 + j176,448 \text{ MVA}$  ;  $10,575\%$*

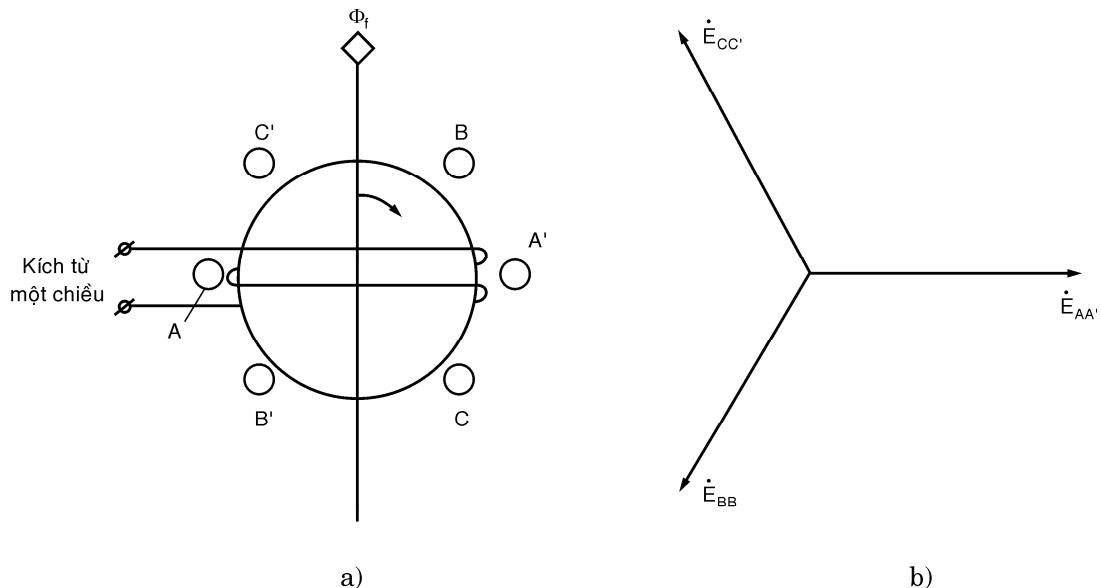
## Chương 4

# BIỂU ĐIỂN CÁC PHẦN TỬ CỦA MẠNG ĐIỆN

Một hệ thống ba pha thường được biểu diễn trên cơ sở một pha. Cách biểu diễn một pha, từ dây pha đến trung tính được dùng đối với hệ thống đối xứng hoặc không đối xứng. Các hệ thống không đối xứng sẽ được khảo sát trong giáo trình ngắn mạch bằng cách phân tích các phần tử mạng điện ra làm các thành phần đối xứng. Trong chương này chỉ khảo sát việc biểu diễn mạng điện trong tình trạng ba pha cân bằng (đối xứng).

### 4.1 BIỂU ĐIỂN MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trong hệ thống điện, máy phát điện đồng bộ được thay thế tương đương bằng một sức điện động nối tiếp với tổng trở đồng bộ.



**Hình 4.1**

Hình 4.1 trình bày một máy phát điện đồng bộ có rôto hình trụ (cực ẩn) với cuộn dây kích thích và cuộn dây ba pha đặt ở stator. Sức điện động hiệu dụng ở mỗi pha bằng:

$$E_{pha} = k \cdot f \cdot \phi_f \quad (4.1)$$

trong đó:  $k$  là hệ số phụ thuộc vào số vòng dây và hệ số dây quấn của dây quấn stator,  $\phi_f$ : từ thông kích thích.

Điện áp các pha A, B và C bằng nhau về biên độ và lệch nhau 120 độ về pha do sự trễ về thời gian để từ thông kích thích  $\phi_f$  lần lượt đi đến các pha A, B và C.

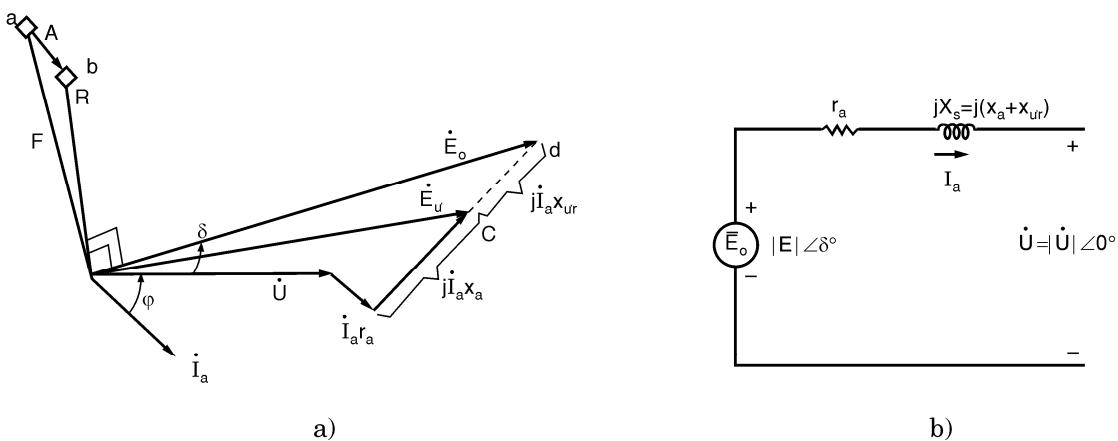
Khi phụ tải cân bằng, dòng điện phụ tải tạo ra trong cuộn dây của phần ứng ba từ thông mà

mật độ đỉnh của các từ thông này tập trung tại trục từ của mỗi cuộn dây pha. Ba từ thông này thuộc loại đập mạch, cách nhau 120° độ điện trong không gian tạo ra một từ trường quay quay cùng vận tốc và cùng chiều với từ trường kích thích của rôto, vận tốc này gọi là vận tốc đồng bộ. Từ thông tạo bởi từ trường quay sẽ tác động lên rôto của máy phát gọi là từ thông phản ứng phần ứng  $\phi_{ur}$ . Lý thuyết máy điện cho biết rằng  $\phi_{ur}$  trợ tử  $\phi_f$  nếu phụ tải có tính thuận dung, khử từ  $\phi_f$  nếu phụ tải tính thuận cảm (cả hai trường hợp gọi là phản ứng dọc trực) hoặc là  $\phi_{ur}$  sẽ vuông góc với  $\phi_f$  nếu phụ tải có hệ số công suất bằng 1.

Sức điện động qua khe hở không khí (khi máy phát mang tải) phụ thuộc vào tất cả các từ thông đi qua khe hở nghĩa là phụ thuộc vào  $\phi_f$  và  $\phi_{ur}$ . Ngoài ra còn có từ thông thứ ba là từ thông tản của phần ứng  $\phi_t$  không mọc vòng qua cuộn kích thích của rôto.

Nếu không xét đến bão hòa từ thì từ thông sẽ tỷ lệ với sức từ động còn sức điện động cảm ứng trễ  $90^\circ$  so với từ thông (theo định luật Lenz).

Tóm lại quan hệ điện áp – sức từ động được trình bày trong H.4.2:



**Hình 4.2:** a) Đồ thị vectơ của máy phát điện đồng bộ rôto cực ẩn  
b) Mạch tương đương của máy phát rôto cực ẩn

Các vectơ sức từ động  $F$ ,  $A$  và  $R$  lần lượt của từ trường kích thích, phản ứng phần ứng và qua khe hở không khí biểu diễn cho vị trí tương đối trong không gian của các từ trường tương ứng.

Điện áp đầu cực  $\dot{U}$  của máy phát bằng sức điện động qua khe hở không khí  $E_u$  trừ cho sụt áp qua cuộn dây phản ứng  $I_a (r_a + jx_a)$  với  $x_a$  là điện kháng tản của phản ứng. Sức từ động tổng hợp  $R = F + A$  vượt trược sức điện động  $E_u$  một góc  $90^\circ$ . Sức từ động phản ứng phản ứng cùng pha với  $I_a$ . Nếu máy phát ở tình trạng không tải ( $I_a = 0$ ) thì chỉ còn sức từ động  $F$  của dòng điện kích thích và có góc pha  $90^\circ$  vượt trược sức điện động hở mạch  $E_0$ . Vectơ  $jI_a x_a + jI_a x_{ur}$  được viết kết hợp lại  $jI_a (x_a + x_{ur}) = jI_a X_S$  trong đó  $X_S$  gọi là điện kháng đồng bộ.

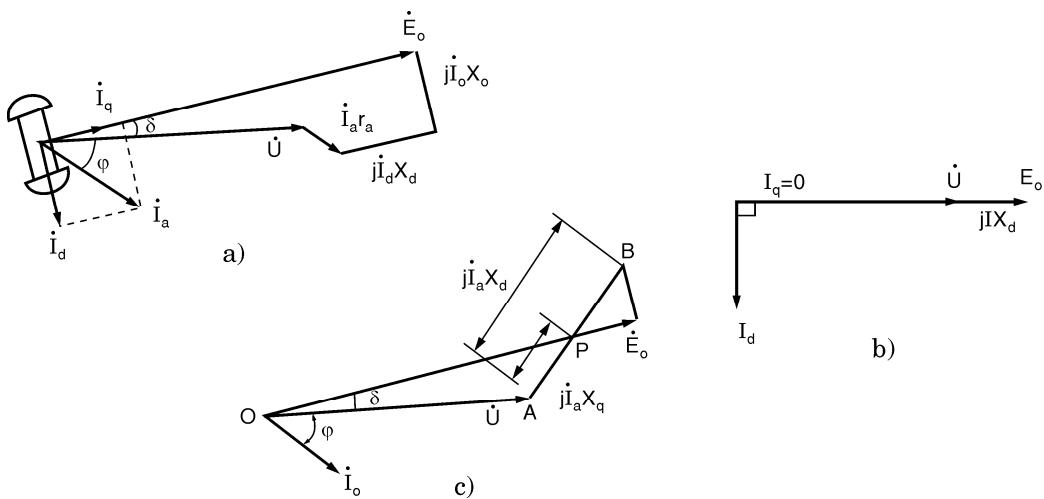
Mạch điện tương đương đơn giản của máy phát điện gồm điện áp hở mạch ( $E_0$ ) nối tiếp với tổng trở đồng bộ  $R_a + jX_S$  (H.4.2b). Tất nhiên  $X_S$  có thể hiệu chỉnh do ảnh hưởng bão hòa từ. Về lý thuyết, sự hiệu chỉnh như thế chỉ được làm tốt nếu như biết rõ chế độ tải vì độ bão hòa thay đổi theo  $\phi_{ur}$  và do đó theo  $I_a$ . Bài này không có ý định bao hàm hết các phương pháp khảo sát điện kháng bão hòa.

Đối với máy phát cực từ lồi việc khảo sát có nhiều phức tạp đáng kể, vì trục dọc và trục

ngang của rôto có từ trở khác nhau (do không đối xứng về hình học) đối với sức từ động của phản ứng phần ứng. Dòng điện phần ứng được phân làm hai thành phần:  $I_q$  cùng pha với sức điện động  $E_0$ ,  $I_d$  vuông góc với  $E_0$ .

Đối với thành phần dòng điện  $I_q$  có hệ số công suất bằng 1 (đối với sức điện động không tải  $E_0$ ) thì từ thông phản ứng phần ứng do thành phần này tạo ra sẽ vuông trực với từ thông kích thích chính và tương ứng với điện kháng vuông trực  $X_q$ .

Tương tự, đối với thành phần dòng điện  $I_d$  có hệ số công suất bằng 0 sớm hoặc trễ thì từ thông phản ứng phần ứng sẽ dọc trực với từ thông kích thích chính và trường hợp này tương ứng với điện kháng dọc trực  $X_d$ .



**Hình 4.3:** (a) Đồ thị vectơ của máy phát điện rôto cực lồi;  
(b) Trường hợp đặc biệt khi hệ số công suất bằng không;  
(c) Cách xây dựng đồ thị vectơ ứng với hình (a).

Hình 4.3a trình bày đồ thị vectơ của máy phát điện đồng bộ cực lồi, xây dựng bằng phương pháp hai điện kháng  $X_d$  và  $X_q$ . Phương pháp hai điện kháng rắc rối hơn điện kháng đồng bộ  $X_s$  trong trường hợp rôto cực ẩn, ở đó:  $X_d = X_q = X_s$ .

Tuy vậy, khi khảo sát ngắn mạch thì đồ thị vectơ cực lồi thu về H.4.3b, lúc này  $I_a$  trễ  $90^\circ$  đối với  $U$ , lý do là dòng điện ngắn mạch trong trường hợp tổng quát đường dây hay máy biến áp ở đó  $X >> R$  làm cho hệ số công suất gần bằng không ( $\varphi \approx 90^\circ$ ) và do đó thành phần  $I_q$  được bỏ qua và xem như chỉ có  $I_d$  tạo ra từ thông phản ứng dọc trực khử từ. Như vậy đối với máy phát điện cực lồi bị ngắn mạch cùng có sơ đồ tương đương với máy phát điện cực ẩn trong đó  $X_s = X_d$ . Ngoài ra  $X_d$  còn có những giá trị khác nhau tùy theo thời gian quá độ tiếp theo sau ngắn mạch.

Đồ thị vectơ H.4.3a vẽ cho máy phát điện cực lồi về cơ bản là đúng nhưng không thể xây dựng trực tiếp nếu như biết  $I_a$ ,  $U$ ,  $r_a$ ,  $X_d$ ,  $X_q$  còn góc  $\delta$  lại chưa biết nên chưa thể phân tích  $\dot{I}_a$  làm hai thành phần  $I_d$ ,  $I_q$  được. Tuy vậy, đồ thị véc tơ có thể được vẽ lần lượt theo các bước sau đây (H.4.3c):

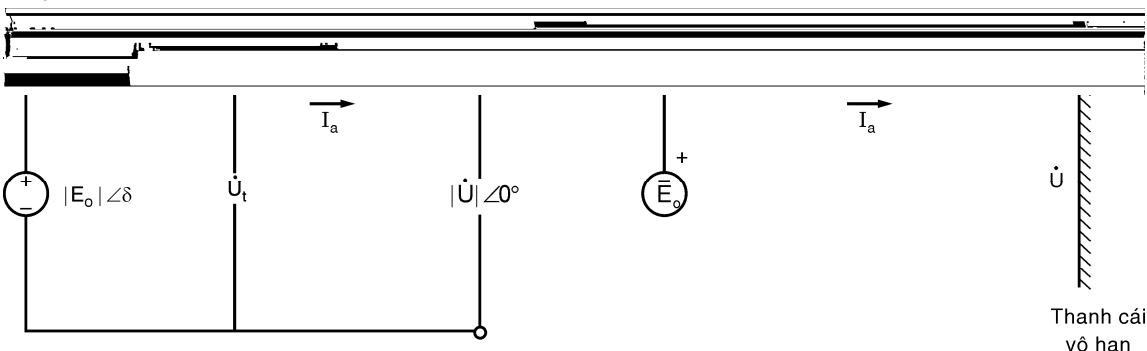
1. Vẽ  $U \angle 0^\circ$  và  $I_a \angle -\varphi$ ;
2. Vẽ  $I_a r_a$ . Vẽ  $j\dot{I}_a X_d$ : đoạn AB  $\perp I_a$  (ở đây bù qua điện trở  $r_a$ );
3. Định điểm P trên AB với  $AP = I_a \cdot X_q$ ;

4. Đường OP là giá của véc tơ  $E_0$ ;
5. Hạ đường thẳng góc từ B xuống OP để định điểm  $E_0$ .

Góc  $\delta$  có ý nghĩa vật lý không những là góc lệch pha giữa điện áp đầu cực U và điện áp hở mạch  $E_0$  (không tải) trên đồ thị vectơ mà còn là góc (gần đúng) giữa trục của rôto với trục từ của từ trường quay đồng bộ với rôto. Góc  $\delta$  sẽ được khảo sát chi tiết hơn trong giáo trình ổn định hệ thống điện.

## 4.2 THANH CÁI VÔ HẠN

Trường hợp thường gặp là máy phát điện đồng bộ ba pha được ghép song song qua điện kháng tương đương  $X_{ht}$  của mạng điện đến thanh cái của hệ thống lớn có công suất vô hạn. Hệ thống vô hạn có khả năng phát hoặc thu công suất một cách vô hạn và được trình bày như một thanh cái vô hạn ở đó tần số và điện áp được xem như không đổi. Sơ đồ tương đương của hệ thống được biểu diễn như sau (H.4.4)



**Hình 4.4:** (a) Mạch tương đương của máy phát nối đến thanh cái vô hạn

(b) Sơ đồ một sợi của hình (a).

Điện trở của máy phát điện và của mạng điện được bỏ qua vì lý do đơn giản mạch điện, điều này còn tùy thuộc vào tỷ số  $X/R$  và tùy thuộc vào loại bài toán. Nếu tính toán phân bố công suất trên mạng điện thì phải kể thêm điện trở, còn tính ngắn mạch thì cho phép bỏ qua điện trở  $R$ . Tổng trở  $X_{ht}$  giữa  $U_t$  và  $U$  gồm đường dây và máy biến áp nối giữa thanh cái vô hạn và đầu cực máy phát điện.

Lý thuyết máy điện chứng minh rằng (đối với máy phát cực ẩn) phương trình công suất thực truyền từ máy phát điện đến thanh cái vô cùng lớn là:

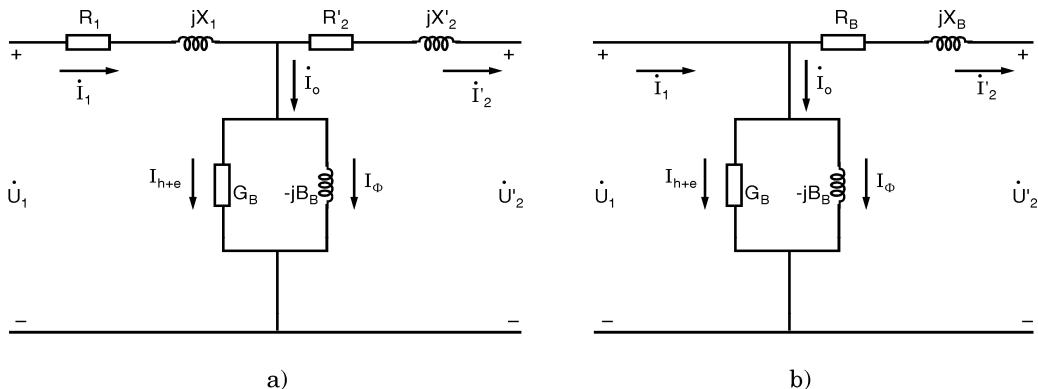
$$P = \frac{|E_0| \cdot |U|}{X_S + X_{ht}} \sin \delta \quad (4.2)$$

## 4.3 BIỂU DIỄN MÁY BIẾN ÁP

### 4.3.1 Sơ đồ thay thế máy biến áp hai dây quấn

Người kỹ sư hệ thống cần làm quen với một số các mạch tương đương của máy biến áp. Trong mục này sẽ trình bày ngắn gọn các mạch tương đương này.

Loại máy biến áp thông dụng nhất là máy biến áp hai dây quấn một pha hoặc ba pha, tất cả đều được biểu diễn trên cơ sở một pha. Sau đây là hai mạch tương đương của máy biến áp.



**Hình 4.5:** (a) Mạch tương đương chính xác của máy biến áp hai dây quấn  
(b) Mạch tương đương gần đúng.

$I_{h+e}$ : dòng điện biểu diễn cho từ trễ và dòng điện xoáy,  $I_\phi$ : dòng điện từ hóa lõi sắt,  $I_o$ : dòng điện không tải

$\dot{U}_1$ : điện áp phía sơ cấp

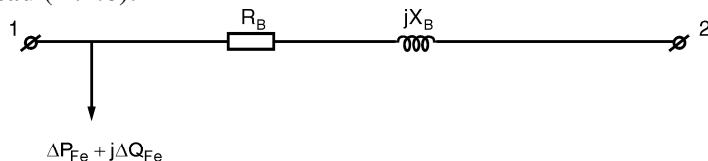
$\dot{U}_2$ : điện áp thứ cấp qui về sơ cấp.

Hình 4.5a là mạch tương đương chính xác với tổng trở thứ cấp qui về sơ cấp. Tổng trở biểu kiến của cuộn dây thứ cấp qui về phía sơ cấp là  $Z'_2 = Z_2 \times (N_1/N_2)^2$ , với  $N_1, N_2$  lần lượt là số vòng của cuộn sơ và thứ cấp.

Hình 4.5b là mạch tương đương gần đúng với nhánh từ hóa tập trung về bên trái của sơ đồ. Sự gần đúng này dựa trên sự kiện dòng không tải  $I_o$  nhỏ hơn so với dòng điện phụ tải và sự di chuyển về bên trái của nhánh này ít ảnh hưởng đến sụt áp  $IZ_B$  của nhánh nối tiếp. Nhánh nối tiếp được tập trung chung lại trong H.4.5b.

$$Z_B = Z_1 + (N_1/N_2)^2 \cdot Z_2 = Z_1 + Z'_2 \quad (4.3)$$

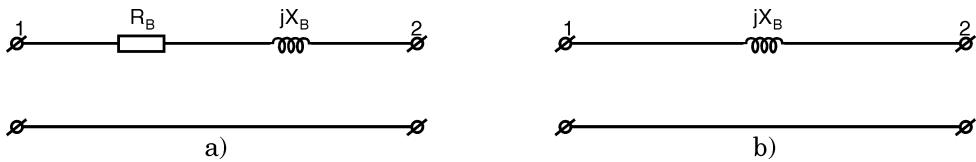
Vì tổn thất công suất tác dụng và công suất phản kháng trong lõi sắt máy biến áp gần như không đổi, tuy rằng khi điện áp thay đổi quanh trị số định mức thì mức độ bão hòa cũng có ảnh hưởng, có thể vẽ sơ đồ thay thế trong đó nhánh từ hóa được biểu diễn bởi tổn thất công suất trong lõi sắt như sau (H.4.6):



**Hình 4.6**

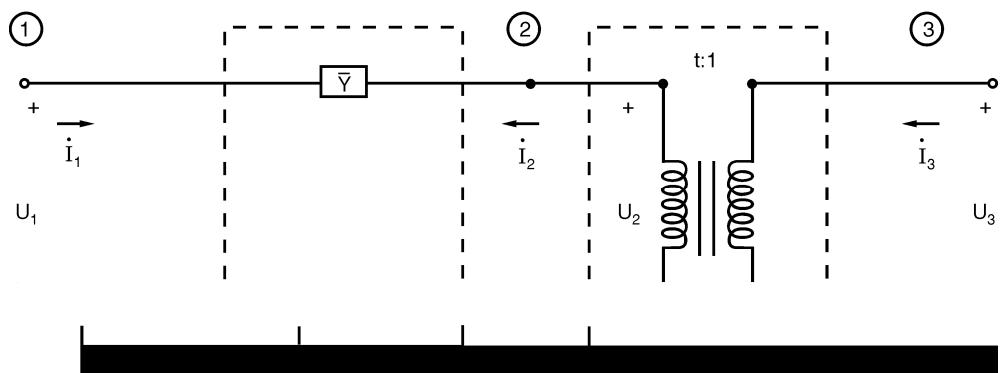
Còn có những mạch gần đúng khác nữa của máy biến áp vì nhánh từ hóa mang dòng điện nhỏ nên có thể bỏ qua nhánh từ hóa trong mạch tương đương gần đúng đặc biệt trong các máy biến áp của mạng phân phối (H.4.7a).

Với máy biến áp điện lực công suất lớn  $X_B \gg R_B$  nên mạch gần đúng loại bỏ luôn  $R_B$  và máy biến áp chỉ được biểu diễn bằng điện kháng  $X_B$ , mạch tương đương này được áp dụng trong khảo sát ngắn mạch (H.4.7b).



**Hình 4.7:** Sơ đồ thay thế gần đúng của máy biến áp

Trong khảo sát phân bố công suất và điều chỉnh điện áp máy biến áp cần được biểu diễn thích hợp hơn. Máy biến áp được biểu diễn trong đơn vị tương đối trên cơ bản định mức của hệ thống (xem phần nói về đơn vị tương đối). Mặt khác, máy biến áp khi vận hành lại được chỉnh định đầu phân áp khác với định mức do nhu cầu điều chỉnh điện áp. Trong trường hợp này việc chỉnh đầu phân áp tăng hay giảm đều có ảnh hưởng đến điện kháng của máy biến áp. Nhắc lại rằng mô hình của máy biến áp được biểu diễn bằng một nhánh tổng trở nối tiếp đơn giản, nhưng để xét ảnh hưởng của đầu phân áp mô hình mới được đưa ra có dạng hình  $\Pi$ . Xét một máy biến áp chỉnh định đầu phân áp khác với định mức, trong hệ đơn vị tương đối tỷ số biến áp được coi là 1:1 nếu tỷ số này bằng với tỷ số điện áp định mức của hệ thống trong đơn vị tương đối. Mặt khác để đi đến sơ đồ tương đương, máy biến áp được xem như gồm hai mạng hai cửa ghép nối tiếp (H.4.8).



**Hình 4.8:** Sơ đồ máy biến áp gồm hai mạng hai cửa mắc nối tiếp

Phương trình nút đối với mạng hai cửa giữa nút 1 và nút 2 là:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y} & -\bar{Y} \\ -\bar{Y} & \bar{Y} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

với  $\bar{Y} = 1/\bar{Z}_B$ ,  $\bar{Z}_B = R_B + jX_B$

Mạng hai cửa thứ hai ở bên phải của hình vẽ là một máy biến áp lý tưởng. Trong hệ đơn vị tương đối, tỷ số của máy biến áp này là tỷ số của hai đại lượng trong đơn vị tương đối, trong đó các điện áp danh định ghi trên nhãn máy tính theo % của điện áp định mức trong hệ thống. Tỷ số của máy biến áp lý tưởng cho bởi:

$$t = \frac{\%U_2 \text{ trên nhän máy}}{\%U_3 \text{ trên nhän máy}} \quad (4.5)$$

Ví dụ: % $U_3$  trên nhãn máy =  $\frac{\text{điện áp danh định trên nhãn máy phia thứ cấp}}{\text{điện áp định mức của hệ thống phia thứ cấp}}$

Điện áp và dòng điện của mạng hai cửa bên trái được biểu diễn theo điện áp và dòng ở hai đầu 1 và 3 như sau:

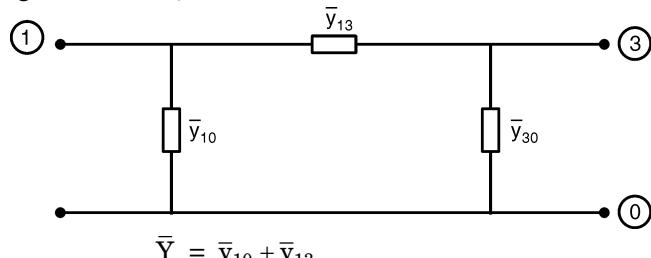
$$\begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_3 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

và:  $\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} \quad (4.7)$

từ đó:  $\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{Y} & -\bar{Y} \\ -\bar{Y} & \bar{Y} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_3 \end{bmatrix} \quad (4.8)$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{Y} & -\bar{Y} \\ -\bar{Y} & \bar{Y} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y} & -\bar{Y}t \\ -\bar{Y}t & \bar{Y}t^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_3 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Nhắc lại rằng theo cơ sở lý thuyết mạch, ma trận tổng dẫn trong phương trình trên có các phần tử trên đường chéo chính  $\bar{Y}$  và  $\bar{Y}t^2$  là tổng của các tổng dẫn lần lượt có nối đến các nút 1 và 3, còn các phần tử ngoài đường chéo tương ứng với tổng dẫn giữa nút 1 và 3 được đổi dấu. Các giá trị trong sơ đồ  $\Pi$  được tính như sau:



$$\bar{Y} = \bar{y}_{10} + \bar{y}_{13}$$

$$\bar{Y}t^2 = \bar{y}_{30} + \bar{y}_{13}$$

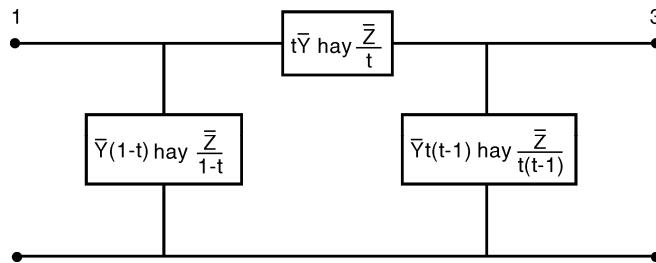
trong đó:  $\bar{y}_{13} = \bar{Y}t$  (quan sát trên ma trận)

Suy ra:  $\bar{y}_{10} = \bar{Y} - \bar{Y}t = \bar{Y}(1-t) \quad (4.10)$

$$\bar{y}_{30} = \bar{Y}t^2 - \bar{Y}t$$

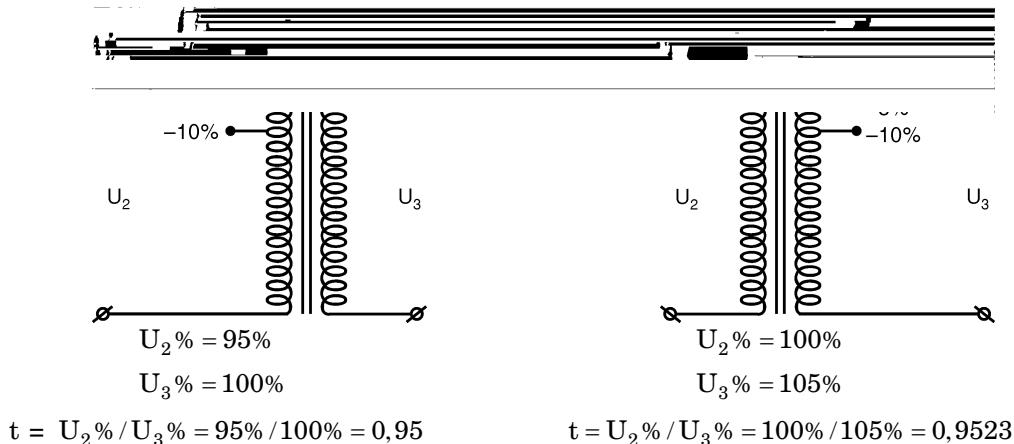
$$\bar{y}_{30} = \bar{Y}t(t-1) \quad (4.11)$$

Mạch  $\Pi$  tương đương đối với máy biến áp có tỷ số vòng khác với định mức có dạng như trong H.4.9.

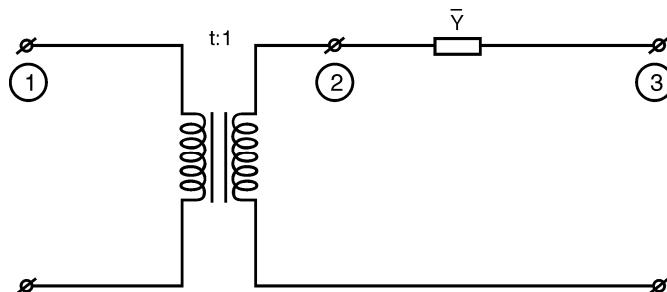


Hình 4.9

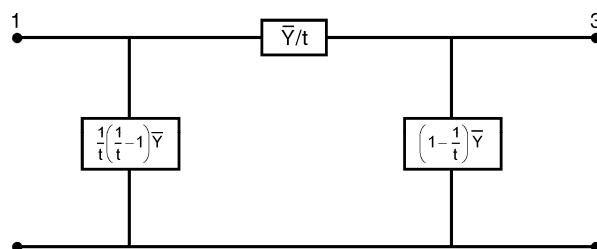
**Ví dụ 4.1:** Điện áp phía sơ cấp giảm 5% so với định mức, muốn cho điện áp phía thứ cấp vẫn giữ ở định mức dùng đầu phân áp -5% (giảm số vòng phía sơ cấp nếu đầu phân áp ở phía sơ cấp) hoặc muốn tăng điện áp phía thứ cấp thêm 5% dùng đầu phân áp +5% (tăng số vòng phía thứ cấp nếu đầu phân áp ở phía thứ cấp). Thường đầu phân áp được đặt ở phía cuộn dây cao áp do có dòng điện bé hơn và mục đích của việc chọn đầu phân áp là nhằm đảm bảo số vòng/volt của cuộn dây máy biến áp gần như không thay đổi.

**Hình 4.10****Ghi chú**

Trong sơ đồ tương đương hai mạng hai cửa nối tiếp có thể ghép nối tiếp máy biến áp lý tưởng có tỷ số  $t:1$  có xét đến đầu phân áp của máy biến áp đi trước mạng hai cửa chứa tổng dẫn của máy biến áp (H.4.11.).

**Hình 4.11**

Mạch tương đương hình  $\Pi$  đối với máy biến áp có tỷ số vòng khác với định mức có dạng trong H.4.12 (tự chứng minh).

**Hình 4.12**

Để ý có sự hoán vị hai nhánh rẽ của mạch  $\Pi$  tùy theo thứ tự nối tiếp hai mạch hai cửa và cả hai sơ đồ đều được chấp nhận.

#### 4.3.2 Cách tính tham số của máy biến áp hai dây quấn

Sau đây sẽ lần lượt trình bày cách tính  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $G_B$  và  $B_B$  của máy biến áp hai dây quấn

Thông thường với máy biến áp nhà chế tạo cung cấp bốn tham số sau:

-  $\Delta P_{Cu,dm}$ : tổn thất công suất trong đồng khi máy biến áp mang tải định mức,  $\Delta P_{Cu,dm}$  cũng bằng  $\Delta P_N$  khi làm thí nghiệm ngắn mạch, tức là khi dòng ngắn mạch  $I_N = I_{dm}$

-  $U_N\%$ : phần trăm của điện áp ngắn mạch so với điện áp định mức:

$$U_N \% = \frac{U_N}{U_{dm}} \cdot \sqrt{3} \cdot 100\% \quad (4.12)$$

-  $i_{kt}\%$ : phần trăm dòng điện không tải  $I_0$  so với dòng điện định mức:

$$i_{kt} \% = \frac{I_0}{I_{dm}} \cdot 100\% \quad (4.13)$$

-  $\Delta P_{Fe}$  là tổn thất công suất tác dụng trong lõi thép và bằng tổn hao không tải  $\Delta P_0$

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 \quad (4.14)$$

Để tính  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $G_B$ ,  $B_B$ , lý thuyết máy điện đưa ra các công thức của sau:

$$R_B = \frac{\Delta P_{Cu,dm} \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}^2} \times 10^3 \Omega$$

với:  $\Delta P_{cu}$  (kW)       $U_{dm}$  (kV)       $S_{dm}$  (kVA)      (4.15)

$$X_B = \frac{U_N \% \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot 10 \Omega \quad (4.16)$$

$$G_B = \frac{\Delta P_{Fe} \cdot 10^{-3}}{U_{dm}^2} \frac{1}{\Omega} \quad \text{với} \quad \Delta P_{Fe} (\text{kW}) \quad (4.17)$$

$$B_B = \frac{\Delta Q_{Fe} \cdot 10^{-3}}{U_{dm}^2} \frac{1}{\Omega} \quad \text{với} \quad \Delta Q_{Fe} = \frac{i_{kt} \% \cdot S_{dm}}{100} \text{ kVAr} \quad (4.18)$$

Ngoài ra tổn thất công suất kháng định mức trong cuộn dây của máy biến áp cho bởi:

$$\Delta Q_{Cu,dm} = \frac{U_N \%}{100} S_{dm} \text{ kVAr} \text{ với } S_{dm} (\text{kVA})$$

Đối với máy biến áp công suất nhỏ, điện trở  $R_B$  khá lớn, nên tổng trở  $Z_B$  được tính theo (4.16) và  $X_B = \sqrt{Z_B^2 - R_B^2}$

Tổn hao đồng  $\Delta P_{Cu}$  và  $\Delta Q_{Cu}$  khi máy biến áp mang tải khác định mức tỷ lệ với bình phương công suất ( $S^2$ ) tải qua máy trong khi tổn thất công suất trong lõi sắt  $\Delta P_{Fe}$  và  $\Delta Q_{Fe}$  coi như không đổi.

Các giá trị tính theo các công thức trên đã được tính đổi về phía có điện áp bằng  $U_{dm}$  kV. Đối với máy biến áp ba pha hai dây quấn  $U_{dm}$  là điện áp dây,  $S_{dm}$  là công suất 3 pha.

**Ví dụ 4.2:** Một trạm biến áp có đặt một máy biến áp ba pha hai dây quấn, điện áp 35/6,6 kV công suất định mức 7500 kVA. Tham số của máy biến áp như sau:  $\Delta P_{Cu,dm} = 75$  kW,  $\Delta P_{Fe} = 24$  kW,  $U_N\% = 7,5\%$ ,  $i_{kt}\% = 3,5\%$ . Tính điện trở, cảm kháng, điện dẫn tác dụng và điện dẫn phản kháng qui về phía cao áp, tổn thất công suất kháng định mức, tổn thất công suất kháng

trong lõi sắt máy biến áp trong dây quấn máy biến áp.

**Giải**

$$R_B = \frac{\Delta P_{Cu} \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}^2} 10^3 = \frac{75.35^2}{7500^2} 10^3 = 1,63 \Omega$$

$$X_B = \frac{U_N \% \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}} 10 = \frac{7,5 \cdot 35^2}{7500} 10 = 12,25 \Omega$$

$$G_B = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_{dm}^2} 10^{-3} = \frac{24}{35^2} 10^{-3} = 0,0196 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\Omega}$$

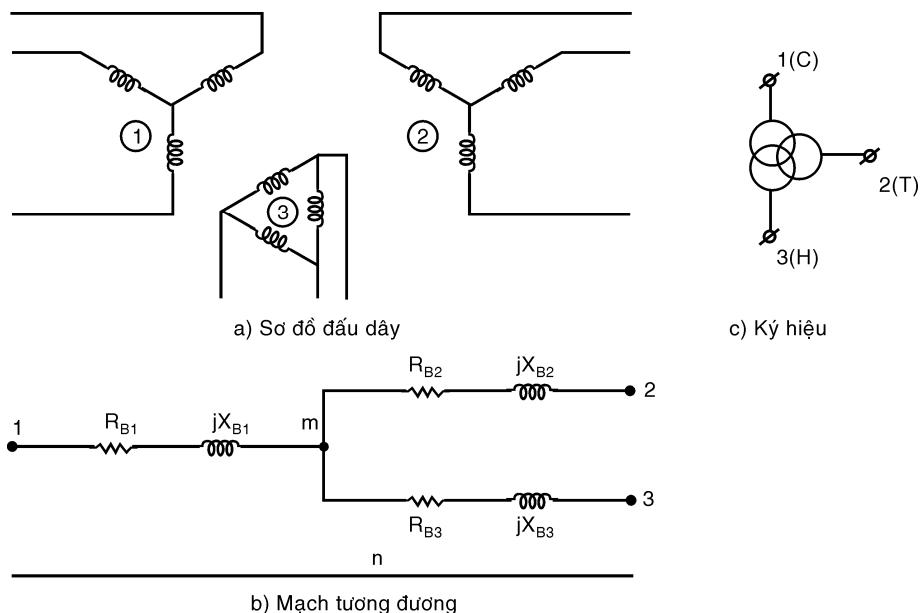
$$B_B = \frac{\Delta Q_{Fe}}{U_{dm}^2} 10^{-3} = \frac{i_{kt} \% \cdot S_{dm}}{100 \cdot U_{dm}^2} 10^{-3} = \frac{3,5 \cdot 7500}{100 \cdot 35^2} 10^{-3} = 0,214 \frac{1}{\Omega}$$

$$\Delta Q_{Cu,dm} = \frac{U_N \%}{100} S_{dm} = \frac{7,5}{100} 7500 = 562,5 \text{ kVAr}$$

$$\Delta Q_{Fe} = \frac{i_{kt} \%}{100} S_{dm} = \frac{3,5}{100} 7500 = 262,5 \text{ kVAr}$$

#### 4.3.3 Tính tham số của máy biến áp ba dây quấn

Máy biến áp ba dây quấn có thể là máy một pha có hai cuộn thứ cấp hoặc là máy biến áp ba dây quấn ba pha. Hình 4.13 là một sơ đồ máy biến áp ba pha ba dây quấn, hai cuộn thứ cấp mang tải hoặc có thể là máy biến áp ba pha có hai cuộn mắc Y-Y với cuộn dây thứ ba mắc  $\Delta$  để khử họa tần. Mạch tương đương của máy biến áp ba dây quấn được trình bày trong H.4.13b.



**Hình 4.13:** Mạch tương đương một pha hình sao của máy biến áp ba dây quấn

Có ba thí nghiệm ngắn mạch dùng để xác định  $Z_1, Z_2, Z_3$ , cả ba thí nghiệm đều tiến hành tương tự, trong mỗi thí nghiệm đều cho một cuộn hở mạch, một cuộn ngắn mạch và đưa một điện áp nhỏ vào cuộn còn lại sao cho dòng điện chạy trong cuộn ngắn mạch bằng dòng điện định mức. Điện áp đó gọi là điện áp ngắn mạch  $U_N \%$ . Trong máy biến áp ba dây quấn, người chế tạo cho phần trăm

điện áp ngắn mạch giữa các cuộn dây  $U_{N(1-2)}\%$ ,  $U_{N(2-3)}\%$ ,  $U_{N(1-3)}\%$ .

#### Tính cảm kháng máy biến áp ba dây quấn

Đối với máy biến áp ba dây quấn công suất lớn ( $X >> R$ ) nên điện áp rơi trên cảm kháng ( $U_r$ ) có thể lấy bằng điện áp ngắn mạch ( $U_N$ ) và giả thiết các điện áp ngắn mạch phần trăm được qui đổi về công suất cơ bản bằng công suất định mức  $S_{dm}$  của phia sơ cấp.

Vậy:

$$U_{N(1-2)}\% = U_{r(1-2)}\% = U_{r1}\% + U_{r2}\% \quad (4.19)$$

$$U_{N(2-3)}\% = U_{r(2-3)}\% = U_{r2}\% + U_{r3}\% \quad (4.20)$$

$$U_{N(1-3)}\% = U_{r(1-3)}\% = U_{r1}\% + U_{r3}\% \quad (4.21)$$

Từ các phương trình trên, giải được:

$$U_{r1}\% = \frac{U_{r(1-2)}\% + U_{r(1-3)}\% - U_{r(2-3)}\%}{2} \quad (4.22)$$

$$U_{r2}\% = \frac{U_{r(1-2)}\% + U_{r(2-3)}\% - U_{r(1-3)}\%}{2} \quad (4.23)$$

$$U_{r3}\% = \frac{U_{r(1-3)}\% + U_{r(2-3)}\% - U_{r(1-2)}\%}{2} \quad (4.24)$$

Có  $U_r\%$  của từng cuộn tính được  $X_B$  của từng cuộn:

Cảm kháng của cuộn 1 cho bối công thức:

$$X_{B1} = \frac{U_{r1}\% \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot 10^{-3} \Omega \quad (4.25)$$

với  $U_{dm}$  (kV);  $S_{dm}$  (kVA)

Công thức tương tự cho  $X_{B2}, X_{B3}$

#### Tính điện trở của máy biến áp ba dây quấn

Trường hợp cả ba dây quấn đều có công suất bằng  $S_{dm}$  gọi là máy 100/100/100%, điện trở của các cuộn dây qui đổi về một cấp điện áp đều bằng nhau:

$$R_{B1} = R_{B2} = R_{B3} = R_{B(100)} \quad (4.26)$$

Tổn thất trong đồng  $\Delta P_{cu}$  tính trong trường hợp lúc một cuộn dây không làm việc, còn lại hai cuộn làm việc với phụ tải định mức, lúc đó tình trạng giống hệt như máy biến áp hai dây quấn.

$$R_B = \frac{\Delta P_{Cu,dm} \cdot U_{dm}^2}{2S_{dm}^2} \cdot 10^3 \Omega = R_{B(100)} \quad (4.27)$$

với  $\Delta P_{Cu,dm}$  (kW),  $U_{dm}$  (kV),  $S_{dm}$  (kVA)

Chia cho 2 vì hai nhánh của sơ đồ hình sao làm việc nối tiếp, ở đây tính điện trở của một nhánh.

- Trường hợp công suất ba cuộn là 100/100/66,7%  $S_{dm}$  thì điện trở cuộn thứ ba (66,7%  $S_{dm}$ ) qui về cấp điện áp và công suất của cuộn thứ nhất như sau:

$$R_{B1} = R_{B2} = R_{B(100)} \quad (4.28)$$

$$R_{B3} = 1,5 R_{B1} \quad (4.29)$$

- Trường hợp công suất ba cuộn là 100/66,7/66,7%

thì  $R_{B2} = R_{B3} = 1,5 R_{B1}$  (qui về cuộn thứ nhất) (4.30)

Theo qui định, tổn thất trong đồng  $\Delta P_{cu}$  lớn nhất khi cuộn 1 có dòng  $I_{dm}$  đi qua, cuộn 2 có

dòng  $2/3 I_{dm}$  đi qua và cuộn 3 có dòng  $1/3 I_{dm}$  đi qua. Viết biểu thức tổn thất  $\Delta P_{cu}$  theo các điều kiện về điện trở và dòng điện như đã nói có được:

$$R_{B1} \equiv \frac{\Delta P_{CU} \cdot U_{dm}^2}{1,83S_{dm}^2} \times 10^3 \Omega \quad (4.30)$$

và  $R_{B2} = R_{B3} = 1,5R_{B1}$  (4.31)

#### 4.3.4 Tính tham số của máy biến áp tự ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu có các ưu điểm như sau:

- Tổn thất ít so với máy biến áp thường có cùng công suất nhưng kích thước nhỏ hơn;
- Rẻ tiền hơn;
- Trọng lượng nhỏ hơn.

Máy biến áp tự ngẫu điện lực thường chế tạo loại ba dây quấn với các cuộn cao và trung được quấn tự ngẫu, trung tính của nó được nối đất nên thích hợp trong mạng điện 110 kV trở lên có trung tính trực tiếp nối đất, cuộn hạ quấn theo máy biến áp thường. Sơ đồ một pha của máy biến áp tự ngẫu được trình bày trong H.4.14:

Cuộn CT là cuộn nối tiếp, còn cuộn OT gọi là cuộn chung.

Máy biến áp tự ngẫu được đặc trưng bằng hai đại lượng: công suất định mức  $S_{dm}$  và công suất tiêu chuẩn  $S_{tc}$ . Công suất định mức là công suất lớn nhất cho phép tải từ phía cao áp qua trung áp hay ngược lại trong chế độ tự ngẫu. Dòng định mức trong cuộn nối tiếp:

$$I_{dm(C)} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm(C)}} \quad (4.32)$$

Công suất cuộn nối tiếp là:

$$S_{nt} = \sqrt{3}I_{dm(C)}(U_C - U_T) = \sqrt{3}I_{dm(C)}U_C \left(1 - \frac{U_T}{U_C}\right) = S_{dm} \left(1 - \frac{1}{K}\right) \quad (4.33)$$

trong đó K là tỷ số của cao áp  $U_C$  với trung áp  $U_T$  gọi là tỷ số biến đổi của máy biến áp tự ngẫu:  $K = U_C / U_T$

Dòng điện trong cuộn chung với giả thiết tải công suất  $S_{dm}$  từ cao sang trung:

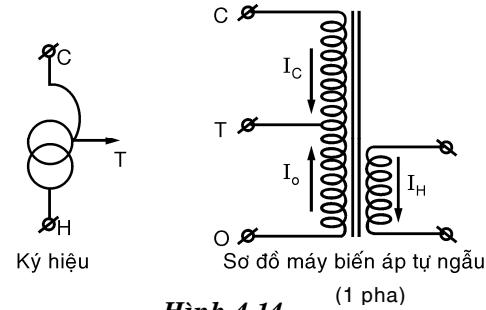
$$I_0 = I_{dm(T)} - I_{dm(C)} = I_{dm(T)} \left(1 - \frac{I_{dm(C)}}{I_{dm(T)}}\right) = I_{dm(T)} \left(1 - \frac{1}{K}\right) \quad (4.34)$$

Công suất của cuộn chung là:

$$S_0 = \sqrt{3}I_0U_T = \sqrt{3}I_{dm(T)}U_T \left(1 - \frac{1}{K}\right) \quad (4.35)$$

$$S_0 = S_{dm} \left(1 - \frac{1}{K}\right) \quad (4.36)$$

còn cuộn hạ của máy biến áp được thiết kế theo công suất:



Hình 4.14

$$S_H = S_{dm} \left( 1 - \frac{1}{K} \right) \quad (4.37)$$

Tóm lại, công suất tính toán mỗi cuộn dây của máy biến áp tự ngẫu bằng  $S_{dm} \left( 1 - \frac{1}{K} \right)$ .

Trị số này gọi là công suất tiêu chuẩn  $S_{tc}$  của máy biến áp tự ngẫu.

Đặt  $\alpha = \left( 1 - \frac{1}{K} \right)$  là hệ số có lợi của máy biến áp tự ngẫu:

$$\alpha = 1 - \frac{U_T}{U_C} \quad (4.38)$$

Sở dĩ gọi là có lợi là vì máy tự ngẫu có thể tải công suất  $S_{dm}$  từ điện áp cao qua điện áp trung, trong khi đó các cuộn dây của nó và lõi sắt chỉ thiết kế với  $S_{tc} = \alpha S_{dm}$

Sơ đồ tương đương một pha của máy tự ngẫu là hình sao ba nhánh tương tự như sơ đồ của máy biến áp ba dây quấn.

Tính tham số của máy biến áp tự ngẫu như sau:

#### Tính $R$

Với máy tự ngẫu, nhà sản xuất cho tổn thất ngắn mạch giữa các cuộn dây C-T, C-H, T-H

-  $\Delta P_{(C-T)}$  tính theo  $S_{dm}$

-  $\Delta P'_{(C-H)}$  tính theo  $S_{tc}$

-  $\Delta P'_{(T-H)}$  tính theo  $S_{tc}$

Vì điện trở của các nhánh trong sơ đồ tương đương phải tính theo cùng công suất, do đó  $\Delta P'_{(C-H)}$  và  $\Delta P'_{(T-H)}$  phải được tính đổi theo công suất định mức  $S_{dm}$  của máy biến áp tự ngẫu

$$\Delta P_{(C-H)} = \frac{\Delta P'_{(C-H)}}{\alpha^2} \quad (4.39)$$

$$\text{Tương tự: } \Delta P_{(T-H)} = \frac{\Delta P'_{(T-H)}}{\alpha^2} \quad (4.40)$$

Dựa vào sơ đồ tương đương xác định tổn thất của từng cuộn dây:

$$\Delta P_{Cu(C)} = \frac{\Delta P_{(C-T)} + \Delta P_{(C-H)} - \Delta P_{(T-H)}}{2} \quad (4.41)$$

$$\Delta P_{Cu(T)} = \Delta P_{(C-T)} - \Delta P_{Cu(C)} \quad (4.42)$$

$$\Delta P_{Cu(H)} = \Delta P_{(C-H)} - \Delta P_{Cu(C)} \quad (4.43)$$

Đến đây có thể tính điện trở của các nhánh hình sao bằng các công thức tính điện trở của máy biến áp hai dây quấn.

$$R_{(C)} = \frac{\Delta P_{Cu(C)} \cdot U_C^2}{S_{dm}^2} \cdot 10^3 \quad \Omega \quad (4.44)$$

$$R_{(T)} = \frac{\Delta P_{Cu(T)} \cdot U_C^2}{S_{dm}^2} \cdot 10^3 \quad \Omega \quad (4.45)$$

$$R_{(H)} = \frac{\Delta P_{Cu(H)} \cdot U_C^2}{S_{dm}^2} \cdot 10^3 \quad \Omega \quad (4.46)$$

(đơn vị như đã ghi chú ở trên)

Tính X:

Với máy biến áp tự ngẫu, nhà sản xuất cũng cho điện áp ngắn mạch  $U_{N(C-T)}\%$ ,  $U'_{N(C-H)}\%$ ,  $U''_{N(T-H)}\%$  trong đó  $U_{N(C-T)}\%$  tính theo  $S_{dm}$  còn  $U'_{N(C,H)}\%$  và  $U''_{N(T,H)}\%$  tính theo  $S_{tc}$ .

Để tính điện áp ngắn mạch trên từng nhánh của sơ đồ hình sao, phải tính đổi  $U'_{(C-H)}\%$  và  $U''_{(T-H)}\%$  theo  $S_{dm}$  của máy biến áp tự ngẫu như sau:

$$U_{N(C-H)}\% = \frac{U'_{N(C-H)}}{\alpha}; \quad U_{N(T-H)}\% = \frac{U''_{N(T-H)}}{\alpha} \quad (4.47)$$

Giống như máy biến áp ba dây quấn, suy ra  $U_{(C)}\%$ ,  $U_{(H)}\%$  và  $U_{(T)}\%$  rồi áp dụng các công thức tính cảm kháng của máy biến áp ba dây quấn.

Còn tính G và B của máy biến áp tự ngẫu giống như đổi với máy biến áp hai hoặc ba dây quấn nhưng thường được thay bằng tổn thất công suất trong lõi sắt  $\Delta P_{Fe} + j\Delta Q_{Fe}$  hoặc bỏ qua trong sơ đồ tương đương.

**Ví dụ 4.3:** Xác định điện trở và cảm kháng của máy biến áp tự ngẫu giảm áp ba pha 220/110/10 kV, công suất 60000 kVA. Điện áp ngắn mạch giữa các cuộn dây đã được quy đổi về công suất định mức bằng:

$$U_{N(C-T)}\% = 8\%, \quad U_{N(C-H)}\% = 28\%, \quad U_{N(T-H)}\% = 18\%$$

tổn thất ngắn mạch:

$$\Delta P_{(C-T)} = 180 \text{ kW}, \quad \Delta P'_{(C-H)} = 150 \text{ kW}, \quad \Delta P''_{(T-H)} = 150 \text{ kW}$$

(điện trở, cảm kháng quy về phía 220 kV)

**Giải**

Hệ số có lợi của máy biến áp tự ngẫu:

$$\alpha = \frac{U_C - U_T}{U_C} = \frac{220 - 110}{220} = 0,5$$

Tính đổi  $\Delta P'_{(C-H)}$  và  $\Delta P''_{(T-H)}$  về công suất định mức của máy biến áp tự ngẫu:

$$\Delta P_{(C-H)} = \frac{\Delta P'_{(C-H)}}{\alpha^2} = \frac{150}{0,5^2} = 600 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{(T-H)} = \frac{\Delta P''_{(T-H)}}{\alpha^2} = \frac{150}{0,5^2} = 600 \text{ kW}$$

Tổn thất đồng định mức của các cuộn cao, trung là:

$$\Delta P_{Cu(C)} = \frac{\Delta P_{(C-T)} + \Delta P_{(C-H)} - \Delta P_{(T-H)}}{2} = \frac{180 + 600 - 600}{2} = 90 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{Cu(T)} = \Delta P_{(C-T)} - \Delta P_{Cu(C)} = 180 - 90 = 90 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{Cu(H)} = \Delta P_{(C-H)} - \Delta P_{Cu(C)} = 600 - 90 = 510 \text{ kW}$$

$$\text{Điện trở cuộn cao áp: } R_{(C)} = \frac{90 \cdot 220^2}{60000^2} 10^3 = 1,21 \Omega$$

$$\text{Điện trở cuộn trung áp: } R_{(T)} = R_{(C)} = 1,21 \Omega$$

$$\text{Điện trở cuộn hạ áp: } R_{(H)} = \frac{510 \cdot 220^2}{60000^2} 10^3 = 6,85 \Omega$$

Điện áp ngắn mạch từng cuộn cao, trung, hạ:

$$U_{N(C)} \% = \frac{U_{(C-T)} \% + U_{(C-H)} \% - U_{(T-H)} \%}{2} = \frac{8+28-18}{2} = 9\%$$

$$U_{N(T)} \% = \frac{U_{(C-T)} \% + U_{(T-H)} \% - U_{(C-H)} \%}{2} = \frac{8+18-28}{2} = -1\% \approx 0\%$$

$$U_{N(H)} \% = \frac{U_{(C-H)} \% + U_{(T-H)} \% - U_{(C-T)} \%}{2} = \frac{28+18-8}{2} = 19\%$$

Điện kháng cuộn cao áp:  $X_{(C)} = \frac{U_{N(C)} \% \cdot U_C^2}{S_{dm}} \cdot 10 = \frac{9.220^2}{60000} \cdot 10 = 72,6 \Omega$

Điện kháng cuộn trung áp:  $X_{(T)} = 0 \Omega$

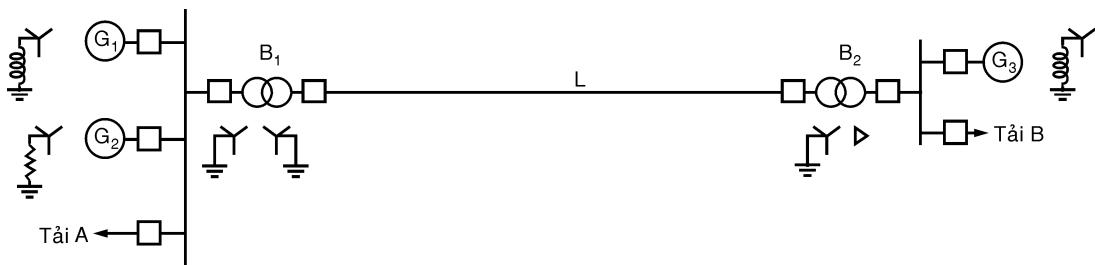
Điện kháng cuộn hạ áp:  $X_{(H)} = \frac{U_{N(H)} \% \cdot U_C^2}{S_{dm}} \cdot 10 = \frac{19 \cdot 220^2}{60000} \cdot 10 = 153,3 \Omega$

#### 4.4 SƠ ĐỒ MỘT SƠI (ĐƠN TUYẾN)

Sơ đồ tổng trở một pha biểu diễn hệ thống điện hoặc là theo đơn vị có tên hoặc là theo đơn vị tương đối. Tuy vậy, vì một bài toán hệ thống ba pha cân bằng thường được giải như mạch một pha gồm một trong ba dây dẫn và một đường trung tính xem như đường trở về, do đó sơ đồ được đơn giản hóa bằng cách bỏ đường trung tính và chỉ định các phần tử của hệ thống bằng các ký hiệu thay vì bằng mạch tương đương của chúng. Một sơ đồ như vậy gọi là sơ đồ một sơi hay sơ đồ đơn tuyến của hệ thống điện. Nó chỉ có một đường kẻ đơn nối liền các ký hiệu tiêu chuẩn của đường dây với các thiết bị có liên quan của hệ thống điện.

Mục đích của sơ đồ đơn tuyến là để cung cấp dưới hình thức rõ ràng về các thông tin có ý nghĩa của hệ thống. Tüm quan trọng của các đặc trưng khác nhau của hệ thống thay đổi theo vấn đề khảo sát và lượng thông tin đưa vào cũng tùy theo mục đích khảo sát. Chẳng hạn như vị trí của máy cắt và rôle không quan trọng trong khảo sát phân bố công suất và do đó máy cắt và rôle không được trình bày trong khi đó việc khảo sát ổn định của hệ thống trong tình trạng quá độ do sự cố gây ra tùy thuộc vào tốc độ cắt của máy cắt và thời gian tác động của rôle nhằm cài đặt sự cố ra khỏi hệ thống thì phải thể hiện vị trí của máy cắt. Trong trường hợp này dữ liệu về máy cắt rất quan trọng, đôi khi sơ đồ đơn tuyến còn bao gồm dữ kiện về máy biến dòng và máy biến điện áp trong mạch rôle hay đo lường.

Sau đây là một sơ đồ một sơi điển hình (H.4.15):



**Hình 4.15: Sơ đồ một sơi (đơn tuyến)**

Sơ đồ cho thấy máy phát điện G<sub>1</sub> và G<sub>3</sub> nối đất qua cuộn kháng, G<sub>2</sub> nối đất qua điện trở. Hai máy phát G<sub>1</sub> và G<sub>2</sub> nối đến một thanh cái, qua máy biến áp tăng B<sub>1</sub> đến đường dây truyền tải L. Đầu cuối của đường dây nối với máy biến áp giảm B<sub>2</sub>, ngoài ra máy phát G<sub>3</sub> nối vào

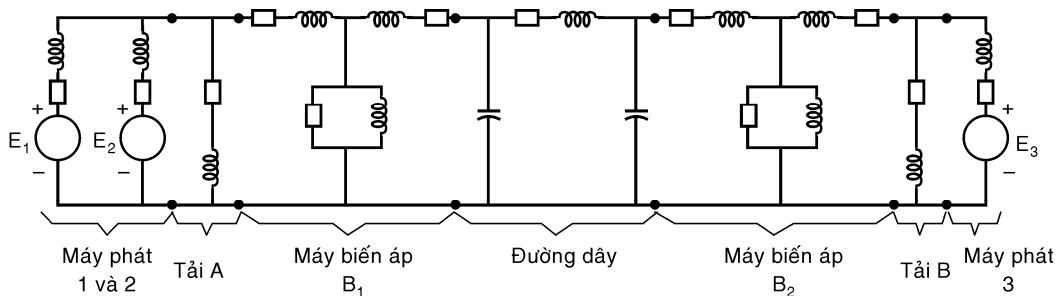
thanh cái điện áp thấp của máy biến áp này. Các phụ tải lấy điện từ các thanh cái. Trên sơ đồ còn ghi các dữ liệu về phụ tải, các thông số định mức của máy phát, máy biến áp, tổng trở của các phần tử mạng điện. Các dữ kiện này cần thiết để khảo sát tình trạng xác lập và quá độ của hệ thống.

- Biểu diễn đường dây (xem chương 3)

#### 4.5 BIỂU DIỄN CÁC PHẦN TỬ CỦA MẠNG ĐIỆN TRONG HỆ ĐƠN VỊ CÓ TÊN

Trong các mục trước đã trình bày cách biểu diễn riêng của từng phần tử, các phần tử này được nối với nhau thành một sơ đồ chung nối kết các mạch tương đương của từng của thiết bị. Mỗi nhánh trong sơ đồ được cho trong đơn vị có tên ( $\Omega$  hay  $1/\Omega$ ) là tổng trở hay tổng dẫn của nhánh đó.

Hình 4.16 trình bày sơ đồ tổng trở của mạng điện H.4.15. theo thứ tự gồm máy phát điện  $G_1, G_2$ , máy biến áp tăng  $B_1$ , đường dây truyền tải điện, máy biến áp giảm  $B_2$ , hai phụ tải thụ động A, B và máy phát điện  $G_3$  ở phía thứ cấp của  $B_2$ .



**Hình 4.16:** Sơ đồ tổng trở tương ứng với sơ đồ một sơ H.4.15

Số liệu của các phần tử:

$G_1$ : 20000 kVA; 6,6 kV;  $X'' = 0,655 \Omega$

$G_2$ : 10000 kVA; 6,6 kV;  $X'' = 1,31 \Omega$

$G_3$ : 30000 kVA; 3,81 kV;  $X'' = 0,1452 \Omega$

$B_1, B_2$ : mỗi pha 10000 kVA; 3,81/38,1 kV mỗi pha;  $X = 14,52 \Omega$  qui về cao áp.

Đường dây  $X = 17,4 \Omega$ ; 66 kV.

Phụ tải A: 15000 kW; 6,6 kV; hệ số công suất 0,9 trễ.

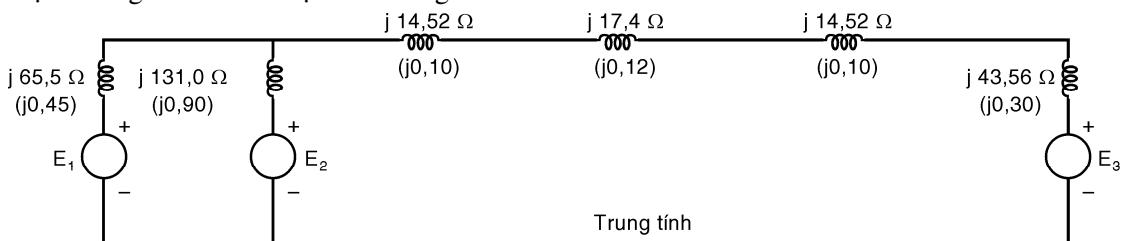
Phụ tải B: 30000 kW; 3,81 kV; hệ số công suất 0,9 trễ.

Mạch tương đương của đường dây truyền tải được biểu diễn tương đối chính xác bằng một mạch  $\pi$  với điện trở và cảm kháng nối tiếp và hai nhánh rẽ đến trung tính biểu diễn cho điện dung được tập trung về hai đầu của đường dây. Tương tự, máy biến áp được biểu diễn bằng điện trở, điện kháng tản và nhánh từ hóa. Máy phát được thay thế bằng sức điện động nối tiếp với điện trở và điện kháng đồng bộ. Nếu cần khảo sát phụ tải, một cách đơn giản phụ tải cũng được thay thế bằng tổng trở thụ động. Sơ đồ tổng trở không bao gồm các tổng trở nối đất ở trung tính của máy phát vì trong tình trạng cân bằng không có dòng điện qua trung tính và trung tính máy phát có cùng điện thế với đất. Vì dòng điện từ hóa của máy biến áp thường được loại bỏ trong mạch tương đương của máy biến áp hoặc thay nhánh tổng dẫn máy biến áp bằng tổn thất sắt  $\Delta P_{Fe} + j\Delta Q_{Fe}$  như

trong H.4.6.

Như đã nói, điện trở thường được loại bỏ trong tính toán ngắn mạch đối với mạng cao áp. Dĩ nhiên việc bỏ qua điện trở thường gây ra sai số nào đó nhưng kết quả tính toán có thể chấp nhận được vì điện kháng trong hệ thống thường lớn hơn nhiều so với điện trở. Phụ tải không bao gồm máy điện quay ít ảnh hưởng đến dòng điện tổng trên đường dây lúc sự cố và cũng thường được loại bỏ. Phụ tải động cơ đồng bộ phải được xét đến trong tính toán ngắn mạch vì sức điện động của động cơ cũng góp phần vào dòng điện ngắn mạch. Sơ đồ cũng kẽ thêm động cơ không đồng bộ bằng một sức điện động nối tiếp với điện kháng siêu quá độ nếu được dùng để tính dòng điện ngay sau khi ngắn mạch. Tuy vậy, động cơ không đồng bộ được bỏ qua nếu tính dòng điện một vài chu kỳ sau khi ngắn mạch vì dòng điện góp phần bởi động cơ cảm ứng tắt dần rất nhanh.

Để đơn giản trong tính toán dòng ngắn mạch, cho phép bỏ qua mọi phụ tải tĩnh, điện trở và dòng từ hóa trong máy biến áp, điện dung đường dây và có được sơ đồ tổng trở thu về sơ đồ điện kháng với các số liệu cho trong H.4.17.



**Hình 4.17:** Sơ đồ điện kháng - điện kháng đơn vị  $\Omega$  qui về phía cao áp của máy biến áp - (các trị số trong dấu ngoặc trong đơn vị tương đối trên cơ bản 30 MVA, 66 kV)

Các sơ đồ tổng trở và điện kháng đề cập ở đây được gọi là sơ đồ thứ tự thuận vì chúng đưa ra các tổng trở ứng với dòng điện cân bằng trong hệ thống ba pha cân bằng. Ý nghĩa của sơ đồ thứ tự sẽ được nói rõ hơn trong khảo sát ngắn mạch.

Khi máy biến áp được biểu diễn bằng mạch tương đương của nó, tổng trở của máy biến áp được qui đổi về một phia của máy biến áp sơ hoặc thứ cấp mà từ phia đó mạch tương đương được thành lập. Các tổng trở biểu diễn trong sơ đồ trên tính ra ohm và *được qui đổi về phia cao áp của máy biến áp*.

Vì đường dây truyền tải đang ở trong phần cao áp của mạng điện nên tổng trở của đường dây trong mạch tương đương là tổng trở thực tế không cần thiết phải tính toán qui đổi trong khi đó điện kháng của máy biến áp phải được tính toán qui đổi về phia cao áp.

Theo lý thuyết máy biến áp, tổng trở phia thứ cấp của máy biến áp được qui đổi về phia sơ cấp bằng cách nhân tổng trở cho bình phương của tỷ số vòng sơ cấp với vòng cuộn thứ cấp ( $N_1/N_2$ )<sup>2</sup>. Các máy phát trong hình vẽ ở về phia điện áp thấp của máy biến áp và do đó điện kháng của chúng phải được qui đổi về phia cao áp của máy biến áp. Máy phát  $G_1$  được nối với mạch điện áp cao qua máy biến áp Y-Y có tỷ số vòng 10:1, do đó điện kháng qui đổi về phia điện áp cao là  $0,655 \cdot 10^2 = 65,5 \Omega$ . Tương tự, điện kháng của máy phát  $G_2$  qui về phia 66 kV là  $1,31 \cdot 10^2 = 131 \Omega$ .

Trường hợp của máy phát  $G_3$  nối với đường dây truyền tải qua máy biến áp  $\Delta$ -Y thì không được hiển nhiên như vậy. Có thể hiểu rằng máy biến áp  $\Delta$ -Y được thay thế bằng một máy biến áp Y-Y có cùng tỷ số biến đổi về điện áp dây. Nếu một máy biến áp  $\Delta$ -Y có tỷ số vòng 10 : 1

giữa các cuộn dây phía cao áp và hạ áp thì tỷ số điện áp dây là  $17,32 : 1$ . Do đó, tỷ số vòng giữa cuộn cao và cuộn hạ của máy biến áp Y-Y có cùng tỷ số biến áp tính theo điện áp dây như máy biến áp  $\Delta$ -Y phải là  $17,32 : 1$ . Mạch tương đương của máy phát  $G_2$  nhìn từ phía cao áp qua máy biến áp Y-Y tương đương, điện kháng của máy phát phải được qui đổi về phía cao áp bằng cách nhân điện kháng với bình phương của tỷ số biến áp tính theo điện áp pha đến trung tính của máy Y-Y tương đương. Tỷ số điện áp dây bằng với tỷ số điện áp pha trên hai phía của máy biến áp Y-Y. Do đó, *thừa số nhân phải là bình phương của tỷ số điện áp dây chứ không phải bình phương của tỷ số vòng*. Điện kháng của máy phát 3 qui về phía cao áp là:  $(17,32)^2 \times 0,1452 = 43,56 \Omega$ .

Tóm lại, bất chấp cách đấu dây của máy biến áp là Y-Y hay  $\Delta$ -Y, *phía sơ cấp điện áp dây định mức  $U_{dm1}$  và phía thứ cấp có điện áp dây định mức là  $U_{dm2}$ , tổng trở Z phía sơ cấp được qui đổi về phía thứ cấp thành tổng trở  $Z'$  cho bởi:*

$$Z' = Z \left( \frac{U_{dm2}}{U_{dm1}} \right)^2 \quad (4.48)$$

Tương tự, sức điện động (hay điện áp phía sơ cấp qui về phía thứ cấp):

$$E' = E \left( \frac{U_{dm2}}{U_{dm1}} \right) \quad (4.49)$$

và dòng điện qui về phía thứ cấp:

$$I' = I \left( \frac{U_{dm1}}{U_{dm2}} \right) \quad (4.50)$$

## 4.6 BIỂU DIỄN CÁC PHẦN TỬ CỦA MẠNG ĐIỆN TRONG HỆ ĐƠN VỊ TƯƠNG ĐỐI

### 4.6.1 Các đại lượng trong đơn vị tương đối

Điện áp, dòng điện, công suất và tổng trở trong mạch điện thường được biểu diễn theo phần trăm hay theo đơn vị tương đối của các đại lượng lấy làm căn bản hay làm chuẩn. Ví dụ, nếu chọn điện áp cơ bản là 120 kV thì các giá trị điện áp 108 kV, 120 kV và 126 kV lần lượt là 0,90, 1,0 và 1,05 đơn vị tương đối hay 90%, 100% và 105% tính theo % của điện áp cơ bản. Cả hai phương pháp đơn vị tương đối hay phần trăm cho phép tính toán đơn giản hơn đơn vị có tên ampe, volt, ohm ....

Phương pháp đơn vị tương đối có thuận lợi hơn phương pháp phần trăm vì tích số của hai đại lượng trong đơn vị tương đối là một đại lượng tương đối trong khi đó tích số của hai đại lượng phần trăm phải được chia cho 100 để có kết quả theo phần trăm.

Điện áp, dòng điện, công suất và tổng trở được liên hệ với nhau sau cho việc chọn hai trị số cơ bản trong số các đại lượng trên cho phép xác định hai trị số cơ bản còn lại. Chẳng hạn nếu đã chọn trị số cơ bản của dòng điện và điện áp thì trị số cơ bản của công suất và tổng trở có thể được xác định. Gọi  $U_{cb}$ ,  $I_{cb}$ ,  $S_{cb}$ ,  $Z_{cb}$  lần lượt là điện áp, dòng điện, công suất và tổng trở cơ bản.

Tổng trở cơ bản là tổng trở mà sụt áp qua nó bằng điện áp cơ bản khi dòng điện đi qua tổng trở bằng dòng điện cơ bản. Công suất cơ bản trong hệ thống một pha là tích số của điện áp cơ bản và dòng điện cơ bản.

Thường công suất cơ bản  $S_{cb}$  và điện áp cơ bản  $U_{cb}$  là các đại lượng chọn trước để xác định các đại lượng cơ bản khác.

Đối với hệ thống một pha:

$$S_{cb} = P_{cb} = Q_{cb} = U_{cb} \cdot I_{cb} \quad (4.51)$$

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{U_{cb}} \quad (4.52)$$

$$Z_{cb} = X_{cb} = R_{cb} = \frac{U_{cb}}{I_{cb}} = \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}} \quad (4.53)$$

$$Y_{cb} = B_{cb} = G_{cb} = \frac{I_{cb}}{U_{cb}} = \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} \quad (4.54)$$

với  $S_{cb}$  (MVA);  $U_{cb}$  (kV);  $I_{cb}$  (kA);  $Z_{cb}$  ( $\Omega$ )

Đối với hệ thống ba pha, điện áp là điện áp dây và công suất là công suất ba pha

$$S_{cb} = P_{cb} = Q_{cb} = \sqrt{3} U_{cb} I_{cb} \quad (4.55)$$

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} U_{cb}} \quad (4.56)$$

$$Z_{cb} = X_{cb} = R_{cb} = \frac{U_{cb}}{\sqrt{3} I_{cb}} = \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}} \quad (4.57)$$

$$Y_{cb} = B_{cb} = G_{cb} = \frac{1}{Z_{cb}} = \frac{\sqrt{3} I_{cb}}{U_{cb}} = \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} \quad (4.58)$$

với  $S_{cb}$  (MVA);  $U_{cb}$  (kV)

Khi có các giá trị cơ bản thì các giá trị tương đối được tính toán như sau:

$$U_* = U_{dvt\bar{d}} = \frac{U_{thực}}{U_{cb}} \quad (4.59)$$

$$I_* = I_{dvt\bar{d}} = \frac{I_{thực}}{I_{cb}} \quad (4.60)$$

$$Z_* = Z_{dvt\bar{d}} = \frac{Z_{thực}}{Z_{cb}} = Z_{thực} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} \quad (4.61)$$

$$S_* = S_{dvt\bar{d}} = \frac{S_{thực}}{S_{cb}} \quad (4.62)$$

Mặt khác:  $S_* = \frac{\sqrt{3} U_{thực} I_{thực}}{\sqrt{3} U_{cb} I_{cb}} = U_* I_*$  (4.63)

*Chú ý:* không phải là  $\sqrt{3} \cdot U_* \cdot I_*$ , công thức  $S_* = U_* \cdot I_*$  đúng cho cả trường hợp công suất một pha và ba pha trong  $dvt\bar{d}$ .

Bây giờ nếu tính đổi các trị số điện kháng trong đơn vị có tên (ohm) của sơ đồ H.4.17. thành đơn vị tương đối và chọn  $S_{cb} = 30.000$  kVA,  $U_{cb} = 66$  kV, suy ra:

$$Z_{cb} = \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}} = \frac{66^2}{30} = 145,2 \Omega$$

chia các trị số điện kháng cho  $Z_{cb}$  để có được sơ đồ trong hệ đơn vị tương đối. Các trị số điện kháng trong  $dvt\bar{d}$  ghi trong dấu ngoặc H.4.17.

#### 4.6.2 Đổi cơ bản

Thường tổng trở tương đối của một phần tử mạng điện được biểu diễn theo đơn vị tương

đối (hay phần trăm) trên cơ bản công suất định mức và điện áp định mức của phần tử đó. Các lượng cơ bản này có thể khác với các lượng cơ bản được chọn trong phần của hệ thống mà phần tử đó được đặt. Vì tất cả các tổng trở trong một phần của hệ thống phải được biểu diễn theo cùng một tổng trở cơ bản khi tính toán, do đó cần phải có cách đổi các tổng trở trong đơn vị tương đối từ một cơ bản này sang cơ bản khác.

Trước hết, biểu diễn tổng trở trong đơn vị tương đối từ các giá trị thực tế và các đại lượng cơ bản:

$$\text{Nếu chọn cơ bản là } S_{cb1} \text{ và } U_{cb1}: \quad Z_{1,dvt\bar{d}} = Z_{\text{thực}} \times \frac{S_{cb1}}{U_{cb1}^2}$$

$$\text{Nếu chọn cơ bản là } S_{cb2} \text{ và } U_{cb2}: \quad Z_{2,dvt\bar{d}} = Z_{\text{thực}} \times \frac{S_{cb2}}{U_{cb2}^2}$$

Từ đó nếu đổi từ  $(S_{cb1}, U_{cb1})$  sang  $(S_{cb2}, U_{cb2})$  thì:

$$\boxed{Z_{2,dvt\bar{d}} = Z_{1,dvt\bar{d}} \frac{S_{cb2}}{S_{cb1}} \left( \frac{U_{cb1}}{U_{cb2}} \right)^2} \quad (4.64)$$

$$\text{Tương tự tính cho dòng điện: } I_{1,dvt\bar{d}} = \frac{I_{\text{thực}}}{I_{cb1}} = \frac{I_{\text{thực}}}{\frac{S_{cb1}}{\sqrt{3}U_{cb1}}}$$

$$I_{2,dvt\bar{d}} = \frac{I_{\text{thực}}}{I_{cb2}} = \frac{I_{\text{thực}}}{\frac{S_{cb2}}{\sqrt{3}U_{cb2}}}$$

$$\text{Suy ra: } I_{2,dvt\bar{d}} = I_{1,dvt\bar{d}} \cdot \frac{S_{cb1}}{S_{cb2}} \cdot \frac{U_{cb2}}{U_{cb1}} \quad (4.65)$$

$$\text{Cuối cùng: } S_{1,dvt\bar{d}} = \frac{S_{\text{thực}}}{S_{cb1}}$$

$$S_{2,dvt\bar{d}} = \frac{S_{\text{thực}}}{S_{cb2}}$$

$$\text{Suy ra: } S_{2,dvt\bar{d}} = S_{1,dvt\bar{d}} \cdot \frac{S_{cb1}}{S_{cb2}} \quad (4.66)$$

$$\text{Tương tự: } U_{2,dvt\bar{d}} = U_{1,dvt\bar{d}} \cdot \frac{U_{cb1}}{U_{cb2}} \quad (4.67)$$

#### 4.6.3 Lựa chọn các trị số cơ bản cho các đại lượng trong đơn vị tương đối

Việc chọn các trị số công suất cơ bản  $S_{cb}$  và điện áp cơ bản  $U_{cb}$  đòi hỏi phải giảm được khối lượng tính toán càng nhiều càng tốt.

Trước hết, một cơ bản được chọn đổi với một phần của mạch điện. Kế đó, cơ bản của những phần khác trong mạch ngăn cách với phần ban đầu qua các máy biến áp sẽ được xác định. Cơ bản được chọn sao cho các trị số điện áp (hoặc dòng điện) trong đơn vị tương đối gần với đơn vị (gần số 1) nhằm đơn giản công việc tính toán. Sẽ tiết kiệm được thời gian nếu cơ bản được chọn sao cho có ít các đại lượng trong đơn vị tương đối đã biết cần phải tính đổi sang cơ bản mới.

Khi điện trở hay điện kháng của một thiết bị được cho bởi nhà chế tạo trong đơn vị tương đối hay theo phần trăm, cơ bản được hiểu là công suất định mức và điện áp định mức của thiết bị đó.

Các trị số ohm của điện trở và điện kháng tản của máy biến áp tùy thuộc vào chúng được qui về phía cao áp hay hạ áp của máy biến áp. Nếu chúng được biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối và được tra từ sổ tay máy biến áp thì công suất cơ bản  $S_{cb}$  được hiểu là công suất định mức  $S_{dm}$  của máy và điện áp cơ bản  $U_{cb}$  được hiểu là điện áp định mức của cuộn dây phía hạ áp nếu điện trở và điện kháng được qui đổi về phía hạ áp và ngược lại  $U_{cb}$  được hiểu là điện áp định mức của cuộn dây cao áp nếu chúng được tính về phía cao áp. *Nhưng tổng trở trong đơn vị tương đối như nhau cho dù chúng được tính về phía nào.*

Thực vậy, gọi:  $Z_2$ : tổng trở qui về phía cao của máy biến áp;

$Z_1$ : tổng trở qui về phía hạ của máy biến áp;

$U_{dm2}$ : điện áp định mức phía cao;

$U_{dm1}$ : điện áp định mức phía hạ;

$S_{dm}$ : công suất định mức của máy biến áp

$$\text{Biết rằng: } Z_1 = Z_2 \cdot \left( \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}} \right)^2$$

$$\text{Suy ra: } Z_{cb} = \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}}$$

$$Z_{1,dvt} = \frac{Z_1}{U_{1dm}^2 / S_{dm}} = \frac{Z_2 \left( U_{1dm} / U_{2dm} \right)^2}{U_{1dm}^2 / S_{dm}} = \frac{Z_2}{U_{2dm}^2 / S_{dm}} = Z_{2,dvt} \quad (4.68)$$

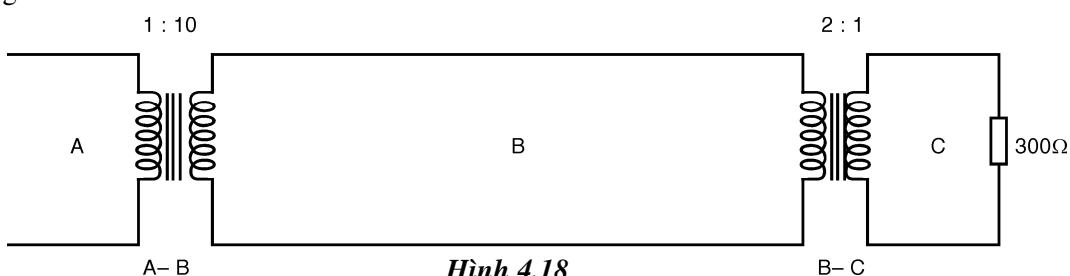
Sẽ có nhiều thuận lợi trong thực hiện trong đơn vị tương đối nếu có sự chọn lựa thích hợp các cơ bản cho các mạch điện nối với nhau qua máy biến áp. Để đạt được sự thuận lợi này trong *hệ thống điện một pha*, điện áp cơ bản đối với các mạch điện nối qua máy biến áp phải có cùng tỷ số với tỷ số vòng các cuộn dây. Với cách chọn điện áp cơ bản như vậy và với cùng một công suất cơ bản, trị số trong đơn vị tương đối sẽ như nhau bất chấp sự qui đổi về phía nào của máy biến áp. *Lưu ý công suất cơ bản  $S_{cb}$  được chọn chung cho toàn hệ thống.*

**Ví dụ 4.4:** Ba phần của một hệ thống điện một pha A, B và C được nối kết nhau qua các máy biến áp như trình bày trong H.4.18. Các máy biến áp có định mức như sau:

A-B: 10000 kVA 13,8/138 kV, điện kháng tản 10%

B-C: 10000 kVA 138/69 kV, điện kháng tản 8%

Nếu cơ bản trong mạch B được chọn là  $10000 \text{ kVA} = 10 \text{ MVA}$  và  $138 \text{ kV}$ , hãy tính tổng trở trong đơn vị tương đối của một phụ tải điện trở  $300 \Omega$  trong mạch C qui đổi về các mạch C, B và A. Vẽ sơ đồ tổng trở bỏ qua dòng điện từ hóa, điện trở máy biến áp và tổng trở của đường dây. Xác định độ sụt áp nếu điện áp ở tải là  $66 \text{ kV}$  và giả thiết điện áp đầu vào của mạch A được giữ không đổi.



Hình 4.18

**Giải**

Chọn điện áp cơ bản cho mạch A:  $0,1 \times 138 = 13,8 \text{ kV}$

Điện áp cơ bản cho mạch C:  $0,5 \times 138 = 69 \text{ kV}$

$$\text{Tổng trở cơ bản của mạch C: } \frac{69^2}{10} = 476 \Omega$$

$$\text{Tổng trở tải trong đơn vị tương đối: } R = \frac{300}{476} = 0,63 \text{ đvtđ}$$

Vì chọn điện áp cơ bản trong các phần khác nhau của hệ thống được xác định theo tỷ số vòng của máy biến áp nên tổng trở của phụ tải tính trong đơn vị tương đối qui về bất kỳ phần nào của hệ thống là như nhau. Điều này được chứng minh như sau:

$$\text{Tổng trở cơ bản của mạch B: } \frac{138^2}{10} = 1900 \Omega$$

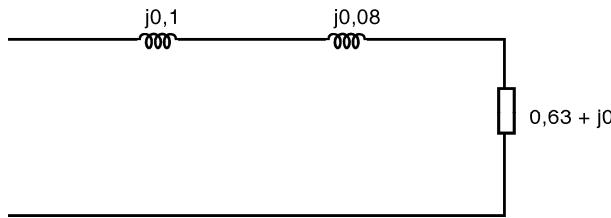
$$\text{Tổng trở tải qui về phía mạch B: } 300 \cdot 2^2 = 1200 \Omega$$

$$\text{Tổng trở tải trong đơn vị tương đối qui về mạch B: } \frac{1200}{1900} = 0,63 \text{ đvtđ}$$

$$\text{Tổng trở tải qui về mạch A: } 300 \cdot 2^2 \cdot 0,1^2 = 12 \Omega$$

$$\text{Tổng trở cơ bản của mạch A: } \frac{13,8^2}{10} = 19 \Omega$$

$$\text{Tổng trở tải trong đơn vị tương đối qui về mạch A: } \frac{12}{19} = 0,63 \text{ đvtđ}$$



**Hình 4.19:** Sơ đồ tổng trở trong đơn vị tương đối

Tính toán sụt áp được tiến hành như sau:

$$\text{Điện áp ở phụ tải: } \frac{66}{69} = 0,957 + j0 \text{ đvtđ}$$

$$\text{Đòng điện tải: } \frac{0,957 + j0}{0,63 + j0} = 1,52 + j0 \text{ đvtđ}$$

$$\text{Điện áp ở đầu vào: } (1,52 + j0) \cdot (j0,1 + j0,08) + 0,957 = 0,957 + j0,274 = 0,995 \angle 15,98^\circ \text{ đvtđ}$$

Điện áp đầu vào = điện áp ở tải lúc không tải.

$$\text{Do đó, độ sụt áp: } \frac{0,995 - 0,957}{0,957} 100\% = 3,97\%$$

Nếu nguyên tắc trên được áp dụng cho mạch điện ba pha thì *điện áp cơ bản trên hai phia của máy biến áp phải có cùng tỷ số với tỷ số điện áp dây trên hai phia của máy biến áp*. Như vậy điện áp cơ bản có cùng tỷ số với điện áp pha định mức ở hai phia của máy biến áp và có cùng tỷ số với tỷ số vòng dây nếu máy biến áp thuộc loại Y-Y. Chẳng hạn, đối với hệ thống trong H.4.15. và H.4.16, cơ bản với 66 kV và 30000 kVA = 30 MVA trên đường dây đòn hồi cơ bản 6,6

kV đối với mạch máy phát  $G_1$ ,  $G_2$  và cơ bản 3,81 kV, 30000 kVA đối với mạch máy phát  $G_3$ . Điện kháng trong đơn vị tương đối của máy phát  $G_3$ :

$$\frac{0,1452 \cdot 30}{3,81^2} = 0,30 \text{ đvtđ}$$

Điện kháng có tên qui đổi về phía cao áp là  $43,56 \Omega$  và trong đơn vị tương đối trên cơ bản 66 kV, 30000 kVA điện kháng máy  $G_3$  cho bởi:

$$\frac{43,56 \cdot 30}{66^2} = 0,30 \text{ đvtđ} \quad (\text{kết quả không thay đổi})$$

Theo cách tương tự, có thể thấy rằng điện kháng trong đơn vị tương đối của máy phát  $G_1$  và  $G_2$  lần lượt bằng 0,45 và 0,90 dầu tính theo cơ bản 6,6 kV trong phần mạch điện của  $G_1$  và  $G_2$  hay qui đổi về phía 66 kV và tính trên cơ bản 66 kV. Như vậy giống như trong hệ thống một pha, nguyên tắc chọn cơ bản trong các phần khác nhau của hệ thống ba pha cho phép kết hợp trên cùng một sơ đồ các tổng trở trong đơn vị tương đối tính toán trong các phần khác nhau của hệ thống bất chấp các máy biến áp đấu Y-Y hay Δ-Y. Dĩ nhiên, nguyên tắc cũng được áp dụng nếu máy biến áp đấu Δ-Δ vì sự biến đổi điện áp giống như máy Y-Y có cùng điện áp dây định mức.

Nếu điện trở và điện kháng tản của máy biến áp trong mạch điện ba pha được cho trong đơn vị tương đối thì các trị số tương đối này dùng trong sơ đồ tổng trở là *như nhau* bất chấp cách đấu dây trên ba pha (Y-Y, Δ-Δ, hay Δ-Y). Ví dụ, máy biến áp ba pha có định mức 10000 kVA, 138 Y-13,8 Δ có điện kháng 10%. Đối với cơ bản phía cao áp là 138 kV, 10000 kVA, điện kháng là 0,10 đvtđ. Điện kháng qui về phía cao áp là:  $0,1 \times (138^2 \times 1000) / 10000 = 190,4 \Omega$

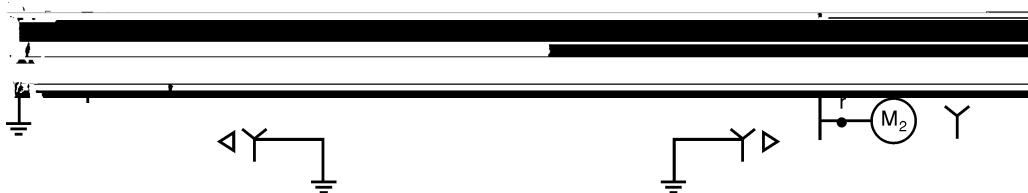
$$\text{Tỷ số vòng các cuộn dây là: } \frac{138/\sqrt{3}}{13,8} = 5,77$$

Điện kháng qui về phía hạ áp là:  $190,4 / (5,77)^2 = 5,72 \Omega$

Điện kháng tương đương của một pha nghĩa là điện kháng của hình Y *tương đương* (trong phép biến đổi Δ-Y) là  $5,72/3 \Omega$ . Điện áp dây cơ bản ở phía này của máy biến áp 13,8 kV và điện kháng trong đơn vị tương đối là  $\frac{5,72}{3} \cdot \frac{10}{13,8^2} = 0,1$  giống như trị số đã cho.

Nếu phía hạ áp của máy biến áp đấu lại theo hình Y, định mức mới của máy biến áp là 10000 kVA, 138Y - 23,9Y kV. Điện áp dây cơ bản đối với phía hạ áp là 23,9 kV và điện kháng trong đvtđ là  $5,72 \cdot \left( \frac{10}{23,9^2} \right) = 0,1$  vẫn là trị số ban đầu.

**Ví dụ 4.5:** Một máy phát điện ba pha 30000 kVA, 13,8 kV có điện kháng siêu quá độ là 15% Máy phát cung cấp cho hai động cơ qua đường dây truyền tải với các máy biến áp tăng và giảm áp ở hai đầu đường dây (H.4.20).



Hình 4.20: Sơ đồ một sợi ví dụ 4.5

Hai động cơ có công suất định mức lần lượt là 20000 kVA và 10000 kVA, cả hai có điện áp định mức 12,5 kV điện kháng siêu quá độ 20%. Các máy biến áp ba pha đều có định mức là 35000 kVA, 13,2  $\Delta$  – 115Y kV với điện kháng tải 10%. Điện kháng nối tiếp của đường dây truyền tải là 80  $\Omega$ . Vẽ sơ đồ điện kháng trong đơn vị tương đối. Chọn định mức của máy phát làm cơ bản.

### Giải

Cơ bản 30000 kVA và 13,8 kV trong máy phát đòi hỏi phải chọn công suất cơ bản 30000 kVA cho toàn hệ thống và sau đây là các điện áp cơ bản:

$$\text{- Trong đường dây truyền tải: } 13,8 \cdot \frac{115}{13,2} = 120 \text{ kV}$$

$$\text{- Trong mạch động cơ: } 120 \cdot \frac{13,2}{115} = 13,8 \text{ kV}$$

Các điện kháng của máy biến áp phải được đổi từ cơ bản 35.000 kVA, 13,2 kV sang cơ bản 30.000 kVA, 13,8 kV như sau:

$$\text{Điện kháng máy biến áp} = 0,1 \cdot \frac{30000}{35000} \cdot \left( \frac{13,2}{13,8} \right)^2 = 0,0784 \text{ đvtđ}$$

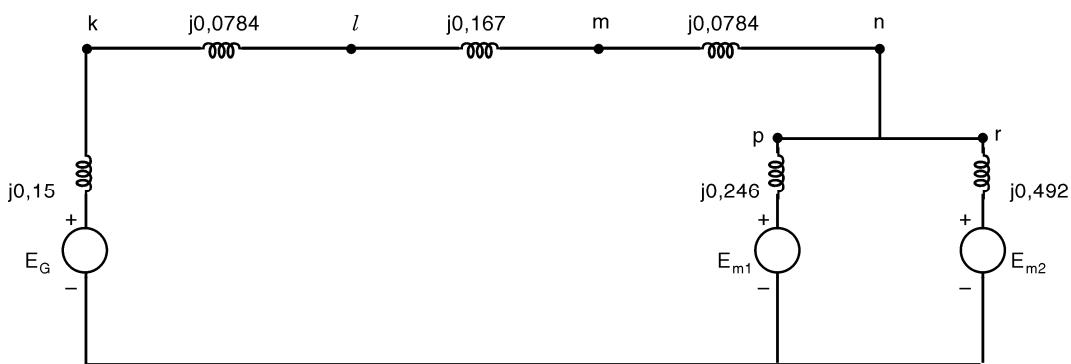
$$\text{Tổng trở cơ bản trong đường dây truyền tải: } \frac{120^2}{30} = 480 \Omega$$

$$\text{và điện kháng của đường dây là: } \frac{80}{480} = 0,167 \text{ đvtđ}$$

$$\text{Điện kháng của động cơ 1: } 0,2 \cdot \frac{30000}{20000} \cdot \left( \frac{12,5}{13,8} \right)^2 = 0,246 \text{ đvtđ}$$

$$\text{Điện kháng của động cơ 2: } 0,2 \cdot \frac{30000}{10000} \cdot \left( \frac{12,5}{13,8} \right)^2 = 0,492 \text{ đvtđ}$$

Sau đây là sơ đồ điện kháng (H.4.21.):



**Hình 4.21:** Sơ đồ điện kháng ví dụ 4.5

## 4.7 SO SÁNH ĐƠN VỊ CÓ TÊN VÀ ĐƠN VỊ TƯƠNG ĐỐI

Khi máy biến áp được ghi trên nhãn hiệu của nó có tổng trở  $Z_B\% = 5\%$ , điều này có ý nghĩa đối với người kỹ sư hệ thống. Có thể hiểu rằng dòng điện một đơn vị tương đối đi qua tổng trở nối tiếp tương đương của máy biến áp sẽ gây ra sụt áp giữa đầu vào và đầu ra của máy biến áp. Tất nhiên sụt áp này là một đại lượng vectơ, trong trường hợp tổng quát nó sẽ không

bằng sụt áp toàn phần qua máy biến áp ngoại trừ khi tỷ số  $R_B/X_B$  bằng với tỷ số  $R_{pt}/X_{pt}$  của phụ tải. Khái niệm  $Z_B\%$  của tổng trở máy biến áp có liên quan mật thiết với phần trăm sụt áp. Đối với máy biến áp, tổng trở  $Z_B\%$  bằng với phần trăm điện áp ngắn mạch  $U_N\%$  nếu trên cùng cơ bản định mức của máy.  $U_N\%$  của máy biến áp do nhà chế tạo cung cấp và là một giá trị thay đổi trong phạm vi hẹp. Ngoài ra, phần trăm điện kháng đồng bộ của máy phát điện cũng hiếu tương tự như phần trăm  $Z_B\%$  của máy biến áp và cũng thay đổi trong phạm vi hẹp tùy theo loại máy.

Nếu dùng đơn vị có tên trong bài toán mạng điện thì cần thiết phải qui đổi tất cả các giá trị tổng trở của phần này của mạng điện về phần bên kia khi hai phần mạch điện được nối với nhau qua máy biến áp. Đối với máy biến áp một pha hay máy biến áp ba pha đấu Y-Y hay  $\Delta-\Delta$ , việc qui đổi này được thực hiện nhờ bình phương tỷ số vòng của máy biến áp chính là bình phương tỷ số điện áp pha hoặc điện áp dây định mức của hai phía máy biến áp. Nếu là máy đấu  $\Delta-Y$  thì bắt buộc phải dùng bình phương tỷ số điện áp dây. Trong khi đó, nếu dùng đơn vị tương đối thì tổng trở tương đối của máy biến áp không cần phải qui đổi và như nhau dù tính từ phía nào của máy biến áp. Tuy vậy, cũng có sự tính lại tổng trở tương đối của máy điện nói chung khi các lượng cơ bản của hệ thống khác với các lượng cơ bản của các tổng trở tương đối ghi trên nhãn máy.

Ngoài ra tổng trở tương đối của máy biến áp không phụ thuộc cách đấu dây Y-Y hay  $\Delta-Y$ , tuy vậy điện áp dây cơ bản của máy biến áp thay đổi khi thay đổi cách đấu dây vì mỗi cuộn dây chỉ chịu một điện áp nhất định.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 4

**4.1.** Một máy biến áp ba pha hai cuộn dây  $\Delta/Y, 120/24$  kV, 30 MVA có điện trở  $R_B = 0,0047$  đvtđ và  $X_B = 0,0862$  đvtđ. Tổn thất sắt ở điện áp định mức là 65,8 kW.

- Nếu phía thứ cấp của máy biến áp mang tải định mức với  $\cos \varphi = 0,8$  trẽ, tính sụt áp qua máy biến áp và hiệu suất của máy.
- Làm lại câu a) với  $\cos \varphi = 0,8$  sớm
- Nếu đấu 24 kV bị ngắn mạch, hỏi điện áp phía cao áp là bao nhiêu để dòng qua máy biến áp bằng định mức?

$$DS: a) 5,56\%; 99,14\% \quad b) -4,8\% \quad c) 10,36kV$$

**4.2.** Một máy biến áp ba pha, ba cuộn dây, 68 MVA có cách đấu dây như sau:

Cuộn 1: 120 kV, Y, 68 MVA

Cuộn 2: 13,2 kV,  $\Delta$ , 34 MVA

Cuộn 3: 13,2 kV,  $\Delta$ , 34 MVA

Thí nghiệm ngắn mạch cho các điện kháng tính theo phần trăm như sau (tất cả trên cơ bản 34 MVA)

$X_{12}\% = 16,1\%$ ,  $X_{13}\% = 16,1\%$ ,  $X_{23}\% = 34,8\%$ , bỏ qua điện trở các cuộn dây.

- Tìm tổng trở trong đvtđ của mạch tương đương ba cuộn dây trên cơ bản 34 MVA
- Hai máy phát cung cấp cho hai cuộn dây 13,2 kV với công suất bằng nhau, cuộn dây cao áp mang tải 68 MVA với  $\cos \varphi = 0,9$  trễ và điện áp định mức 120 kV. Tính sụt áp qua máy biến áp nếu điện áp đầu cực máy phát được giữ không đổi từ lúc không tải đến lúc đầy tải.

$$DS: a) 0\%; 17,4\%; 17,4\% \quad b) 14,35kV$$

**4.3.** Một máy phát đồng bộ ba pha công suất 300 MVA, 50HZ, cung cấp điện cho hệ thống vô cùng lớn qua máy biến áp tăng, điện kháng đồng bộ của máy phát là  $j1,30$  đvtđ, tổng trở của máy biến áp là  $j0,10$  đvtđ, tất cả trên cơ bản 300 MVA. Tổng trở của hệ thống nhìn từ phía cao áp của máy biến áp là  $j0,03$  đvtđ trên cơ bản 100MVA. Giả thiết không cần thiết phải điều chỉnh về điện áp cơ bản trên các giá trị tổng trở này.

a) Một dòng điện  $1,0$  đvtđ (trên cơ bản 300 MVA) có hệ số công suất  $0,90$  trễ với điện áp đầu cực máy phát  $U_t$ . Cho điện áp ở thanh cái vô cùng lớn của hệ thống bằng  $1,0$ . Tìm sức điện động  $E_0$  sau điện kháng đồng bộ, điện áp đầu cực máy phát  $U_t$  trong đvtđ và góc lệch pha  $\delta$  giữa  $E_0$  và điện áp  $U$  của thanh cái vô cùng lớn.

b) Theo phương trình truyền suất tính công suất cực đại trong đvtđ có thể truyền được từ máy phát đến hệ thống. Giả thiết kích từ máy phát được giữ không đổi.

$$DS: a) E_o = 1,99; U_t = 1,04; \delta = 41,16^\circ \quad b) 1,42$$

**4.4.** Với máy phát trong bài tập 4.3. Làm lại câu a) với cùng một dòng điện nhưng với  $|U_t| = 1,0$  và  $|U|$  chưa biết, tìm  $E_0$ ,  $U$  và  $\delta$ .

$$DS: E_o = 1,96; U = 0,96; \delta = 42,08^\circ$$

**4.5.** Một máy phát đồng bộ ba pha, 130 MVA, 13,8 kV có điện kháng đồng bộ  $1,87$  đvtđ trên cơ bản của máy phát. Máy phát này được nối với một máy biến áp ba pha 130 MVA định mức  $13,2/126$  kV. Điện áp định mức của thanh cái hệ thống là  $120$  kV. Tổng trở của máy biến áp là  $j9,7\%$  trên cơ bản của máy biến áp. Tổng trở Thevenin của hệ thống nhìn từ phía cao áp của máy biến áp là  $j15\%$  trên cơ bản 100 MVA,  $120$  kV.

a) Tính tổng các điện kháng nối tiếp dùng trong phương trình truyền công suất. Dùng điện áp cơ bản  $120$  kV và công suất cơ bản  $130$  MVA

b) Làm lại phần a) với điện áp định mức máy phát làm cơ bản.

$$DS: a) 2,254; 0,107; 0,195 \quad b) 0,0887; 1,87; 0,1618$$

**4.6.** Máy phát trong bài tập 4.5. phát dòng điện định mức với điện áp đầu cực là  $13,8$  kV. Điện áp thanh cái vô cùng lớn là  $120$  kV.

a) Tính hệ số công suất ở đầu cực máy phát.

b) Tính góc công suất  $\delta$  và sức điện động  $E_0$  sau điện kháng đồng bộ.

$$DS: a) 0,863 \quad b) 55,44^\circ; 2,5$$

**4.7.** Hai máy phát điện được mắc song song đến cùng một thanh góp và có điện kháng siêu quá độ  $X'' = 10\%$ . Máy phát 1 có định mức  $2500$  kVA,  $2,4$ kV và máy phát 2 có định mức  $5000$  KVA,  $2,4$  kV. Tìm điện kháng trong đơn vị tương đối của mỗi máy phát trên cơ bản  $15000$  kVA,  $2,4$  kV. Tìm điện kháng của máy phát tương đương cũng trên cơ bản  $15000$  kVA,  $2,4$  kV.

$$DS: 60\%; 30\%; 20\%$$

**4.8.** Ba động cơ có điện áp định mức  $6,9$  kV được nối đến cùng một thanh góp có các số liệu như sau:

Động cơ 1:  $5000$  HP, đồng bộ,  $\cos \varphi = 0,80$ ,  $X'' = 17\%$

Động cơ 2:  $3000$  HP, đồng bộ,  $\cos \varphi = 1$ ,  $X'' = 15\%$

Động cơ 3:  $3500$  HP, không đồng bộ,  $\cos \varphi = 0,80$ ,  $X'' = 20\%$

Hãy biểu diễn các điện kháng siêu quá độ trong đơn vị tương đối trên cơ bản  $10000$  kVA,  $6,6$  kV. Cho  $1$  HP  $\approx 0,75$  kW (mã lực).

$$DS: 39,64\%; 72,87\%; 66,62\%$$

**4.9.** Một máy phát đồng bộ ba pha 15000 kVA, 8,5 kV có điện kháng siêu quá độ 20 %. Máy phát được nối với đường dây truyền tải qua máy biến áp tăng áp Δ/Y điện kháng của đường dây là  $70 \Omega$ , cuối đường dây là máy biến áp giảm Y-Y. Cả hai máy biến áp là bộ ba máy biến áp một pha ghép thành ba pha. Máy biến áp một pha có định mức 6667 kVA, 10/100 kV, điện kháng 10%. Phụ tải phía thứ cấp của máy biến áp giảm là 10000 kVA, 12,5 kV,  $\cos \varphi = 0,80$  trẽ và được thay thế bằng một tổng trở cố định.

Vẽ sơ đồ tổng trở trong đơn vị tương đối. Chọn cơ bản là 10000 kVA, 12,5 kV trong mạch phụ tải. Hãy xác định điện áp ở đầu cực máy phát.

$$ĐS: 8,36kV$$

**4.10.** Xác định các tham số của sơ đồ thay thế máy biến áp hai dây quấn công suất định mức 630 kVA, 10/0,4 kV với điều kiện qui đổi về phía sơ cấp và phía thứ cấp. Cho các tham số sau:  $\Delta P_N = 8,5 \text{ kW}$ ,  $\Delta P_0 = 1,65 \text{ kW}$ ,  $U_N\% = 5,5\%$ ,  $i_0\% = 3\%$

$$ĐS: \text{qui vè cao } R_B = 2,14 \Omega, X_B = 8,46 \Omega$$

$$\text{qui vè hạ } R_B = 3,43 \cdot 10^{-3} \Omega, X_B = 13,5 \cdot 10^{-2} \Omega$$

**4.11.** Xác định các tham số của sơ đồ thay thế máy biến áp ba cuộn dây công suất định mức 40000 kVA, 220/38,5/11 kV với điều kiện qui đổi về phía cao áp. Công suất ba cuộn dây bằng nhau 100/100/100%. Các tham số của máy biến áp như sau:

$U_{N(C-H)}\% = 22\%$ ,  $U_{N(C-T)}\% = 12,5\%$ ,  $U'_{N(T-H)}\% = 9,5\%$ ,  $\Delta P_{N(C-T)} = \Delta P_{N(C-H)} = \Delta P_{N(T-H)} = 220 \text{ kW}$ ,  $i_0\% = 1,1\%$ ,  $\Delta P_0 = 55 \text{ kW}$ .

$$ĐS: R_{B(C)} = R_{B(T)} = R_{B(H)} = 3,3275 \Omega, X_{B(C)} = 151,25 \Omega, X_{B(T)} = 0,$$

$$X_{B(H)} = 114,95 \Omega, \Delta Q_{Fe} = 0,44 \text{ MVar.}$$

**4.12.** Xác định các tham số của sơ đồ thay thế máy biến áp tự ngẫu 240 MVA, 330/242/11 kV với điều kiện qui đổi về phía điện áp cao. Cho các tham số của máy biến áp:

$U_{N(C-T)}\% = 9,6\%$ ,  $U'_{N(C-H)}\% = 29,6\%$ ,  $U'_{N(T-H)}\% = 24\%$ ,  $\Delta P_{N(C-T)} = 560 \text{ kW}$ ,  $\Delta P'_{N(C-H)} = 260 \text{ kW}$ ,  $\Delta P'_{N(T-H)} = 250 \text{ kW}$ ,  $\Delta P_0 = 130 \text{ kW}$ ,  $i_0\% = 0,5\%$ . Cho công suất định mức cuộn hạ bằng 0,4 công suất định mức của máy biến áp ( $\alpha = 0,4$ )

$$ĐS: R_{B(C)} = 0,58 \Omega, R_{B(T)} = 0,47 \Omega, R_{B(H)} = 2,48 \Omega, X_{B(C)} = 52,4 \Omega,$$

$$X_{B(T)} = 0, X_{B(H)} = 281,1 \Omega, \Delta Q_{Fe} = 1,2 \text{ MVar}$$

**4.13.** Một máy biến áp một pha 60 kVA, 4800/2400 V có các kết quả thí nghiệm như sau:

1. Đặt điện áp định mức vào phía cuộn dây hạ áp và cuộn cao áp để thử. Trong trường hợp này, dòng điện phía hạ áp là 2,4 A và công suất tiêu thụ từ nguồn 2400 V là 3456 W.

2. Đặt một điện áp thấp 1250 V vào cuộn cao áp và ngắn mạch cuộn hạ áp. Trong trường hợp này, dòng điện đi vào cuộn cao áp là 12,5 A và công suất tiêu thụ từ nguồn 1250 V là 4375 W.

- a) Xác định các tham số của sơ đồ thay thế qui vè phía cao áp.
- b) Xác định phần trăm sụt áp và hiệu suất của máy biến áp khi máy biến áp vận hành đầy tải, hệ số công suất 0,8 trễ và điện áp phía thứ cấp là 2400 V.
- c) Phụ tải kVA ứng với hiệu suất lớn nhất ứng với hệ số công suất bằng 0,8 trễ và hiệu suất lớn nhất là bao nhiêu?
- d) Hiệu suất khi máy biến áp mang tải  $\frac{3}{4}$  công suất định mức với hệ số công suất 0,8 trễ và điện áp phía thứ cấp là 2400 V.

$$ĐS: a) 28 + j96 \Omega \quad b) 21,839\%, 85,97\% \quad c) 53,237 \text{ kVA}, 86,057\% \quad d) 85,88\%$$

- 4.14.** Một máy biến áp một pha hai cuộn dây, công suất định mức 9 kVA, 120/90 V. Máy biến áp trên được đấu lại thành máy biến áp tự ngẫu để có thể cung cấp cho phụ tải 120 V từ nguồn 210 V. Tìm công suất kVA có thể cung cấp cho phụ tải mà không vượt quá dòng điện định mức của các cuộn dây.

ĐS: 21 kVA

- 4.15.** Một hệ thống vận hành ở 220 kVA và 11 kV. Dùng những đại lượng này làm cơ bản hãy tính dòng điện cơ bản, tổng trở cơ bản đối với hệ thống.

ĐS: 20 A; 550 Ω

- 4.16.** Dùng 220 kVA và 11 kV làm cơ bản, hãy biểu diễn 138 kV, 2 MVA, 60 A và 660Ω trong đơn vị tương đối.

ĐS: 11,54 ; 9,09 ; 3 ; 1,2 đvtđ

- 4.17.** Nếu 25 Ω và 125 A lần lượt là tổng trở cơ bản và dòng điện cơ bản đối với hệ thống. Tính công suất cơ bản kVA và điện áp cơ bản

ĐS: 390,625 kVA ; 3125 V

- 4.18.** Trị số phần trăm của điện áp, dòng điện, tổng trở, công suất đối với một hệ thống lần lượt là 90, 30, 80 và 150. Dòng điện và tổng trở cơ bản lần lượt là 60 A và 40 Ω. Tính các giá trị thực tế của điện áp, dòng điện, tổng trở, công suất trong đơn vị có tên.

ĐS: 2160 V ; 18 A ; 24 Ω ; 5832 kVA.

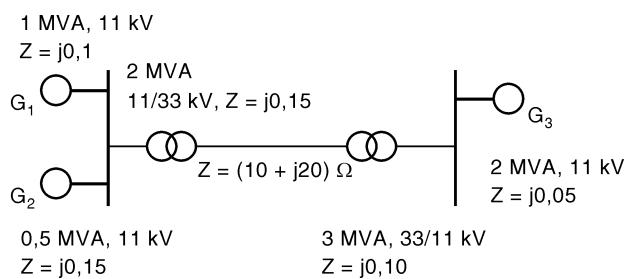
- 4.19.** Một đường dây tải điện một pha cung cấp phụ tải ở hệ số công suất trễ. Phụ tải tiêu thụ dòng điện 1,2 đvtđ ở điện áp 0,6 đvtđ, công suất tác dụng 0,5 đvtđ. Nếu điện áp cơ bản là 20 KV và dòng điện cơ bản là 160 A, hãy tính hệ số công suất, trị số có tên của điện trở tải.

ĐS: 0,694 ; 43,375 Ω

- 4.20.** Tổng trở trong đơn vị tương đối của một hệ thống là 0,7 đvtđ. Công suất cơ bản 300 kVA, điện áp cơ bản 11 kV. a) Hỏi trị số ohm của tổng trở ? b) Trị số ohm này có thay đổi không nếu chọn lại trị số cơ bản mới là 400 kVA và 38 kV ? c) Tính lại trị số của tổng trở trong đơn vị tương đối qui về cơ bản 400 kVA và 38 kV.

ĐS: a) 282,33 Ω b) không c) 0,0782 đvtđ.

- 4.21.** Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống ba máy phát được vẽ trong hình:



Hãy vẽ lại sơ đồ với tất cả theo đơn vị tương đối qui về cơ bản 7000 kVA.

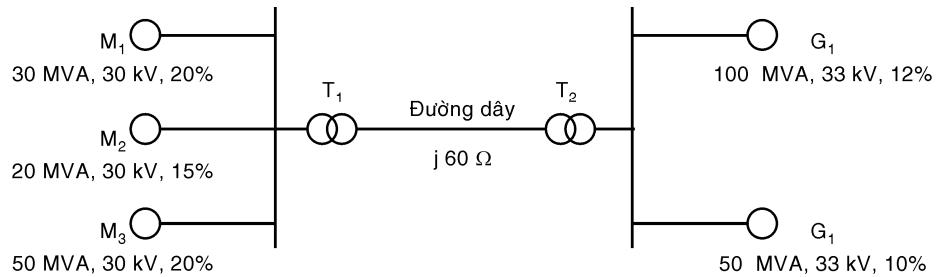
ĐS:  $G_1: j0,7 \quad G_2: j2,1 \quad G_3: j0,175 \quad MBÁ 2 MVA: j0,0525$

$MBÁ 3 MVA: j0,233 \quad Đường dây: 0,064+j0,129$

- 4.22.** Một máy biến áp 100 kVA, 20/5 kV có tổng trở tương đương 10%. Tính tổng trở qui về a) phía 20 kV b) phía 5 kV

ĐS: a) 400 Ω b) 25 Ω

**4.23.** Máy phát điện ba pha  $G_1$  và  $G_2$  cung cấp cho các phụ tải động cơ  $M_1$ ,  $M_2$  và  $M_3$  theo sơ đồ:



Máy biến áp  $T_1$  và  $T_2$  có công suất định mức 100 MVA, 33/110 kV và mỗi máy có điện kháng 0,08 đvtđ. Chọn cơ bản 100 MVA; 110 kV và 33 kV làm cơ bản. Hãy tính tất cả điện kháng trong đơn vị tương đối.

ĐS: MBÁ: 0,08 Đường dây: 0,496 Động cơ: 0,551 ; 0,620 ; 0,331

Máy phát: 0,12 ; 0,2

## Chương 5

### PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

#### 5.1 MỞ ĐẦU

Phân bố công suất là bài toán quan trọng trong qui hoạch, thiết kế phát triển hệ thống trong tương lai cũng như trong việc xác định chế độ vận hành tốt nhất của hệ thống hiện hữu. Thông tin chính có được từ khảo sát phân bố công suất là trị số điện áp và góc pha tại các thanh cáp, dòng công suất tác dụng và phản kháng trên các nhánh. Tuy vậy, nhiều thông tin phụ thêm cũng được tính toán bằng chương trình máy tính.

Trong chương này sẽ đưa ra các mô hình toán học của mạng điện, các phương pháp toán số chọn lọc và các phương pháp phân bố công suất.

#### 5.2 MA TRẬN TỔNG DẪN THANH CÁI ( $Y_{BUS}$ HAY $Y_{TC}$ ) VÀ MA TRẬN TỔNG TRỞ THANH CÁI ( $Z_{BUS}$ HAY $Z_{TC}$ )

Cho hệ thống có bốn nút không kể nút trung tính với sơ đồ đơn tuyến như trong H.5.1a. và sơ đồ thay thế trong H.5.1b. Biểu diễn theo điện áp các nút  $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3$  và  $\bar{U}_4$  và tổng dẫn các nhánh, định luật Kirchoff về dòng điện được viết:

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= \bar{U}_1 \bar{y}_{10} + (\bar{U}_1 - \bar{U}_2) \bar{y}_{12} + (\bar{U}_1 - \bar{U}_3) \bar{y}_{13} \\ \bar{I}_2 &= \bar{U}_2 \bar{y}_{20} + (\bar{U}_2 - \bar{U}_1) \bar{y}_{12} + (\bar{U}_2 - \bar{U}_3) \bar{y}_{23} + (\bar{U}_2 - \bar{U}_4) \bar{y}_{24} \\ \bar{I}_3 &= \bar{U}_3 \bar{y}_{30} + (\bar{U}_3 - \bar{U}_1) \bar{y}_{13} + (\bar{U}_3 - \bar{U}_2) \bar{y}_{23} + (\bar{U}_3 - \bar{U}_4) \bar{y}_{34} \\ \bar{I}_4 &= \bar{U}_4 \bar{y}_{40} + (\bar{U}_4 - \bar{U}_2) \bar{y}_{24} + (\bar{U}_4 - \bar{U}_3) \bar{y}_{34} \end{aligned}$$

Các dòng điện  $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3, \bar{I}_4$  tính theo chiều đi vào nút.

Sắp xếp các phương trình trên dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y}_{10} + \bar{y}_{12} + \bar{y}_{13} & -\bar{y}_{12} & -\bar{y}_{13} & 0 \\ -\bar{y}_{12} & \bar{y}_{20} + \bar{y}_{12} + \bar{y}_{23} + \bar{y}_{24} & -\bar{y}_{23} & -\bar{y}_{24} \\ -\bar{y}_{13} & -\bar{y}_{23} & \bar{y}_{30} + \bar{y}_{13} + \bar{y}_{23} + \bar{y}_{34} & -\bar{y}_{34} \\ 0 & -\bar{y}_{24} & -\bar{y}_{34} & \bar{y}_{40} + \bar{y}_{24} + \bar{y}_{34} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Phương trình (5.1) có thể viết:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix}$$

trong đó:  $\bar{Y}_{11} = \bar{y}_{10} + \bar{y}_{12} + \bar{y}_{13}$

$$\bar{Y}_{22} = \bar{y}_{20} + \bar{y}_{12} + \bar{y}_{23} + \bar{y}_{24}$$

$$\bar{Y}_{33} = \bar{y}_{30} + \bar{y}_{13} + \bar{y}_{23} + \bar{y}_{34}$$

$$\bar{Y}_{44} = \bar{y}_{40} + \bar{y}_{24} + \bar{y}_{34}$$

$$\bar{Y}_{12} = \bar{Y}_{21} = -\bar{y}_{12}$$

$$\bar{Y}_{13} = \bar{Y}_{31} = -\bar{y}_{13}$$

$$\bar{Y}_{14} = \bar{Y}_{41} = -\bar{y}_{14} = 0$$

$$\bar{Y}_{23} = \bar{Y}_{32} = -\bar{y}_{23}$$

$$\bar{Y}_{24} = \bar{Y}_{42} = -\bar{y}_{24}$$

$$\bar{Y}_{34} = \bar{Y}_{43} = -\bar{y}_{34}$$

- Mỗi phần tử  $\bar{Y}_{ii}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) trên đường chéo chính của ma trận gọi là tổng dẫn nút đầu vào của nút i và bằng tổng đại số tất cả các tổng dẫn của các nhánh có nối đến nút i.

- Mỗi phần tử  $\bar{Y}_{ij}$  với  $i \neq j$  ở ngoài đường chéo gọi là tổng dẫn tương hỗ (hay tổng dẫn chuyển) giữa nút i và nút j và bằng số âm của tổng dẫn nhánh (các nhánh) nối giữa nút i và j.

Tổng quát đối với mạng điện có n nút không kể nút trung tính, định luật Kirchoff về dòng điện viết theo điện áp nút được biểu diễn bởi phương trình ma trận:

$$\bar{I} = \bar{Y}_{TC} \cdot \bar{U} \quad (5.3)$$

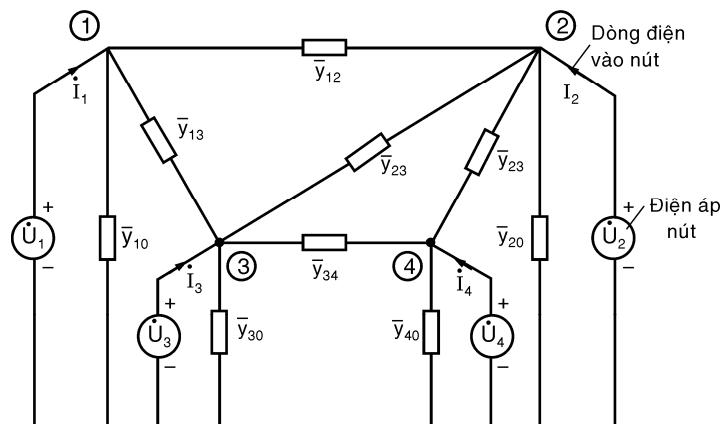
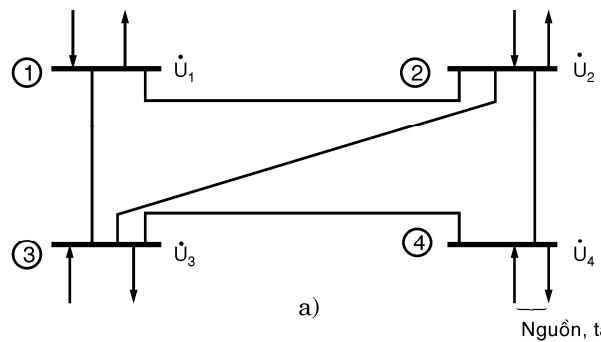
trong đó  $\bar{Y}_{TC}$  là ma trận tổng dẫn thanh cái bậc ( $n \times n$ ) với n là số nút của hệ thống không kể nút trung tính,  $\bar{I}$  là ma trận cột dòng điện nút tính theo chiều đi vào nút,  $\bar{U}$  là ma trận cột điện áp nút so với trung tính.

Ma trận  $\bar{Y}_{TC}$  là ma trận vuông, đối xứng, có nhiều số khống vì mỗi nút chỉ có một vài nhánh nối đến các nút khác, vì vậy  $\bar{Y}_{TC}$  có dạng ma trận thưa.

Nếu biết được các dòng điện nút thì suy ra điện áp nút từ phương trình:

$$\bar{U} = \bar{Y}_{TC}^{-1} \cdot \bar{I} = \bar{Z}_{TC} \cdot \bar{I} \quad (5.4)$$

Ma trận  $Z_{TC}$  là ma trận tổng trở thanh cái ( $Z_{BUS}$ ). Đối với mạng điện bốn nút, ma trận  $Z_{TC}$  có dạng:



Hình 5.1

$$\bar{Z}_{TC} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{14} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{24} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & \bar{Z}_{34} \\ \bar{Z}_{41} & \bar{Z}_{42} & \bar{Z}_{43} & \bar{Z}_{44} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Vì  $\bar{Y}_{TC}$  là ma trận đối xứng nên  $\bar{Z}_{TC}$  cũng là ma trận đối xứng. Phần tử trên đường chéo của ma trận  $\bar{Z}_{TC}$  là tổng trở nút đầu vào và phần tử ngoài đường chéo là tổng trở nút tương hỗ. Ngoài cách tính  $\bar{Z}_{TC}$  từ nghịch đảo ma trận  $\bar{Y}_{TC}$  như trong (5.4), ma trận  $\bar{Z}_{TC}$  có thể được thành lập trực tiếp mà không cần phải nghịch đảo ma trận như sẽ đề cập trong các mục sau. Ma trận  $\bar{Y}_{TC}$  thường dùng trong bài toán phân bố công suất trong hệ thống điện. Ma trận  $\bar{Z}_{TC}$  cũng được dùng trong phân bố công suất với nút cân bằng làm chuẩn đặc biệt dùng để tính tổn thất trong bài toán vận hành kinh tế trong hệ thống, xét tình trạng khẩn cấp sau sự cố, ngoài ra  $\bar{Z}_{TC}$  với nút trung tính làm chuẩn còn dùng chủ yếu trong tính toán ngắn mạch trong hệ thống điện.

### 5.3 CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI MA TRẬN TRONG MẠNG ĐIỆN

#### 5.3.1 Khử nút bằng cách phân chia ma trận

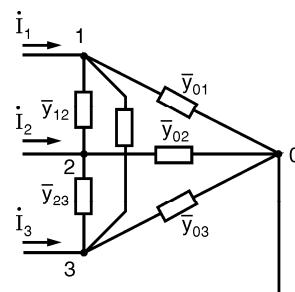
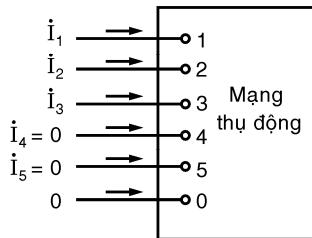
Có thể giảm bớt một điểm nút bằng phép biến đổi sao-lưới, tuy nhiên có thể loại bỏ một nhóm các điểm nút từ phương trình ma trận nút; đặc biệt là khử bớt các nút (thanh cá) không có phụ tải.

Để làm ví dụ, giả thiết một hệ thống điện có năm điểm nút và một nút chuẩn. Phần bên trong hộp kín là mạng điện thụ động không chứa nguồn dòng điện (H.5.2.). Nếu có nguồn dòng điện thì nó sẽ đi vào hộp kín từ phía bên ngoài. Bây giờ nút 4 và 5 cần được loại ra vì không có nguồn dòng hoặc phụ tải.

Phương trình ma trận là:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} & \bar{Y}_{15} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} & \bar{Y}_{25} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} & \bar{Y}_{35} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} & \bar{Y}_{45} \\ \bar{Y}_{51} & \bar{Y}_{52} & \bar{Y}_{53} & \bar{Y}_{54} & \bar{Y}_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$U_i$ : điện áp từ nút i đến nút chuẩn (trung tính).



a) Hệ thống có năm nút với nút 0 làm chuẩn    b) Mạch tương đương sau khi khử nút 4 và 5.

Hình 5.2

hay viết dưới dạng ma trận con:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_1 & \bar{Y}_2 \\ \bar{Y}_3 & \bar{Y}_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Các điện áp  $\bar{U}_4$  và  $\bar{U}_5$  của ma trận con  $\bar{U}_y$  có thể được khử đi bằng phép thế như sau:

$$\begin{aligned} \bar{I}_x &= \bar{Y}_1 \cdot \bar{U}_x + \bar{Y}_2 \cdot \bar{U}_y \\ \bar{I}_y &= 0 = \bar{Y}_3 \cdot \bar{U}_x + \bar{Y}_4 \cdot \bar{U}_y \Rightarrow \bar{U}_y = -\bar{Y}_4^{-1} \cdot \bar{Y}_3 \cdot \bar{U}_x \end{aligned} \quad (5.8)$$

Thay  $\bar{U}_y$  vào phương trình của  $\bar{I}_x$ :

$$\bar{I}_x = \bar{Y}_1 \cdot \bar{U}_x - \bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3 \cdot \bar{U}_x \quad (5.9)$$

$$\bar{I}_x = [\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3] \cdot \bar{U}_x \quad (5.10)$$

Ma trận tổng dẫn rút gọn là:

$$\bar{Y}_{\text{thu gọn}} = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3 \quad (5.11)$$

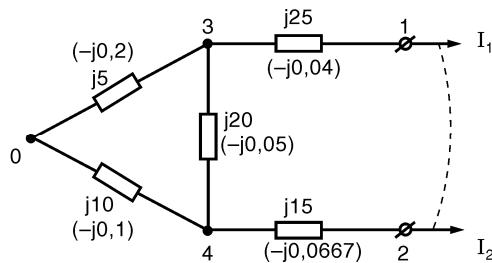
Ma trận  $\bar{Y}_{\text{thu gọn}}$  biểu diễn bằng mạch tương đương ba nút (thêm nút chuẩn 0), trình bày ở H.5.2b.

Sau khi thành lập ma trận thu gọn thì điện áp ở các nút  $U_x$  tính theo nguồn dòng điện như sau:

$$\bar{U}_x = [\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3]^{-1} \bar{I}_x = [\bar{Z}]_{\text{thu gọn}} \bar{I}_x \quad (5.12)$$

Mạch tương đương hình lưới thu gọn tìm được với nhận xét là phần tử ngoài đường chéo  $Y_{kl}$  là số âm của tổng dẫn nhánh nối giữa nút k và l, còn  $Y_{kk}$  là tổng số tất cả các tổng dẫn của các nhánh bao quanh nút k.

**Ví dụ 5.1:** Cho mạng điện trong H.5.3. Loại bỏ các nút không có phụ tải 3 và 4 bằng phép khử nút. Vẽ sơ đồ tương đương của mạng điện thu gọn. Các tổng trở nhánh được ghi trên hình vẽ.



Hình 5.3

Phương trình ma trận điểm nút viết đầy đủ như sau:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \left[ \begin{array}{cc|cc} -j0,04 & 0 & j0,04 & 0 \\ 0 & -j0,0667 & 0 & j0,0667 \\ \hline j0,04 & 0 & -j(0,04+0,05+0,2) & j0,05 \\ 0 & j0,0667 & j0,05 & -j(0,05+0,0667+0,1) \end{array} \right] \times \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix}$$

Đường đứt nét trên hình vẽ ám chỉ mạng điện khảo sát có thể là một phần nhỏ của một hệ thống lớn. Và mạng điện nhỏ này được nối với hệ thống còn lại ở các nút 1 và 2.

Phép thu gọn ma trận thực hiện theo biểu thức dưới đây:

$$\bar{Y}_{\text{thu gọn}} = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3$$

trong đó:

$$\bar{Y}_4^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} -j0,217 & -j0,05 \\ -j0,05 & -j0,29 \end{bmatrix}$$

với  $\Delta = -0,0628 + 0,0025 = -0,0603$

$$\bar{Y}_4^{-1} = \begin{bmatrix} j3,6 & j0,83 \\ j0,83 & j4,82 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3 = \begin{bmatrix} j3,6 & j0,83 \\ j0,83 & j4,82 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} j0,04 & j0 \\ j0 & j0,6667 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,144 & -0,0553 \\ -0,0332 & -0,321 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3 = \begin{bmatrix} j0,04 & 0 \\ 0 & j0,0667 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -0,144 & -0,0553 \\ -0,0332 & -0,321 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j0,00576 & -j0,00221 \\ -j0,00221 & -j0,0214 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \bar{Y}_4^{-1} \bar{Y}_3 = \begin{bmatrix} -j0,04 & 0 \\ 0 & -j0,0667 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -j0,00576 & -j0,00221 \\ -j0,00221 & -j0,0214 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_{\text{thu gọn}} = \begin{bmatrix} -j0,0342 & j0,00221 \\ j0,00221 & -j0,0453 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} \end{bmatrix}$$

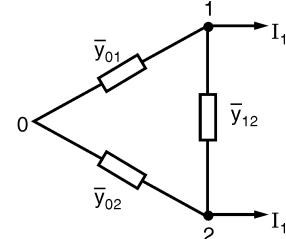
Ma trận  $\bar{Y}_{\text{thu gọn}}$  tương đương với mạch tổng dẫn trong H.5.4:

$$\bar{y}_{12} = -\bar{Y}_{12} = -j0,00221$$

$$\bar{y}_{01} = \bar{Y}_{11} - \bar{y}_{12} = -j0,0342 - (-j0,00221) = -j0,0320$$

$$\bar{y}_{02} = \bar{Y}_{22} - \bar{y}_{12} = -j0,0453 - (-j0,00221) = -j0,0431$$

hay  $\bar{z}_{12} = j453, \bar{z}_{01} = j31,2, \bar{z}_{02} = j23,2$



Hình 5.4

### 5.3.2 Bổ túc về tópô mạch - phương pháp tổng trở mạch vòng

Phương pháp tổng trở mạch vòng dựa trên định luật Kirchoff về điện áp, định luật phát biểu rằng tổng số các sụt áp vòng theo bất kỳ mạch vòng kín nào cũng bằng không. Nếu trong phương pháp tổng dẫn nút, dòng điện phụ tải được tính theo các điện áp của các điểm nút độc lập (diện thế của một nút đối với một nút được chọn làm chuẩn), thì trong phương pháp tổng trở mạch vòng, sức điện động trong mạch vòng phải được tính theo các dòng điện mạch vòng độc lập.

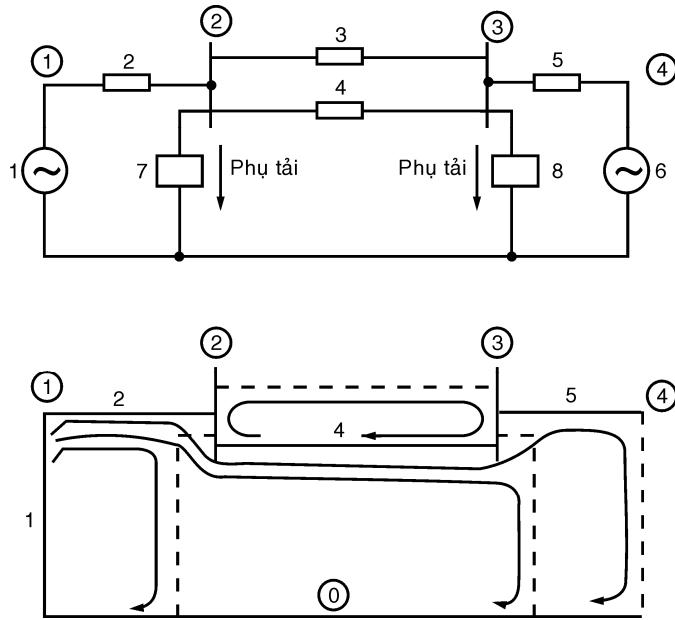
Trong hệ thống phức tạp, số điểm nút độc lập được nhận ra ngay. Nhưng các mạch vòng độc lập không thể vẽ ngay được mà bằng cách nào đó phải bảo đảm viết đủ và viết đúng các mạch vòng độc lập. Một phương pháp có hệ thống đảm bảo viết đúng các phương trình độc lập là phương pháp **cây - nhánh nối**. Khảo sát về tópô mạch cung cấp khái niệm rõ ràng về cây và nhánh nối.

Mạch graph tópô của mạng điện được biểu diễn bằng các đường đơn giản. Những đường này suy từ mạng điện nguyên thủy bằng cách nối tất cả các sức điện động nhánh, trừ các nguồn dòng điện, còn các tổng trở nhánh đều bằng không, nghĩa là biểu diễn bằng các đoạn thẳng trong đó nút là nơi xuất phát của một hoặc nhiều nhánh.

Khi các nhánh nối như thế nào để nó đi qua tất cả các nút mà không tạo ra vòng kín thì tập hợp các nhánh đó gọi là một cây của graph. Đối với một graph nhất định sẽ có nhiều tổ hợp các cây khác nhau.

Khi một cây được thành lập, mỗi nhánh còn lại sẽ tạo một mạch kín, nhánh đó gọi là nhánh nối và mỗi nhánh nối ứng với một mạch vòng, chỉ có một dòng điện mạch vòng qua một nhánh nối, do đó số dòng điện mạch vòng bằng số nhánh nối, tập hợp các nhánh tạo thành một mạch vòng gọi là tập nối.

Ví dụ một mạng điện có sơ đồ H.5.5 như sau:



**Hình 5.5**

- Cây: đường liền nét.
- Nhánh nối: đường chấm chấm.
- Dòng điện mạch vòng: mũi tên.

Mạng điện có tất cả 8 nhánh và 5 nút:  $B = 8$ ,  $N = 5$ .

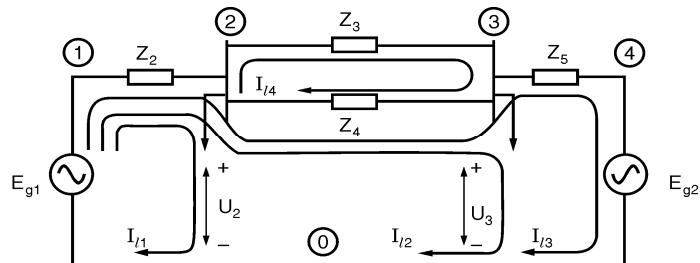
Nhận xét số nhánh cây:  $B_t = N - 1 = 4$  (nhánh cây).

Số mạch vòng bằng số nhánh nối:

$$L = B - B_t = B - N + 1 = 8 - 4 + 5 = 9 \text{ (mạch vòng)}.$$

Số cặp điểm nút độc lập (nút chuẩn và một nút khác hợp thành một cặp điểm nút độc lập) bằng tổng số nút trừ đi 1 (nút chuẩn) và cũng bằng số nhánh cây. Thành lập một cây không những là thiết lập được các dòng điện mạch vòng mà còn thiết lập được một tập hợp các điện áp cặp điểm nút độc lập.

Trở lại mạng điện trong ví dụ trên được vẽ lại trong H.5.6.



**Hình 5.6**

Với các dòng điện mạch vòng  $\bar{I}_{l_1}, \bar{I}_{l_2}, \bar{I}_{l_3}, \bar{I}_{l_4}$  ứng với bốn mạch vòng độc lập.

Các phương trình mạch vòng:

$$\text{Mạch vòng 1: } \bar{E}_1 = \bar{E}_{g_1} - \bar{U}_2 = \bar{Z}_2 \left( \bar{I}_{l_1} + \bar{I}_{l_2} + \bar{I}_{l_3} \right) + 0 \cdot \bar{I}_{l_4}$$

$$\text{Mạch vòng 2: } \bar{E}_2 = \bar{E}_{g_1} - \bar{U}_3 = \bar{Z}_2 \bar{I}_{l_1} + (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_4) \bar{I}_{l_2} + (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_4) \bar{I}_{l_3} - \bar{Z}_4 \bar{I}_{l_4}$$

$$\text{Mạch vòng 3: } \bar{E}_3 = \bar{E}_{g_1} - \bar{E}_{g_2} = \bar{Z}_2 \bar{I}_{l_1} + (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_4) \bar{I}_{l_2} + (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_4 + \bar{Z}_5) \bar{I}_{l_3} - \bar{Z}_4 \bar{I}_{l_4}$$

$$\text{Mạch vòng 4: } \bar{E}_4 = 0 = (0) \cdot \bar{I}_{l_1} - \bar{Z}_4 \bar{I}_{l_2} - \bar{Z}_4 \bar{I}_{l_3} + (\bar{Z}_3 + \bar{Z}_4) \bar{I}_{l_4}$$

hay viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_{g_1} - \bar{U}_2 \\ \bar{E}_{g_1} - \bar{U}_3 \\ \bar{E}_{g_1} - \bar{E}_{g_2} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_2 & \bar{Z}_2 & \bar{Z}_2 & 0 \\ \bar{Z}_2 & \bar{Z}_2 + \bar{Z}_4 & \bar{Z}_2 + \bar{Z}_4 & -\bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_2 & \bar{Z}_2 + \bar{Z}_4 & \bar{Z}_2 + \bar{Z}_4 + \bar{Z}_5 & -\bar{Z}_4 \\ 0 & -\bar{Z}_4 & -\bar{Z}_4 & \bar{Z}_3 + \bar{Z}_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{I}_{l_1} \\ \bar{I}_{l_2} \\ \bar{I}_{l_3} \\ \bar{I}_{l_4} \end{bmatrix}$$

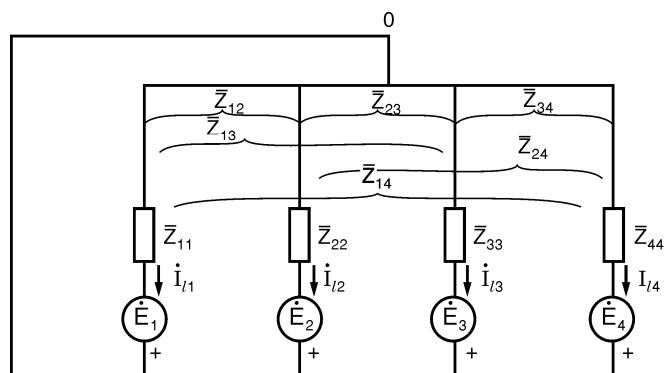
hay:

$$[\bar{E}] = [\bar{Z}_k] \cdot [I_l] \quad (5.13)$$

Phương trình ma trận được viết lại với các số hạng tổng quát hơn của ma trận tổng trở mạch vòng  $[Z_k]$

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_1 \\ \bar{E}_2 \\ \bar{E}_3 \\ \bar{E}_4 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{14} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{24} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & \bar{Z}_{34} \\ \bar{Z}_{41} & \bar{Z}_{42} & \bar{Z}_{43} & \bar{Z}_{44} \end{bmatrix}}_{\bar{Z}_k} \times \begin{bmatrix} \bar{I}_{l_1} \\ \bar{I}_{l_2} \\ \bar{I}_{l_3} \\ \bar{I}_{l_4} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

Và mạch tương đương tổng trở mạch vòng thỏa mãn phương trình ma trận trên đây có thể vẽ trong H.5.7 dưới đây (mạch vòng 4 có sức điện động  $E_4 = 0$ ):

**Hình 5.7**

Dạng tương đương này không cần gióng mạng điện nguyên thủy nhưng những dòng điện

trong mạch tương đương tổng trở mạch vòng giống những dòng điện mạch vòng chạy trong mạng điện nguyên thủy. Chú ý những thành phần trên đường chéo của ma trận biểu diễn các tổng trở nhánh bùn thân trong mạch tương đương và các phần tử ngoài đường chéo biểu diễn cho tổng trở tương hỗ giữa các nhánh. Tóm lại, trong mạch tương đương tổng trở mạch vòng, sự đồng nhất các nút và nhánh với mạng nguyên thủy bị mất đi nhưng dòng điện mạch vòng vẫn không thay đổi.

### 5.3.3 Khử dòng điện mạch vòng bằng phép phân chia ma trận

Dòng điện mạch vòng là ẩn số trong hệ thống các phương trình mạch vòng, tuy vậy có những lúc không cần biết hết các ẩn số này. Trong trường hợp như vậy có thể khử bớt các dòng điện mạch vòng không cần thiết bằng cách phân chia và thu gọn ma trận. Điều này có thể làm được miễn là các mạch vòng kín không cần thiết đó không chứa sức điện động nào cả.

Giả thiết một phương trình ma trận năm mạch vòng trong đó chỉ cần xét ba dòng điện mạch vòng  $I_{l_1}, I_{l_2}, I_{l_3}$  còn  $I_{l_4}$  và  $I_{l_5}$  không đi qua sức điện động nào cả.

Ma trận xem như một ma trận hỗn hợp và phân chia như sau:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_x \\ \bar{E}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{14} & \bar{Z}_{15} & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_1 & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{24} & \bar{Z}_{25} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & \bar{Z}_{34} & \bar{Z}_{35} & \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_{41} & \bar{Z}_{42} & \bar{Z}_3 & \bar{Z}_{43} & \bar{Z}_{44} & \bar{Z}_{45} \\ \bar{Z}_{51} & \bar{Z}_{52} & \bar{Z}_{53} & \bar{Z}_{54} & \bar{Z}_{55} & \bar{Z}_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{l_1} \\ I_{l_2} \\ I_{l_3} \\ I_{l_4} \\ I_{l_5} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

Viết dưới dạng ma trận con:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_x \\ \bar{E}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

Khai triển được hai phương trình ma trận:

$$\bar{E}_x = Z_1 \bar{I}_x + \bar{Z}_2 \bar{I}_y \quad (i)$$

$$\bar{E}_y = Z_3 \bar{I}_x + \bar{Z}_4 \bar{I}_y \quad (ii)$$

Từ phương trình (ii) suy ra được:

$$\bar{I}_y = \bar{Z}_4^{-1} \left( \bar{E}_y - \bar{Z}_3 \bar{I}_x \right) \quad (5.18)$$

Phương trình (i) trở thành:

$$\bar{E}_x = \bar{Z}_1 \bar{I}_x + \bar{Z}_2 \left[ \bar{Z}_4^{-1} \left( \bar{E}_y - \bar{Z}_3 \bar{I}_x \right) \right] \quad (5.19)$$

$$\bar{E}_x = (\bar{Z}_1 - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3) \cdot \bar{I}_x + \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{E}_y \quad (iii)$$

Các nguồn điện áp vòng theo các mạch vòng 4 và 5 bằng 0. Do đó  $E_y$  là ma trận zéro và phương trình (iii) trở thành:

$$\bar{E}_x = (\bar{Z}_1 - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3) \cdot \bar{I}_x \quad (5.20)$$

Suy ra:

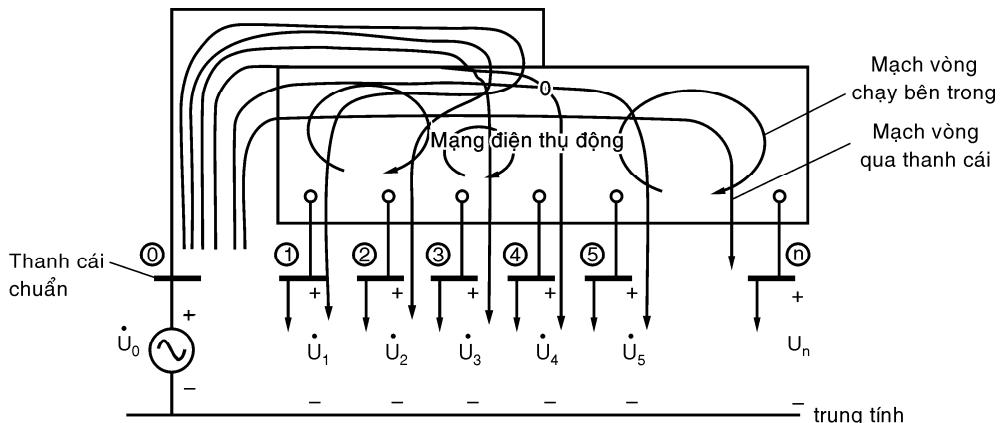
$$\begin{bmatrix} \boxed{I_x} \\ I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boxed{I_x} \\ I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = (\bar{Z}_1 - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3)^{-1} \boxed{E_x} \quad (5.21)$$

Nếu các mạch vòng được chọn một cách thích hợp thì ma trận tổng trở mạch vòng thu gọn sau khi đã khử các dòng điện mạch vòng không cần thiết gọi là ma trận tổng trở thanh cái  $[Z]_{TC}$

### 5.3.4 Phương pháp triển khai ma trận $[\bar{Z}]_{TC}$

Sơ lược về phương pháp tổng quát để thành lập ma trận  $[\bar{Z}]_{TC}$  như sau:

1- Vẽ mạng điện thụ động trong H.5.8. với các thanh cái được kéo ra ngoài mạng thụ động và thanh cái chuẩn (thường là thanh cái máy phát cân bằng và không tính nhánh điện dung đường dây hay bất kỳ đường nào đến trung tính vào trong mạng thụ động, thanh cái cân bằng sẽ nói được rõ hơn trong mục phân loại điểm nút dùng trong phân bố công suất, nếu dùng để tính ngắn mạch thì chọn nút trung tính làm chuẩn) cũng được kéo ra ngoài, thanh cái chuẩn thường đánh số 0.



Hình 5.8

Sức điện động và các điện áp ở thanh cái được ghi trên hình vẽ lần lượt là  $\dot{U}_0, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_n$ . Các thanh cái từ 1 đến n là các thanh cái phụ tải hoặc máy phát.

2- Viết các phương trình mạch vòng, dùng tiêu chuẩn cây nhánh nối để đảm bảo đánh số đầy đủ và đúng các dòng điện mạch vòng. Ở đây các mạch vòng không chọn tùy ý, nhưng có những yêu cầu sau đây:

a) Phải đảm bảo một và chỉ một dòng điện mạch vòng đi qua mỗi thanh cái. Các dòng điện mạch vòng này cũng đi qua thanh cái chuẩn.

b) Tất cả các dòng điện mạch vòng khác chỉ chạy ở bên trong mạng điện thụ động.

3- Dùng phép phân chia ma trận (như đã đề cập ở mục trước) để loại các dòng điện mạch vòng bên trong mạng điện thụ động.

Ma trận tổng trở kết quả được gọi là ma trận tổng trở thanh cái với thanh cái 0 làm thanh cái chuẩn.

$$[\bar{Z}]_{TC} = \bar{Z}_1 - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3 \quad (5.22)$$

4- Dựa vào ma trận  $[\bar{Z}]_{TC}$  thành lập mạch tương đương “hình cào”. Các phần tử trên đường chéo của ma trận biểu diễn cho tổng trở bản thân của nhánh hình cào còn các phần tử ngoài đường chéo là các tổng trở tương hỗ giữa các nhánh của hình cào. Nếu mạng điện có  $n + 1$  nút ( $n$  nút thường và một nút chuẩn) thì ma trận  $[\bar{Z}]_{TC}$  có bậc  $(n \times n)$ .

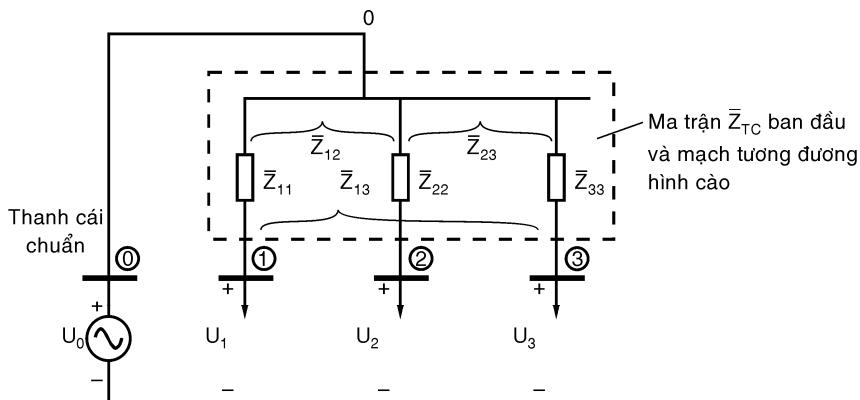
Các bước ứng với  $n$  mạch vòng đi qua mỗi thanh cái trên đây cho ta khái niệm về ma trận tổng trở thanh cái. Tuy vậy, nó chưa phải là phương pháp tốt nhất để thành lập ma trận.

Sau đây ta sẽ trình bày một phương pháp thông dụng để thành lập ma trận tổng trở thanh cái bằng cách mỗi lần thêm một nhánh cho đến khi nối thành mạng điện đầy đủ.

Mỗi lần nối thêm một nhánh sẽ tương ứng với một bước triển khai của ma trận tổng trở thanh cái mới và ma trận thành lập như vậy vẫn chưa đầy đủ cho đến khi nào nhánh cuối cùng được triển khai xong.

Mỗi lần thêm một nhánh sẽ rơi vào một trong các trường hợp sau đây:

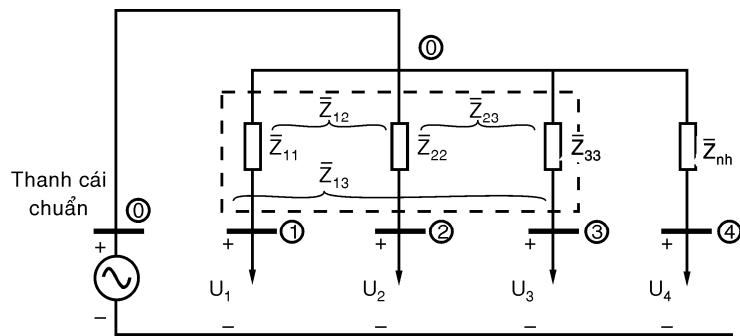
1. Thêm một nhánh từ thanh cái chuẩn đến một thanh cái mới;
2. Thêm một nhánh từ thanh cái chuẩn đến một thanh cái cũ;
3. Thêm một nhánh hình tia (đường dây hoặc máy biến áp) từ một thanh cũ đến một thanh cái mới;
4. Thêm một đường dây hay máy biến áp giữa hai thanh cái cũ.



**Hình 5.9**

Bốn loại trên đây sẽ đề cập theo thứ tự dưới đây. Cũng cần nhấn mạnh rằng ma trận tổng trở thanh cái và mạch tương đương hình cào đều đặt trên cơ sở một pha tương đương với mạng ba pha. Giả thiết rằng trong quá trình thêm nhánh cho đến bây giờ ma trận được triển khai là ma trận cấp  $3 \times 3$ , nghĩa là nó biểu diễn cho một mạng điện có ba thanh cái và một thanh cái chuẩn. Mạch tương đương hình cào có dạng trong H.5.9:

*Loại 1:* Thêm một nhánh máy biến áp hoặc đường dây từ thanh cái chuẩn đến một thanh cái mới (H.5.10.). Loại này nối rộng ma trận tổng trở từ cấp  $n \times n$  trước đó đến cấp  $(n+1) \times (n+1)$ . Như thế, mạch tương đương hình cào mới được thành lập bằng cách thêm một tổng trở  $Z_{nh}$  của nhánh mới từ thanh cái chuẩn 0 đến thanh cái mới.



Hình 5.10

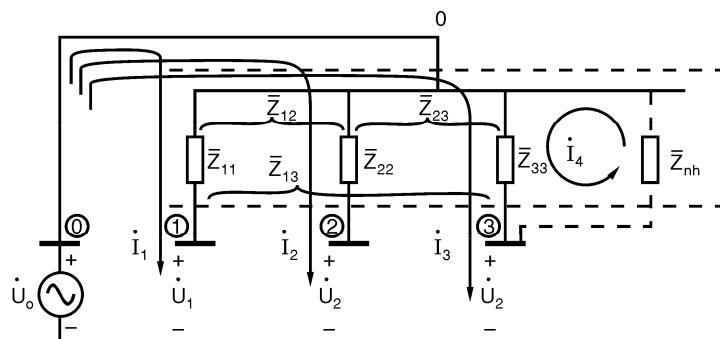
Mạch vòng mới được thành lập và bất kỳ dòng điện mạch vòng  $I_{l_4}$  (tương đương với dòng phụ tải hay máy phát ở thanh cái 4) không ghép tương hỗ với những nhánh khác do đó giải thích tại sao có những phần tử mang số không trong ma trận mõi.

$$[\bar{Z}]_{TC\text{-mõi}} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & 0 \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & 0 \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{nh} \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

Phần nằm trong ô vẽ đứt nét là ma trận  $[\bar{Z}]_{TC}$  cũ trước khi thêm nhánh mới.

*Loại 2:* Thêm một nhánh từ thanh cái chuẩn đến một thanh cái cũ.

Giả thiết thêm một nhánh có tổng trở  $\bar{Z}_{nh}$  từ thanh cái chuẩn đến thanh cái 3 như trong H.5.11:



Hình 5.11

Một mạch vòng mới được thành lập ở hoàn toàn bên trong mạng điện thụ động. Ở đây, một nhánh mới được nối đến thanh cái 3 khép kín mạch vòng thứ tư với dòng điện mạch vòng là  $I_4$ .

Để giải quyết trường hợp này trình tự các công việc phải làm là:

- Viết ma trận tổng trở mạch vòng.

- Loại bỏ mạch vòng bên trong bằng cách phân chia ma trận và thu gọn ma trận để có  $[Z]_{TC}$  mới và mạch tương đương hình cùa 3 thanh cái với thanh cái chuẩn.

a) Ma trận tổng trở mạch vòng:

$$[\bar{Z}]_{mạch\ vòng} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & |\bar{Z}_{14} = \bar{Z}_{13} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & |\bar{Z}_{24} = \bar{Z}_{23} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & |\bar{Z}_{34} = \bar{Z}_{33} \\ \bar{Z}_{41} & \bar{Z}_{42} & \bar{Z}_{43} & |\bar{Z}_{33} + \bar{Z}_{nh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

với  $\bar{Z}_{41} = \bar{Z}_{14} = \bar{Z}_{31}$ ;  $\bar{Z}_{42} = \bar{Z}_{24} = \bar{Z}_{32}$ ;  $\bar{Z}_{43} = \bar{Z}_{34} = \bar{Z}_{33}$

$\bar{Z}_1$  là ma trận thanh cái cũ có bậc  $3 \times 3$ . Chú ý rằng  $\bar{Z}_2$  và  $\bar{Z}_3$  chỉ lặp lại cột 3 và dòng 3 của ma trận cũ. Điều này hợp lý vì các mạch vòng 1, 2 và 3 có cùng tổng trổ tương hõ với mạch vòng 4 cũng như với mạch vòng 3. Cũng để ý thêm rằng dấu của các phần tử của  $\bar{Z}_2$  và  $\bar{Z}_3$  tất cả là âm nếu  $I_4$  chọn theo chiều ngược lại, nhưng vì mạch vòng 4 sẽ bị loại đi và cũng có thể lý luận về sau rằng chiều của dòng điện giả thiết  $I_4$  sẽ không ảnh hưởng đến kết quả cuối cùng. Giả thiết chiều của  $I_4$  ngược chiều kim đồng hồ và các phần tử của  $\bar{Z}_2$  và  $\bar{Z}_3$  có dấu dương.

Tổng trổ bản thân của mạch vòng 4 là tổng số tổng trổ  $\bar{Z}_{nh}$  của nhánh thêm vào với tổng trổ bản thân của mạch vòng 3.

$$\bar{Z}_4 = \bar{Z}_{33} + \bar{Z}_{nh}$$

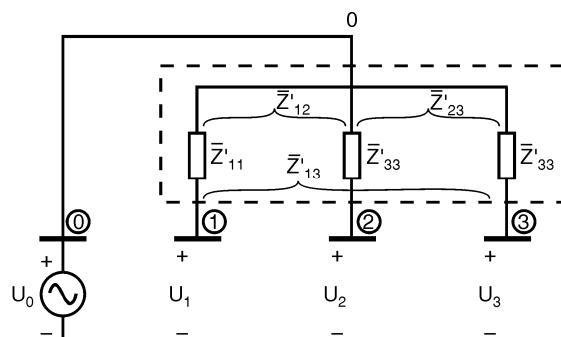
b) Để loại bỏ mạch vòng 4 mới ở bên trong, ta áp dụng công thức thu gọn ma trận bằng phương pháp khử mạch vòng.

$$[\bar{Z}]_{TC-mới} = \bar{Z}_1 - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3 \quad (5.25)$$

Mạch tương đương hình cào của ma trận  $[\bar{Z}]_{TC,mới}$  được vẽ trong H.5.12.

Chú ý: Trong khi nhân  $\bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3$  thì dù cho các phần tử của cả hai ma trận  $\bar{Z}_2$  và  $\bar{Z}_3$  là số âm hay dương thì kết quả vẫn không thay đổi.

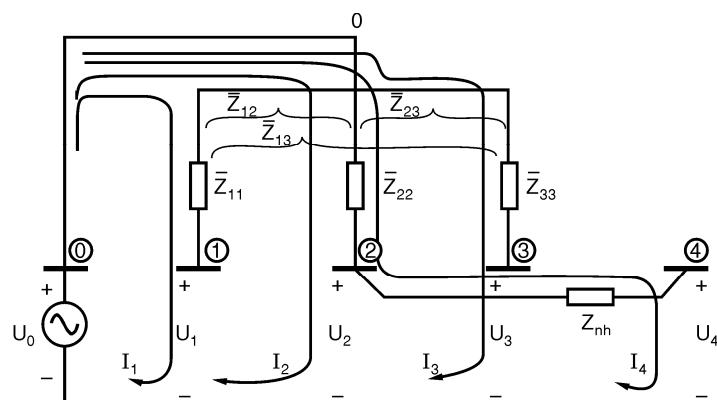
$[\bar{Z}]_{TC-mới}$  có cùng bậc với  $[\bar{Z}]_{TC-cũ}$  nghĩa là bậc  $3 \times 3$ .



Hình 5.12

Loại 3: Thêm một nhánh giữa một thanh cái cũ và một thanh cái mới.

Hình 5.13 dưới đây trình bày việc thêm một tổng trổ nhánh  $Z_{nh}$  nối giữa thanh cái 2 và thanh cái mới 4.



**Hình 5.13**

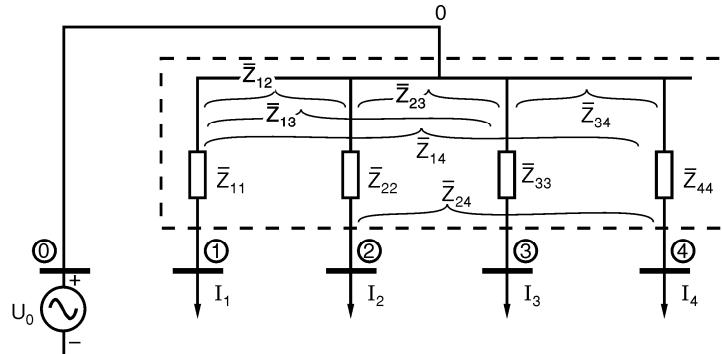
Giả thiết không có ghép hõ cảm giữa đường dây mới và mạng điện còn lại. Các tổng trõ bản thân và tương hõ của các mạch vòng 1, 2 và 3 vẫn không đổi. Công việc phải làm là nõi rộng đến hệ thống bốn thanh cái và thanh cái chuẩn, ma trận tổng trõ mới có bậc  $4 \times 4$ .

$$[\bar{Z}]_{TC\text{-mới}} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{14} = \bar{Z}_{12} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{24} = \bar{Z}_{22} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & \bar{Z}_{34} = \bar{Z}_{32} \\ \hline \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{44} = \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{nh} \end{array} \right] \quad (5.26)$$

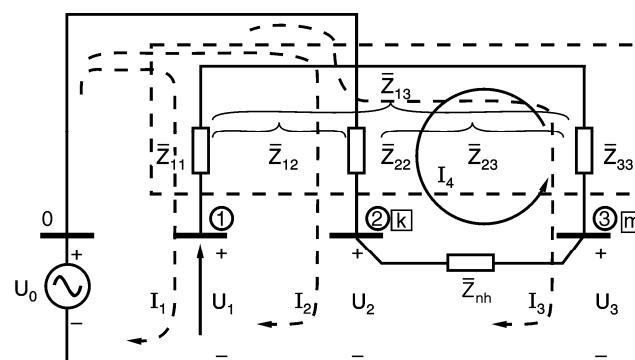
Phân tử  $\bar{Z}_{44}$  của ma trận thanh cái mới bằng tổng của  $\bar{Z}_{nh}$  với tổng trõ bản thân của thanh cái cũ mà ở đó thanh cái cũ được nối đến.

Cũng cần chú ý rằng, các tổng trõ tương hõ mới  $\bar{Z}_{14}, \bar{Z}_{24}, \bar{Z}_{34}$  của ma trận mới lần lượt đồng nhất với  $\bar{Z}_{12}, \bar{Z}_{22}, \bar{Z}_{32}$  vì mạch vòng 4 và mạch vòng 2 có cùng các tổng trõ tương hõ đối với các mạch vòng còn lại. Riêng mạch vòng 4 và 2 có tổng trõ tương hõ bằng  $\bar{Z}_{22}$  vì  $\bar{Z}_{22}$  chung cho hai mạch vòng này.

Ma trận  $\bar{Z}_{TC}$  mới có bậc  $4 \times 4$  và nó tương đương với mạch hình cào 4 thanh cái với thanh cái chuẩn trong H.5.14.

**Hình 5.14**

*Loại 4:* Thêm một nhánh giữa hai thanh cái cũ.

**Hình 5.15**

Giả thiết mắc thêm một nhánh  $\bar{Z}_{nh}$  vào giữa thanh cái 2 và 3 (H.5.15). Phân vẽ bên trong

đường đứt nét là hình cào của  $[\bar{Z}]_{TC-cũ}$ . Số thanh cái vẫn không đổi nhưng mạch tương đương hình cào phải được sửa đổi lại để có ma trận  $[\bar{Z}]_{TC-mới}$ .

Việc đóng thêm nhánh mới tạo ra một mạch vòng chạy bên trong sơ đồ cào. Ma trận tổng trở mạch vòng  $4 \times 4$  có thể viết do quan sát trên hình vẽ:

$$[\bar{Z}]_{mạch\ vòng} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{14} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{24} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & \bar{Z}_{34} \\ \bar{Z}_{41} & \bar{Z}_{42} & \bar{Z}_{43} & \bar{Z}_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{14} &= \bar{Z}_{12} - \bar{Z}_{13} = \bar{Z}_{41} \\ \bar{Z}_{24} &= \bar{Z}_{22} - \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{42} \\ \bar{Z}_{34} &= \bar{Z}_{32} - \bar{Z}_{33} = \bar{Z}_{43} \end{aligned} \quad (5.28)$$

Ma trận cũ  $3 \times 3$  là ma trận con  $\bar{Z}_1$ . Để có được hàng 4 và cột 4 của  $\bar{Z}_{mạch\ vòng}$  hãy quan sát các dòng điện mạch vòng trên hình vẽ.

Phân tử  $\bar{Z}_{44}$  biểu diễn cho tổng trở bản thân của mạch vòng 4. Tổng trở này gồm  $\bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{33} + \bar{Z}_{nh}$  cộng thêm tác dụng tương hỗ của  $\bar{I}_4$  trên chính mạch vòng của nó. Để ý dòng  $\bar{I}_4$  chạy xuống qua  $\bar{Z}_{22}$ , dòng này phản ánh một điện áp trên nhánh  $\bar{Z}_{33}$  tỷ lệ với  $\bar{Z}_{23}$ . Dấu của điện áp tương hỗ này ngược với điện áp tạo bởi  $I_4$  chạy hướng lên ở nhánh  $\bar{Z}_{33}$  (dòng chạy qua  $\bar{Z}_{22}$  và  $\bar{Z}_{33}$  ngược chiều nhau) và do đó tổng trở  $\bar{Z}_{23}$  được thêm dấu âm. Phải thêm hai lần điện áp tương hỗ vì khi  $\bar{I}_4$  chạy hướng lên đi qua  $\bar{Z}_{33}$  thì nó cũng phản ánh một điện áp tương hỗ trên nhánh  $\bar{Z}_{22}$  của chính mạch vòng của nó và điện áp tương hỗ này cũng tỷ lệ với  $\bar{Z}_{23}$ . Tóm lại:

$$\bar{Z}_{44} = \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{33} + \bar{Z}_{nh} - 2\bar{Z}_{23} \quad (5.29)$$

Một cách tổng quát, nếu  $\bar{Z}_{nh}$  nối giữa hai thanh cái k và m thì ma trận con  $\bar{Z}_4$  có dạng:

$$\bar{Z}_4 = \bar{Z}_{kk} + \bar{Z}_{mm} + \bar{Z}_{nh} - 2\bar{Z}_{km} \quad (5.30)$$

trong đó  $\bar{Z}_{kk}$ ,  $\bar{Z}_{mm}$  là các tổng trở bản thân của thanh cái k, m và  $\bar{Z}_{km}$  là tổng trở tương hỗ giữa thanh cái k và m của ma trận (hay hình cào) cũ.

Kế đó, xét những phân tử còn lại trong cột 4 của ma trận tổng trở mạch vòng lần lượt là  $\bar{Z}_{14}$ ,  $\bar{Z}_{24}$  và  $\bar{Z}_{34}$ . Những phân tử này theo thứ tự bằng với những phân tử của dòng 4 là  $\bar{Z}_{41}$ ,  $\bar{Z}_{42}$  và  $\bar{Z}_{43}$  do tính đối xứng của ma trận.

Để xác định ba giá trị này, hãy xét  $\bar{Z}_{41}$ . Vì  $\bar{I}_4$  đi trong mạch vòng 4 nó sẽ phản ánh một điện áp tương hỗ với mạch vòng 1 qua các tổng trở tương hỗ  $\bar{Z}_{12}$  và  $\bar{Z}_{13}$  hay có thể biểu diễn qua tổng trở tương hỗ:  $\bar{Z}_{41} = \bar{Z}_{12} - \bar{Z}_{13}$  (trừ với nhau vì  $\bar{I}_4$  chạy ngược chiều trong nhánh hình cào số 2 và số 3).

Một biểu thức tổng quát viết cho tổng trở tương hỗ giữa mạch vòng p bên trong hình cào với mạch vòng thứ i đi qua thanh cái i khi có nhánh nối giữa hai thanh cái k và m:

$$\bar{Z}_{pi} = \bar{Z}_{ip} = \bar{Z}_{ki} - \bar{Z}_{mi} \quad p \neq i \quad (5.31)$$

Chiều của dòng điện mạch vòng  $\bar{I}_p$  sẽ không ảnh hưởng đến kết quả cuối cùng.

Sau khi thành lập ma trận tổng trở mạch vòng, việc loại trừ mạch vòng bên trong hình cào nhờ vào phương trình khử mạch vòng:

$$[\bar{Z}]_{TC-mới} = [\bar{Z}_1] - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3 ; \quad \text{với } [\bar{Z}_1] = [\bar{Z}]_{TC-cũ} \quad (5.32)$$

Trong khảo sát thực hành, việc loại bỏ một mạch vòng thay vì bằng phương trình ma trận trên đây có thể thực hiện trên cơ sở của riêng mỗi phần tử. Chẳng hạn, có thể chứng tỏ rằng mỗi phần tử riêng rẽ của  $[Z]_{TC}$  mới bậc  $3 \times 3$  có thể được tìm trực tiếp theo các phần tử của mạch vòng  $[\bar{Z}]_{mạch\ vòng}$  bậc  $4 \times 4$ .

Gọi  $\bar{Z}'_{mn}$  là phần tử ở hàng  $m$  cột  $n$  của ma trận  $[\bar{Z}]_{TC}$  cấp  $3 \times 3$  mới và  $\bar{Z}_{mn}$  là phần tử tương ứng của ma trận  $[\bar{Z}]_{mạch\ vòng}$  cấp  $4 \times 4$ . Công thức sau đây cho phép tính  $\bar{Z}'_{mn}$ :

$$\boxed{\bar{Z}'_{mn} = \bar{Z}_{mn} - \bar{Z}_{m4} \bar{Z}_{44}^{-1} \bar{Z}_{4n}} \quad (5.33)$$

**Ví dụ 5.2:** Trình bày cách thành lập phần tử  $Z'_{23}$  của  $[Z]_{TC}$  mới từ các phần tử của  $[Z]_{mạch\ vòng}$  trong đó mạch vòng 4 bị loại bỏ.

$$\bar{Z}_{mạch\ vòng} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} & \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{14} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} & \bar{Z}_{23} & \bar{Z}_{24} \\ \bar{Z}_{31} & \bar{Z}_{32} & \bar{Z}_{33} & \bar{Z}_{34} \\ \bar{Z}_{41} & \bar{Z}_{42} & \bar{Z}_{43} & \bar{Z}_{44} \end{bmatrix} ; \quad [\bar{Z}]_{TC-mới} = \begin{bmatrix} \bar{Z}'_{11} & \bar{Z}'_{12} & \bar{Z}'_{13} \\ \bar{Z}'_{21} & \bar{Z}'_{22} & \bar{Z}'_{23} \\ \bar{Z}'_{31} & \bar{Z}'_{32} & \bar{Z}'_{33} \end{bmatrix}$$

$$\text{trong đó: } \bar{Z}_{14} = \bar{Z}_{12} - \bar{Z}_{13} = \bar{Z}_{41}$$

$$\bar{Z}_{24} = \bar{Z}_{22} - \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{42}$$

$$\bar{Z}_{34} = \bar{Z}_{32} - \bar{Z}_{33} = \bar{Z}_{43}$$

$$\Rightarrow \bar{Z}'_{23} = \bar{Z}_{23} - \bar{Z}_{24} \bar{Z}_{44}^{-1} \bar{Z}_{43}$$

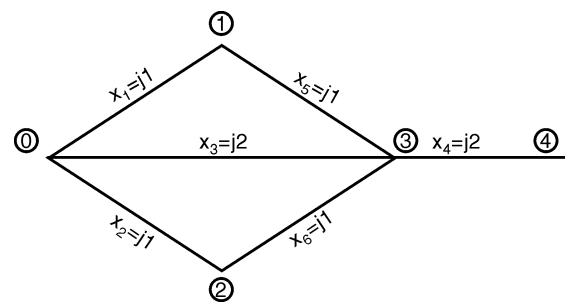
Những phần tử có liên quan được *in đậm* trong hai ma trận.

Trên đây đã đề cập đến việc thành lập  $[Z]_{TC}$  với một thanh cái chọn làm chuẩn (thường là thanh cái máy phát cân bằng). Ma trận này còn có tên gọi khác là ma trận phân bố sụt áp, ma trận này rất hữu ích trong việc phân bố công suất và một số vấn đề có liên quan đến vận hành kinh tế hệ thống điện.

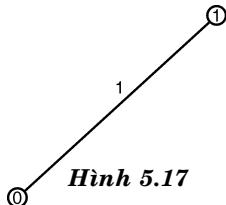
Ngoài ra, cũng cần nhấn mạnh là nếu chọn điểm trung tính của hệ thống làm thanh cái chuẩn và cũng áp dụng bốn hình thức triển khai ma trận vừa nói trên thì cũng có được một ma trận tổng trở thanh cái. Trong ma trận này, các nhánh điện kháng máy phát điện được kể vào trong mạch tương đương hình cào, một ma trận như vậy gọi là ma trận tổng trở ngắn mạch, sẽ được khảo sát trong việc tính ngắn mạch. Một áp dụng của loại ma trận ngắn mạch này sẽ được nói đến trong chương điều chỉnh điện áp trong hệ thống điện.

**Ví dụ 5.3:** Thành lập ma trận  $[Z]_{TC}$  của sơ đồ điện kháng trong H.5.16 sau đây, với thanh cái 0 được chọn làm thanh cái chuẩn, điện kháng của các thanh ghi trên hình vẽ.

Ma trận  $[Z]_{TC}$  được triển khai theo thuật toán lấp dần từng nhánh gồm các bước như sau (để đơn giản bỏ qua ký hiệu  $j$  của kháng và xem như mạch điện trống):



Hình 5.16

**Hình 5.17**

Bước 1: Lắp nhánh 1 từ nút chuẩn 0 đến nút mới 1 (H.5.17).

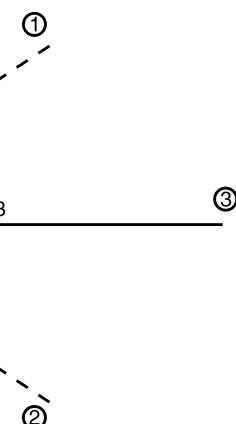
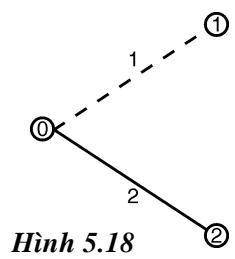
$$[Z]_{TC} = [Z_{nh}] = [1]$$

Bước 2: Lắp nhánh 2 từ nút chuẩn 0 đến nút mới 2 (H.5.18).

$$[Z]_{TC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

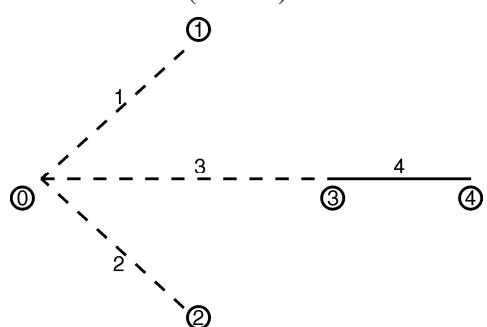
Bước 3: Lắp nhánh 3 từ nút chuẩn 0 đến nút mới 3 (H.5.19).

$$[Z]_{TC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{matrix} ① \\ ② \\ ③ \end{matrix}$$

**Hình 5.19**

Bước 4: Lắp nhánh 4 từ nút cũ 3 đến nút mới 4 (H.5.20).

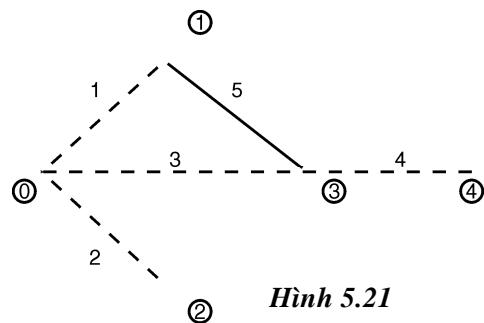
$$\begin{aligned} Z_{14} &= Z_{13} = 0 \Omega \\ Z_{24} &= Z_{23} = 0 \Omega \\ Z_{34} &= Z_{33} = 2 \Omega \\ Z_{44} &= Z_{33} + z_{nh} = 2 + 2 = 4 \Omega \end{aligned}$$

**Hình 5.20**

$$[Z_{TC}] = \begin{bmatrix} ① & ② & ③ & ④ \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 4 \end{bmatrix} \begin{matrix} ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{matrix}$$

Bước 5: Lắp nhánh 5 từ nút cũ 1 đến nút cũ 3. (H.5.21).

Ma trận tổng trở mạch vòng:



Hình 5.21

$$[Z_{mv}] = \left[ \begin{array}{cc|cc|c} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & -2 \\ 0 & 0 & 2 & 4 & -2 \\ \hline 1 & 0 & -2 & -2 & 4 \end{array} \right] \begin{matrix} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \end{matrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \end{bmatrix}$$

trong đó:

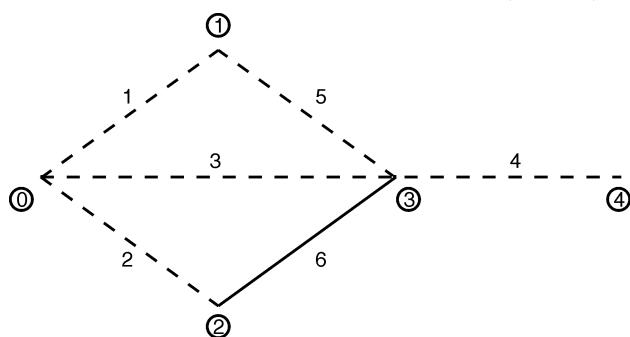
$$\begin{aligned} Z_{15} &= Z_{11} - Z_{31} = 1 - 0 = 1 \\ Z_{25} &= Z_{12} - Z_{32} = 0 - 0 = 0 \\ Z_{35} &= Z_{13} - Z_{33} = 0 - 2 = -2 \\ Z_{45} &= Z_{14} - Z_{34} = 0 - 2 = -2 \\ Z_{55} &= Z_{11} + Z_{33} + z_{nh} - 2Z_{13} = 1 + 2 + 1 - 2 \times 0 = 4 \end{aligned}$$

Khử mạch vòng khép kín bên trong để có  $[\bar{Z}_{TC}]$  ở bước này theo công thức:

$$\begin{aligned} [\bar{Z}_{TC}] &= [\bar{Z}_1] - \bar{Z}_2 \bar{Z}_4^{-1} \bar{Z}_3 \\ [\bar{Z}_{TC}] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -2 \\ -2 \end{bmatrix} \times \frac{1}{4} \times [1 \ 0 \ -2 \ -2] \\ &\quad \begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} \end{matrix} \\ [\bar{Z}_{TC}] &= \begin{bmatrix} 0,75 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 1 & 1 \\ 0,5 & 0 & 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{matrix} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{4} \end{matrix} \end{aligned}$$

Bậc (4 x 4)

Bước 6: Lắp nhánh 6 từ thanh cái cũ 2 đến thanh cái cũ 3 (H.5.22).



Hình 5.22

Mã trận tổng trở mạch vòng suy từ thanh  $[Z_{TC}]^{\text{cũ}}$  ở cuối bước 5.

$$[Z_{mv}] = \begin{bmatrix} 0,75 & 0 & 0,5 & 0,5 & -0,5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0,5 & 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0,5 & 0 & 1 & 3 & -1 \\ -0,5 & 1 & -1 & -1 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & | & Z_2 \\ \hline Z_3 & | & Z_4 \end{bmatrix}$$

$$Z_{15} = Z_{21} - Z_{31} = 0 - 0,5 = -0,5$$

$$Z_{25} = Z_{22} - Z_{32} = 1 - 0 = 1$$

$$Z_{35} = Z_{23} - Z_{33} = 0 - 1 = -1$$

$$Z_{45} = Z_{24} - Z_{34} = 0 - 1 = -1$$

$$Z_{55} = Z_{22} + Z_{33} + Z_{nh} - 2Z_{23} = 1 + 1 + 1 - 2 \times 0 = 3$$

Khử mạch vòng thứ 5 để có  $[Z_{TC}]$  cuối cùng của mạng đã lấp đầy các nhánh.

$$[Z_{TC}] = Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_3$$

$$[Z_{TC}] = \begin{bmatrix} 0,75 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 1 & 1 \\ 0,5 & 0 & 1 & 3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0,5 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} \times \left(\frac{1}{3}\right) \times [-0,5 \ 1 \ -1 \ -1]$$

$$[Z_{TC}] = j \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{8}{3} \end{bmatrix} \Omega$$

#### 5.4 CÁC PHƯƠNG PHÁP TOÁN SỐ CHỌN LỌC

Các công ty điện lực phải có kế hoạch trong tương lai để bắt kịp với đà phát triển của phụ tải. Phụ tải mới, máy phát đưa vào, liên kết mới trong hệ thống, tất cả đều có ảnh hưởng đến điện áp và dòng điện trong hệ thống, cũng như đến dòng công suất tác dụng và phản kháng. Những ảnh hưởng này phải được khảo sát trước hết, với một độ chính xác nào đó. Bàn tính điện một chiều đã được dùng có kết quả trong khảo sát ngắn mạch nhưng không thể dùng cho bài toán phân bố công suất bình thường. Chẳng hạn trong khảo sát ngắn mạch, thường giả thiết tất cả các sức điện động máy phát bằng nhau về trị số cũng như góc pha, bỏ qua điện trở của các nhánh và dòng phụ tải cũng được bỏ qua vì chúng nhỏ hơn nhiều so với dòng ngắn mạch. Trong bài toán phân bố công suất, những giả thiết như vậy không được chấp nhận. Điều này có nghĩa là tổng trở phức, quan hệ về góc lệch pha, hệ số công suất của phụ tải... trở nên một phần quan trọng của bài toán. Khảo sát bằng bàn tính xoay chiều, có phần tốn kém, mất thời gian và phương pháp dùng máy tính số có nhiều quả hơn.

Một sự đề cập đầy đủ tất cả các phương pháp sẽ vượt qua ngoài giới hạn của quyển sách này và tốt hơn hết là bắt đầu với phương pháp toán số. Khái niệm về định thức và ma trận xem như người đọc đã hiểu. Bài toán phân bố công suất trên máy tính phần lớn có liên quan đến việc giải đồng thời hệ thống các phương trình.

Có nhiều cách để giải trực tiếp hệ thống n phương trình tuyến tính. Át hẳn phép giải đại số bằng phép thế một ẩn tính theo các ẩn khác cho đến khi còn lại một ẩn có lẽ là phương pháp đơn giản nhất, nhưng phương pháp này chỉ dùng tốt khi số ẩn số ít, thường từ hai đến ba ẩn số. Vì vậy, khi ẩn số trở nên nhiều thì thường dùng qui tắc Cramer đối với phép giải dùng định thức.

Ngoài phương pháp dùng qui tắc Cramer, nghịch đảo ma trận thông thường, sau đây trình bày các phương pháp giải trực tiếp hoặc giải bằng phép lặp hệ phương trình tuyến tính hoặc phi tuyến.

#### 5.4.1. Phương pháp điểm xoay áp dụng cho định thức

Phương pháp này dùng để tính định thức và dùng làm nguyên tắc hữu ích cho việc nghịch đảo ma trận. Cho định thức:

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Định thức không thay đổi nếu các phần tử của một hàng (hay cột) được cộng với bội số của các phần tử tương ứng của một hàng khác (hay cột khác). Giả thiết qua một số phép biến đổi theo hàng như vậy các phần tử trong tam giác dưới của (1) trở thành số không.

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ 0 & 0 & c_{33} & c_{34} \\ 0 & 0 & 0 & d_{44} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Khai triển định thức theo các định thức con, giá trị của D sẽ bằng tích số các phần tử trên đường chéo

$$D = a_{11} b_{22} c_{33} d_{44} \quad (3)$$

Để có được kết quả này, trước hết thu gọn các phần tử bên dưới  $a_{11}$  về số không để có định thức  $D = a_{11} \cdot |3 \times 3|$ . Kế đó cột 1 của  $|3 \times 3|$  được làm tương tự để có  $D = a_{11} b_{22} |2 \times 2|$  và cuối cùng  $|2 \times 2|$  cũng làm như vậy để có kết quả trong phương trình (3).

Bây giờ để có được các số không trong cột 1 bên dưới  $a_{11}$  có thể trừ các bội số thích hợp của hàng 1 cho các hàng còn lại mà không làm thay đổi giá trị của D. Kết quả là:

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & (a_{22} - \frac{a_{21}a_{12}}{a_{11}}) & (a_{23} - \frac{a_{21}a_{13}}{a_{11}}) & (a_{24} - \frac{a_{21}a_{14}}{a_{11}}) \\ 0 & (a_{32} - \frac{a_{31}a_{12}}{a_{11}}) & (a_{33} - \frac{a_{31}a_{13}}{a_{11}}) & (a_{34} - \frac{a_{31}a_{14}}{a_{11}}) \\ 0 & (a_{42} - \frac{a_{41}a_{12}}{a_{11}}) & (a_{43} - \frac{a_{41}a_{13}}{a_{11}}) & (a_{44} - \frac{a_{41}a_{14}}{a_{11}}) \end{vmatrix} \quad (4)$$

hay: 
$$D = a_{11} \begin{vmatrix} b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{vmatrix} \quad (5)$$

trong đó các số hạng trong dấu ngoặc của phương trình (4) được thay bằng chữ b trong phương trình (5).

Với cách thức tương tự  $b_{32}$  và  $b_{42}$  cũng được biến đổi về số không:

$$D = a_{11} \cdot b_{22} \begin{vmatrix} c_{33} & c_{34} \\ c_{43} & c_{44} \end{vmatrix} \quad (6)$$

Tiếp tục làm cho  $c_{43}$  bằng không và có được tam giác dưới toàn số không như trong phương trình (2).

Điểm xoay trong ví dụ trên là  $a_{11}, b_{22}, c_{33}$ . Máy tính thực hiện trực tiếp và có thứ tự. Tuy vậy cũng gặp các tình trạng cần được xử lý. Ví dụ nếu  $a_{11}$  bằng không thì nó không thể dùng điểm xoay trong lần tính đầu tiên và trong bất kỳ phép tính tiếp theo nào đều phải kiểm tra lại điều kiện này. Để có độ chính xác mong muốn phần tử được dùng làm điểm xoay được chọn phải là phần tử lớn nhất của cột chứa phần tử đó, các hàng được dời đổi bằng cách điều chỉnh lại dấu của định thức. Nếu chọn phần tử nhỏ nhất để làm điểm xoay sẽ làm cho các thừa số trong lần thu gọn đầu tiên ( $a_{21}/a_{11}, a_{31}/a_{11} \dots$ ) đều lớn hơn một làm mất chính xác đặc biệt là khi số con số có ý nghĩa được qui định trong phép tính số học.

#### 5.4.2. Phương pháp thu gọn Gauss

Cho tập hợp phương trình đại số tuyến tính:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = a_{14} \quad (7)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = a_{24} \quad (8)$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = a_{33} \quad (9)$$

Quá trình có thứ tự và dễ làm. Đối với hệ phương trình đơn giản nói trên, công việc bao gồm việc thu gọn ba phương trình ba ẩn số ( $x_1, x_2$ , và  $x_3$ ) về hệ hai phương trình hai ẩn số ( $x_2$  và  $x_3$ ) và cuối cùng còn lại một phương trình để giải được  $x_3$ . Thay thế  $x_3$  ngược trở lại để tìm  $x_2$  và  $x_1$ . Nói rõ hơn:

1. (a) Chia phương trình (7) cho  $a_{11}$  có được:

$$x_1 + \left( \frac{a_{12}}{a_{11}} \right) x_2 + \left( \frac{a_{13}}{a_{11}} \right) x_3 = \frac{a_{14}}{a_{11}} \quad (10)$$

(b) Nhân (10) với  $a_{21}$  trừ kết quả có được với phương trình (8) để khử  $x_1$

(c) Nhân phương trình (10) với  $a_{31}$  và trừ kết quả với phương trình (9) để khử  $x_2$ . Một tập hợp các phương trình phụ được hình thành:

$$b_{22}x_2 + b_{23}x_3 = b_{24} \quad (11)$$

$$b_{32}x_2 + b_{33}x_3 = b_{34} \quad (12)$$

2. Lặp lại quá trình tổng quát của phần 1 cho các phương trình (11) và (12) để khử  $x_2$ . Cuối cùng có được:

$$c_{33}x_3 = c_{34} \quad (13)$$

hay  $x_3 = \frac{c_{34}}{c_{33}}$

3. Thay giá trị của  $x_3$  ngược trở lại phương trình (11) hay (12) để giải  $x_2$ . Kế đó thay  $x_2$  và  $x_3$  vào trong một trong các phương trình ban đầu để giải  $x_1$ . Tổng quát là đi ngược lại và thực hiện phép thế.

Điều này buộc trong quá trình tính toán là không có một hệ số bắt đầu nào ( $a_{11}$  và  $b_{22}$  trong ví dụ) bằng số không. Nếu  $a_{11}$  bằng không phải đánh số lại các phương trình hoặc các ẩn số để tránh bị chia cho số không. Việc đánh số lại này cũng cần thiết nếu hệ số bắt đầu nhỏ so với các hệ số khác nhằm mục đích giảm sai số.

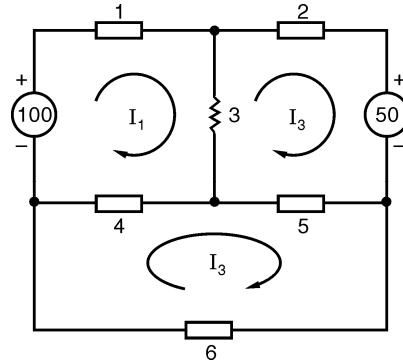
**Ví dụ 5.4:** Cho mạch điện như trong H.5.23 với ba dòng điện măt lưới  $I_1$ ,  $I_2$  và  $I_3$ . Viết các phương trình điện áp và giải bằng phép thu gọn Gauss

$$8I_1 - 3I_2 - 4I_3 = 100 \quad (14)$$

$$-3I_1 + 10I_2 - 5I_3 = -50 \quad (15)$$

$$-4I_1 - 5I_2 + 15I_3 = 0 \quad (16)$$

Việc tính toán được lập thành bảng, mỗi hàng ứng với một phương trình măt lưới. Thêm một cột tổng để kiểm tra tính toán. Tổng của một hàng bằng tổng số các hệ số của hàng đó cộng với hằng số ứng với vế trái của phương trình. Nếu cùng thực hiện một phép tính trên cột tổng cũng như các cột khác thì mỗi trị số trên cột kiểm soát phải bằng với tổng các hệ số cộng với hằng số trên cùng hàng.



Hình 5.23

Số hàng	$I_1$	$I_2$	$I_3$	K	$\Sigma$	Ghi chú
Pt Ban đầu	(1)	8	-3,000	-4,000	100,000	101,000
	(2)	-3	10,000	-5,000	-50,000	-48,000
	(3)	-4	-5,000	15,000	0,000	6,000
	(4)	1	-0,375	-0,500	12,500	12,625
	(5)	-3	1,125	1,500	-37,500	-37,875
	(6)	-4	1,500	2,000	-50,000	-50,500
thu gọn lần 1	(7)	0	8,875	-6,500	-12,500	hàng (1): (8)
	(8)	0	-6,500	13,000	50,000	hàng (4) x (-3)
	(9)	0	1,000	-0,732	-1,409	hàng (4) x (-4)
thu gọn lần cuối → (11)	(10)	0	-6,500	4,761	9,155	hàng (2) - (5)
			0,000	8,239	40,845	hàng (3) - (6)
						hàng (7): 8.875
						hàng (9) x (-6.5)
						hàng (8) - hàng (10)

Từ phép thu gọn cuối cùng:

$$8,239 \cdot I_3 = 40,845 \Rightarrow I_3 = 4,96$$

Đi ngược lại dùng hàng 9

$$I_2 - (0,732) \cdot (4,96) = -1,409$$

$$I_1 = 2,22$$

Đi ngược lại hàng 4

$$I_1 - (0,375) \cdot (2,22) - (5) (4,96) = 12,5$$

$$I_1 = 15,81$$

Một dạng khác của phương pháp Gauss được gọi là phương pháp thu gọn Gauss-Jordan. Phương pháp này loại bỏ sự cần thiết phải thay thế ngược lại. Cùng lúc đó, nó đòi hỏi công việc phụ thêm khác. Giả thiết lấy pt đầu của tập hợp các phương trình trong mỗi lần của phép thu gọn

Gauss và dùng nó để khử ẩn số thứ nhất của tập hợp này trong phương trình thứ nhất của tập hợp phương trình của lần thu gọn trước. Nếu điều này được lặp đi lặp lại, kết quả sẽ có các phương trình có các hệ số bằng không ngoại trừ một hệ số. Kỹ thuật này được minh họa bằng cách dùng các phương trình từ (7) đến (9). Các phương trình thứ nhất ứng với các lần thu gọn Gauss lần lượt là:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = a_{14} \quad (7)$$

$$b_{22}x_2 + b_{33}x_3 = b_{24} \quad (11)$$

$$c_{33}x_3 = c_{34} \quad (13)$$

Các phương trình nói trên là phương trình thứ nhất trong những phương trình thu gọn kể cả phương trình ban đầu.

Bây giờ dùng phương trình (13) để khử  $x_3$  trong phương trình (11) và (7) và dùng phương trình (11) để khử  $x_2$  trong phương trình (7). Kết quả có được:

$$\left. \begin{array}{l} a_{11}x_1 \\ b_{22}x_2 \\ c_{33}x_3 \end{array} \right. \begin{array}{l} = a'_{14} \\ = b'_{24} \\ = c'_{34} \end{array} \quad (17)$$

Từ phương trình (17) có được lời giải đầy đủ:

$$x_1 = \frac{a'_{14}}{a_{11}} ; \quad x_2 = \frac{b'_{24}}{b_{22}} ; \quad x_3 = \frac{c'_{34}}{c_{33}} \quad (18)$$

#### 5.4.3 Phép thu gọn Crout

Phương pháp này bổ sung cho phép thu gọn Gauss và thích hợp cho máy tính. Qua phép thu gọn sẽ thu được dạng tam giác của hệ phương trình. Các tập hợp phụ bị loại bỏ. Nói cách khác là đi thẳng từ tập hợp ban đầu (hay các hệ số tương ứng) đến cách sắp xếp cuối cùng. Phương pháp này ít đòi hỏi phải viết đi viết lại các hệ số và ít chiếm bộ nhớ.

Trở lại với các phương trình trong ví dụ mẫu:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = a_{14} \quad (7)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = a_{24} \quad (8)$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = a_{34} \quad (9)$$

Nhớ lại rằng phép thu gọn Gauss cho được một tập hợp dạng tam giác. Đó là các phương trình (7), (11) và (13) khi cho các hệ số thứ nhất bằng đơn vị:

$$x_1 + e_{12}x_2 + e_{13}x_3 = e_{14} \quad (19)$$

$$x_2 + e_{23}x_3 = e_{24} \quad (20)$$

$$x_3 = e_{34} \quad (21)$$

Trước hết thành lập một ma trận nối rộng  $\bar{A}$  biểu diễn cho hệ ban đầu có dạng như sau:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Sự sắp xếp cuối cùng (ma trận  $\bar{B}$ ) sẽ chứa các hệ số cần để giải  $x_1$ ,  $x_2$  và  $x_3$ . Các trị số d là các hệ số phụ được giữ lại nhằm mục đích tính toán các hệ số e. Ma trận  $\bar{B}$  có dạng

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} d_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ d_{21} & d_{22} & e_{23} & e_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & e_{34} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Cột thứ nhất của các hệ số d chính là cột thứ nhất của  $\bar{A}$ :

$$a_{11} = d_{11} \quad d_{21} = a_{21} \quad d_{31} = a_{31} \quad (24)$$

Hệ số e của hàng 1 được xác định (từ phương pháp Gauss) như sau:

$$e_{12} = \frac{a_{12}}{a_{11}} ; \quad e_{13} = \frac{a_{13}}{a_{11}} ; \quad e_{14} = \frac{a_{14}}{a_{11}} \quad (25)$$

Các hệ số còn lại xác định không dễ dàng như vậy. Cột thứ hai của hệ số d là kết quả của phép thu gọn phụ thứ nhất và cột thứ ba của các hệ số d là kết quả của phép thu gọn thứ hai...

Có thể theo phương pháp Gauss và chứng minh các công thức thu gọn của Crout. Tuy nhiên ở đây chỉ đưa ra các phương trình thu gọn tổng quát hệ phương trình. bậc nhất có n ẩn số cùng với ví dụ bằng số. Các phương trình đó là:

$$d_{ij} = a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} d_{ik} e_{kj} \quad i \geq j \quad (26)$$

$$e_{im} = \frac{1}{d_{ii}} (a_{im} - \sum_{k=1}^{i-1} d_{ik} e_{km}) \quad i < m \quad (27)$$

$$x_i = e_{i,n+1} - \sum_{k=i+1}^n e_{ik} x_k \quad (28)$$

với  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, n$ ;  $m = 1, \dots, n+1$

$x_i$  tính theo chiều lùi từ  $x_n$  ngược về  $x_1$ .

Có thể phân tích ma trận A thành hai ma trận: tam giác dưới L và tam giác trên U sao cho  $A = L \cdot U$  được viết cụ thể như sau:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ d_{21} & d_{22} & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & e_{12} & e_{13} \\ 0 & 1 & e_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = L \times U$$

Để giải hệ phương trình tuyến tính:

$$A \cdot X = b$$

Phân tích A thành các ma trận thừa số tam giác L và U, có thể viết:

$$A \cdot X = L \cdot U \cdot X = L(U \cdot X) = b$$

Trước hết giải các ẩn trung gian Y thỏa mãn:

$$L \cdot Y = b$$

Suy ra các phần tử của Y theo chiều tiến, tìm được  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$

Kế đó giải ẩn X từ phương trình:

$$U \cdot X = Y$$

Suy ra các phần tử của X theo chiều thoái, tìm được  $x_n, x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_2, x_1$

**Ví dụ 5.5:** Giải các phương trình của ví dụ trong phép thu gọn Gauss bằng phép thu gọn Crout

$$8I_1 - 3I_2 - 4I_3 = 100 \quad (14)$$

$$-3I_1 + 10I_2 - 5I_3 = -50 \quad (15)$$

$$-4I_1 - 5I_2 + 15I_3 = 0 \quad (16)$$

Ma trận phụ ban đầu:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & -3 & -4 & 100 \\ -3 & 10 & -5 & -50 \\ -4 & -5 & 15 & 0 \end{bmatrix}$$

Ma trận  $\bar{B}$  phải tìm có dạng:

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} d_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ d_{21} & d_{22} & e_{23} & e_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & e_{34} \end{bmatrix}$$

Áp dụng các phương trình thu gọn (26) và (27)

$$d_{11} = a_{11} = 8 \quad e_{12} = \frac{a_{12}}{a_{11}} = \frac{-3}{8} = -0,375$$

$$d_{21} = a_{21} = -3 \quad e_{13} = \frac{a_{13}}{a_{11}} = \frac{-4}{8} = -0,5$$

$$d_{31} = a_{31} = -4 \quad e_{14} = \frac{a_{14}}{a_{11}} = \frac{100}{8} = 8,875$$

$$d_{22} = a_{22} - a_{21}e_{12} = 10 - (-3) \cdot (0,375) = 8,875$$

$$d_{32} = a_{32} - a_{31}e_{12} = -5 - (-4) \cdot (0,375) = -6,5$$

$$e_{23} = \frac{1}{d_{22}}(a_{23} - d_{21}e_{13}) = \frac{1}{8,875}[-5 - (-3) \cdot (-0,5)] = -0,732$$

$$e_{24} = \frac{1}{d_{22}}(a_{24} - d_{21}e_{14}) = \frac{1}{8,875}[(-50) - (-3)(12,5)] = -1,45$$

$$d_{33} = a_{33} - d_{31}e_{13} - d_{32}e_{23} = 15 - (-4) \cdot (-0,5) - (-6,5) \cdot (-0,732) = 8,24$$

$$e_{34} = \frac{1}{d_{33}}[a_{34} - d_{31}e_{14} - d_{32}e_{24}] = \frac{1}{8,24}[0 - (-4) \cdot (12,5) - (-6,5) \cdot (-1,41)] = 4,96$$

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} 8 & -0,375 & -0,5 & 12,5 \\ -3 & 8,875 & -0,732 & -1,41 \\ -4 & -6,5 & -8,24 & 4,96 \end{bmatrix}$$

Các ẩn số dòng điện có thể tìm trực tiếp bằng phương trình (28). Có lẽ tốt hơn hết là thực hiện các hệ số  $e$  có sắp xếp dạng tam giác của  $\bar{B}$  biểu diễn cho các phương trình tương tự như các phương trình từ (19) đến (21). Theo cách này  $I_1$ ,  $I_2$  và  $I_3$  được tìm theo thứ tự ngược lại:

$$I_1 - 0,375I_2 - 0,5I_3 = 12,5$$

$$I_2 - 0,732I_3 = -1,41$$

$$I_3 = 4,96$$

$$I_2 = -1,41 + (0,732) \cdot (4,96) = 2,22$$

$$I_1 = 12,5 + (0,375) \cdot (2,22) + (0,5) \cdot (4,96) = 15,8$$

#### 5.4.4 Phép lặp Gauss

Phương pháp dân đúng này cũng được dùng để giải hệ n phương trình tuyến tính với n ẩn số. Trong quá khứ, trước khi xuất hiện máy tính điện tử có tốc độ nhanh, phương pháp “mò

mãm” này có vẻ không được tán thành vì nó nhảm và không chính xác. Tuy vậy, ngày nay nó chứng tỏ là phương pháp thực dụng nhất và được ưa chuộng hơn phương pháp tính trực tiếp.

Cho  $n$  phương trình tuyến tính với  $n$  ẩn số ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) trong đó các hệ số “ $a$ ” và các biến phụ thuộc “ $y$ ” đã biết trước.

$$\left. \begin{array}{l} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + \dots + a_{1n} x_n = y_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + \dots + a_{2n} x_n = y_2 \\ \dots \\ a_{n1} x_1 + a_{n2} x_2 + a_{n3} x_3 + \dots + a_{nn} x_n = y_n \end{array} \right\} \quad (37)$$

Các phương trình trên có thể được viết lại ở dạng khác:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = \frac{1}{a_{11}} [y_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n] \\ x_2 = \frac{1}{a_{22}} [y_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n] \\ \dots \\ x_n = \frac{1}{a_{nn}} [y_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \dots - a_{n,n-1}x_{n-1}] \end{array} \right\} \quad (38)$$

Phương cách giải bao gồm một giá trị giả thiết ban đầu cho mỗi biến độc lập  $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$

trong đó chữ số (0) dùng để chỉ sự gần đúng ban đầu. Các trị số ban đầu thường được lấy bằng:

$$x_1^{(0)} = \frac{y_1}{a_{11}} ; x_2^{(0)} = \frac{y_2}{a_{22}} ; \dots ; x_n^{(0)} = \frac{y_n}{a_{nn}} \quad (39)$$

Những giá trị được thay vào phương trình (38) để có được:

$$\left. \begin{array}{l} x_1^{(1)} = \frac{1}{a_{11}} [y_1 - a_{12}x_2^{(0)} - a_{13}x_3^{(0)} - \dots - a_{1n}x_n^{(0)}] \\ x_2^{(1)} = \frac{1}{a_{22}} [y_2 - a_{21}x_1^{(0)} - a_{23}x_3^{(0)} - \dots - a_{2n}x_n^{(0)}] \\ \dots \\ x_n^{(1)} = \frac{1}{a_{nn}} [y_n - a_{n1}x_1^{(0)} - a_{n2}x_2^{(0)} - \dots - a_{n,n-1}x_{n-1}^{(0)}] \end{array} \right\} \quad (40)$$

Các kết quả được hiệu chỉnh lại  $(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$  sẽ được thay thế trở lại trong bước lặp sau. Tổng quát, đối với bước lặp thứ  $k$ :

$$\left. \begin{array}{l} x_1^{(k)} = \frac{1}{a_{11}} [y_1 - a_{12}x_2^{(k-1)} - a_{13}x_3^{(k-1)} - \dots - a_{1n}x_n^{(k-1)}] \\ x_2^{(k)} = \frac{1}{a_{22}} [y_2 - a_{21}x_1^{(k-1)} - a_{23}x_3^{(k-1)} - \dots - a_{2n}x_n^{(k-1)}] \\ \dots \\ x_n^{(k)} = \frac{1}{a_{kk}} [y_n - a_{n1}x_1^{(k-1)} - a_{n2}x_2^{(k-1)} - \dots - a_{n,n-1}x_{n-1}^{(k-1)}] \end{array} \right\} \quad (41)$$

Bài toán hệ thống điện thích hợp với phương pháp này và nói chung là hội tụ. Tổng quát sự hội tụ này được đảm bảo nếu như các hệ số  $a_{ii}$  (trên đường chéo) lớn hơn các hệ số  $a_{ij}$  với  $i \neq j$ .

#### 5.4.5. Phép lặp Gauss – Seidel

Phương pháp này là sự cải tiến của phép lặp Gauss. Sự cải tiến này nhằm giảm bớt số lần lặp cần thiết. Khác với phép lặp Gauss, ở đây thay vì thay thế các gần đúng  $(k-1)$  vào trong tất cả các phương trình trong bước lặp  $k$  thì các gần đúng  $k$  được dùng ngay sau khi đã tính được trong bước lặp  $k$ . Ví dụ:

$$x_1^{(k)} = \frac{1}{a_{11}} \left[ y_1 - a_{12}x_2^{(k-1)} - a_{13}x_3^{(k-1)} - \dots - a_{1n}x_n^{(k-1)} \right]$$

Nhưng trong phương trình kế tiếp của lần lặp thứ k này thì:

Các trị số trong vòng tròn cho thấy sự thay thế sớm các giá trị vừa tìm được trong các bước trước của lần lặp thứ k. Phép lặp hội tụ khi sai số  $|x_i^{(k)} - x_i^{(k-1)}|$  nhỏ hơn một độ chính xác  $\varepsilon$  cho trước.

#### 5.4.6. Phương pháp Newton – Raphson để giải phương trình phi tuyến

Giả thiết giải phương trình một ẩn số  $f(x) = 0$  với  $f(x)$  phi tuyến.

Phương pháp bao gồm phép gần đúng và phép lặp. Nhắc lại rằng bất kỳ hàm số khả vi theo biến x cũng có thể khai triển bằng tổng của một chuỗi các lũy thừa. Đặc biệt, chuỗi Taylor được viết như sau:

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(a)(x-a)^n}{n!} + \dots \quad (43)$$

Chuỗi này được biết là hội tụ nhanh chóng khi x gần về a. Một cách gần đúng, giả thiết sự hội tụ sau hai số hạng đầu. Vậy giờ nếu thay a bằng chữ số x và thay x bằng  $x+\Delta x$  thì chuỗi trở thành:

$$y = f(x + \Delta x) \approx f(x) + f'(x) \cdot \Delta x + \dots \quad (44)$$

Phương trình (44) đủ để viết cho một ẩn số  $x$ , trong khi chủ yếu là xét trường hợp n ẩn số  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  thì ở đây ghi nhận sự áp dụng của phương pháp vào trường hợp một phương trình và một ẩn số. Gọi  $x^{(0)}$  là trị số gần đúng ban đầu và  $x^{(1)}$  là trị số gần đúng thứ hai, trong đó  $x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x$ .

Thay vào phương trình (44):

$$f(x^{(1)}) = f(x^{(0)}) + f'(x^{(0)}) \cdot (x^{(1)} - x^{(0)}) \quad (45)$$

Bây giờ nếu  $x^{(1)}$  gần đúng hơn  $x^{(0)}$  thì có thể giả thiết rằng đồ thị của hàm cắt trục x ở đó  $y^{(1)} = f(x^{(1)}) = 0$ .

Như vậy:

$$0 = f(x^{(0)}) + f'(x^{(0)}) \cdot (x^{(1)} - x^{(0)}) \quad (46)$$

Giải phương trình (46) để có gần đúng thứ hai theo gần đúng ban đầu:

$$\mathbf{x}^{(1)} = \mathbf{x}^{(0)} - \frac{\mathbf{f}(\mathbf{x}^{(0)})}{\mathbf{f}'(\mathbf{x}^{(0)})} \quad (47)$$

Sự gần đúng liên tiếp cứ liên tục, tổng quát gần đúng thứ  $(k+1)$  có dạng như sau:

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} - \frac{\mathbf{f}(\mathbf{x}^{(k)})}{\mathbf{f}'(\mathbf{x}^{(k)})} \quad (48)$$

(trường hợp đặc biệt của một phương trình và một ẩn số)

Phương trình (48) thường được dùng để xác định nghiệm đầu tiên của phương trình bậc ba có một ẩn số. Quá trình lặp được tiếp tục cho đến khi thỏa phương trình ban đầu.

Phương trình (47) cũng có thể được tìm theo cách khác hơn là khai triển Taylor. Giả thiết rằng tiếp tuyến với đường cong trong H.5.24. tại điểm gần đúng ban đầu  $(x^{(0)}, y^{(0)})$  cắt trục  $x$  tại điểm  $(x^{(1)}, y^{(1)} \approx 0)$  gần với lời giải hơn trị số  $(x^{(0)})$  ban đầu. Viết phương trình tiếp tuyến:

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x^{(0)}} = f'(x^{(0)}) = \frac{f(x^{(0)}) - y^{(1)}}{x^{(0)} - x^{(1)}}$$

Bây giờ đặt  $y^{(1)} = 0$

$$f'(x^{(0)}) = \frac{f(x^{(0)})}{x^{(0)} - x^{(1)}}$$

Suy ra:

$$x^{(1)} = x^{(0)} - \frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})} \quad \text{giống với phương trình (47)}$$

Bây giờ nếu phương trình (44) được áp dụng cho một tập hợp n phương trình phi tuyến

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_1$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_2$$

.....

$$f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_n$$

hay:

$$y_1 - f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$y_2 - f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

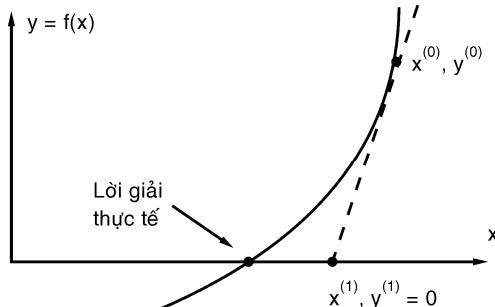
.....

$$y_n - f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

với  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  là ẩn số thì có thể khai triển như sau:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + \Delta x_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_1} + \Delta x_2 \frac{\partial f_1}{\partial x_2} + \dots + \Delta x_n \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ &\dots \\ y_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) + \Delta x_1 \frac{\partial f_n}{\partial x_1} + \Delta x_2 \frac{\partial f_n}{\partial x_2} + \dots + \Delta x_n \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

Trong lần gần đúng đầu tiên, cho các ẩn số bằng  $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ . Kế đó trong lần lặp thứ nhất có được sự gần đúng lần thứ hai



Hình 5.24

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_0 + \dots + \Delta x_n^{(0)} \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_0 \\ &\dots \\ y_n &= f_n(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_0 + \dots + \Delta x_n^{(0)} \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_0 \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

Từ đây đặt  $f_k(x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \dots, x_n^{(m)})$  là  $f_k^{(m)}$ . Các giá trị  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  được biết trước. Các đạo hàm riêng phần được tính toán tại các giá trị giả thiết ban đầu. Các đại lượng  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  là ẩn số.

Phương trình (50) có thể được viết lại như sau:

$$\left. \begin{aligned} y_1 - f_1^{(0)} &= \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_0 \Delta x_1^{(0)} + \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_0 \Delta x_2^{(0)} + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_0 \Delta x_n^{(0)} \\ y_2 - f_2^{(0)} &= \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_0 \Delta x_1^{(0)} + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_0 \Delta x_2^{(0)} + \dots + \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_0 \Delta x_n^{(0)} \\ &\dots \\ y_n - f_n^{(0)} &= \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_0 \Delta x_1^{(0)} + \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \Big|_0 \Delta x_2^{(0)} + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_0 \Delta x_n^{(0)} \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

Các phương trình phi tuyến ban đầu đã được thu gọn thành các phương trình tuyến tính để giải  $\Delta x_1^{(0)}, \Delta x_2^{(0)}, \dots, \Delta x_n^{(0)}$  đối với lần lặp thứ nhất.

Sau khi giải được các số gia của ẩn số, các gần đúng mới của  $x$  dùng trong lần lặp tiếp theo sẽ là:

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, \quad x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}, \dots, \quad x_n^{(1)} = x_n^{(0)} + \Delta x_n^{(0)} \quad (52)$$

Quá trình lặp lại của phương trình (51) được lặp lại cho đến khi  $\Delta x$  đủ nhỏ để có thể chấp nhận được. Phương trình (51) được biểu diễn dưới dạng ma trận

$$\begin{bmatrix} y_1 - f_1^{(0)} \\ y_2 - f_2^{(0)} \\ \vdots \\ y_n - f_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_0 & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_0 \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_0 & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_0 \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_0 & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (52a)$$

Ma trận các đạo hàm riêng phần còn được gọi là ma trận Jacobi. Dĩ nhiên bất kỳ việc xác định dãy ẩn số  $\Delta x$  cũng bao hàm các phép thu gọn đã nêu hay nghịch đảo ma trận hệ số.

**Ví dụ 5.6:** Cho hai phương trình:

$$f_1(x_1, x_2) = 2x_1^3 + 3x_1^2x_2 - x_2^2 - 2 = 0$$

$$f_2(x_1, x_2) = x_1x_2^2 + 2x_1^2 - 3x_2^2 + 16 = 0$$

Tìm  $x_1$  và  $x_2$  bằng phương pháp Newton–Raphson

Các đạo hàm riêng:

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_1} = x_1^2 + 4x_1 \quad \frac{\partial f_1}{\partial x_1} = 6x_1^2 + 6x_1x_2$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_2} = 3x_1^2 - 2x_2 \quad \frac{\partial f_2}{\partial x_2} = 2x_1x_2 - 6x_2$$

Trong lần gần đúng thứ nhất cho  $\mathbf{x}_1^{(0)} = 2$ ,  $\mathbf{x}_2^{(0)} = 2$  và

$$f_1^{(0)} = 16 + 24 - 4 - 2 = 34$$

$$f_2^{(0)} = 8 + 8 - 12 + 6 = 20$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial \mathbf{x}_1} \Big|_0 = 24 + 24 = 48 \quad \frac{\partial f_2}{\partial \mathbf{x}_1} \Big|_0 = 4 + 8 = 12$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial \mathbf{x}_2} \Big|_0 = 12 - 4 = 8 \quad \frac{\partial f_2}{\partial \mathbf{x}_2} \Big|_0 = 8 - 12 = -4$$

Từ pt (51)  $\Delta \mathbf{x}_1^{(0)}$  và  $\Delta \mathbf{x}_2^{(0)}$  được tìm:

$$(1) \quad y_1 - f_1^{(0)} = \frac{\partial f_1}{\partial \mathbf{x}_1} \Big|_0 \Delta \mathbf{x}_1^{(0)} + \frac{\partial f_1}{\partial \mathbf{x}_2} \Big|_0 \Delta \mathbf{x}_2^{(0)}$$

$$(2) \quad y_2 - f_2^{(0)} = \frac{\partial f_2}{\partial \mathbf{x}_1} \Big|_0 \Delta \mathbf{x}_1^{(0)} + \frac{\partial f_2}{\partial \mathbf{x}_2} \Big|_0 \Delta \mathbf{x}_2^{(0)}$$

Thay các giá trị bằng số:

$$(1) \quad 0 - 34 = 48 \Delta \mathbf{x}_1^{(0)} + 8 \Delta \mathbf{x}_2^{(0)}$$

$$(2) \quad 0 - 20 = 12 \Delta \mathbf{x}_1^{(0)} + (-4) \Delta \mathbf{x}_2^{(0)}$$

Giải hệ phương trình (1) và (2) có được:

$$\Delta \mathbf{x}_1^{(0)} = -1,03, \quad \Delta \mathbf{x}_2^{(0)} = .9$$

Các gần đúng mới là:

$$\mathbf{x}_1^{(1)} = \mathbf{x}_1^{(0)} + \Delta \mathbf{x}_1^{(0)} = 2 - 1,03 = 0,97$$

$$\mathbf{x}_2^{(1)} = \mathbf{x}_2^{(0)} + \Delta \mathbf{x}_2^{(0)} = 2 + 1,9 = 3,9$$

Phương trình (51) đổi với lần lặp tiếp theo:

$$(1) \quad 4,3 = 28,4 \Delta \mathbf{x}_1^{(1)} - 5,0 \Delta \mathbf{x}_2^{(1)}$$

$$(2) \quad 13,0 = 19,1 \Delta \mathbf{x}_1^{(1)} - 13,8 \Delta \mathbf{x}_2^{(1)}$$

Giải được:

$$\Delta \mathbf{x}_1^{(1)} = 0,0085; \quad \Delta \mathbf{x}_2^{(1)} = -0,812$$

Từ đó:

$$\mathbf{x}_1^{(2)} = \mathbf{x}_1^{(1)} + \Delta \mathbf{x}_1^{(1)} = 0,97 + 0,0085 = 0,98$$

$$\mathbf{x}_2^{(2)} = \mathbf{x}_2^{(1)} + \Delta \mathbf{x}_2^{(1)} = 3,9 + (-0,812) = 3,09$$

Lời giải của hệ phương trình là  $x_1 = 1,0$  và  $3,0$

Điều này chứng tỏ phép lặp hội tụ nhanh về các kết quả này.

## 5.5 ĐỊNH NGHĨA BÀI TOÁN PHÂN BỐ CÔNG SUẤT

Khảo sát phân bố công suất thường áp dụng cho hệ thống ba pha cân bằng, dựa trên sơ đồ tương đương một pha của hệ thống điện và tính toán trên đơn vị có tên hoặc đơn vị tương đối.

Trước đây việc phân bố công suất được khảo sát bằng bàn tính điện xoay chiều mô hình hóa một hệ thống điện. Ngày nay nhờ vào máy tính điện tử, vấn đề phân bố công suất được thực hiện nhanh chóng và chính xác.

Khảo sát phân bố công suất đòi hỏi các dữ kiện thông tin chi tiết hơn việc khảo sát ngắn mạch chặng hạn như tổng trở đường dây và máy biến áp, đầu phân áp của máy biến áp, điện dung đường dây, số liệu công suất nguồn và phụ tải.

Cơ sở lý thuyết của bài toán phân bố công suất dựa trên hai định luật Kirchoff về dòng điện điểm nút và điện thế mạch vòng.

Tuy vậy, như sẽ giải thích sau, các phương trình Kirchoff không còn tuyến tính như trong bài giải tích mạch thông thường nữa mà là phương trình phi tuyến, số liệu ban đầu cho trước đối với hệ thống điện có khác so với một bài giải tích mạch điện thông thường.

Đối tượng của khảo sát phân bố công suất là xác định giá trị điện áp và góc pha ở các điểm nút, dòng công suất trên các nhánh và tổng thất công suất trong mạng điện.

Mục đích của phân bố công suất thay đổi trong phạm vi rộng trong đó nhằm phục vụ cho thiết kế và vận hành hệ thống điện, khảo sát hệ thống ở chế độ trước và sau sự cố, điều chỉnh điện áp và công suất, vận hành kinh tế hệ thống...

## 5.6 PHÂN BIỆT CÁC LOẠI ĐIỂM NÚT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Thường có ba loại nút hay thanh cái

- *Thanh cái cân bằng*: là thanh cái máy phát điện đáp ứng nhanh chóng với sự thay đổi của phụ tải. Nhờ vào bộ điều tốc nhạy cảm, máy phát điện cân bằng có khả năng tăng tải hoặc giảm tải kịp thời theo yêu cầu của toàn hệ thống.

Đối với thanh cái cân bằng, cho trước giá trị điện áp  $U$  và góc pha  $\delta_0$  chọn làm chuẩn (thường cho  $\delta_0 = 0$ ).

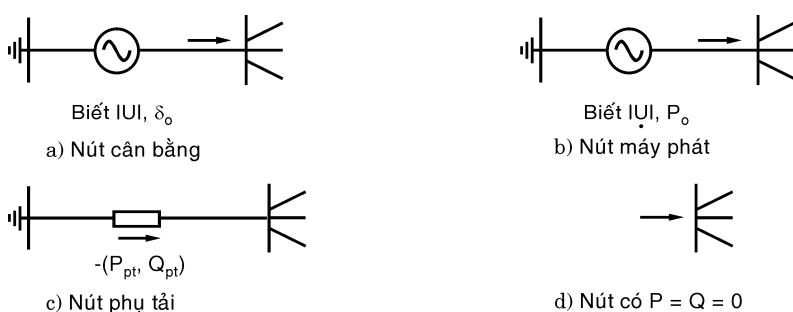
- *Thanh cái máy phát*: đối với các máy phát điện khác ngoài máy phát cân bằng, cho biết trước công suất thực  $P$  mà máy phát ra (định trước vì lý do năng suất của nhà máy) và điện áp  $U$  ở thanh cái đó. Thanh cái máy phát còn gọi là thanh cái  $P, U$ .

- *Thanh cái phụ tải*: cho biết công suất  $P$  và  $Q$  của phụ tải yêu cầu. Thanh cái phụ tải còn gọi là cái  $P, Q$ .

Nếu không có máy phát hay phụ tải ở một nút nào đó thì coi nút đó như nút phụ tải với  $P = Q = 0$ .

Dòng công suất ở các thanh cái được qui ước theo chiều *đi vào* thanh cái.

Các loại nút được biểu diễn bằng H.5.25. sau đây:



**Hình 5.25**

## 5.7 CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

Trong việc xây dựng bài toán phân bố công suất, tùy theo phương pháp chọn lựa có thể có ba dạng phương trình mạch cơ bản sau đây.

### 5.7.1 Phương trình dòng điện điểm nút, viết cho nút k như sau:

$$\boxed{I_K} = \bar{Y}_{K1} \boxed{U_1} + \bar{Y}_{K2} \boxed{U_2} + \dots + \bar{Y}_{Kn} \boxed{U_n} \quad (5.34)$$

Nguồn dòng điện  $I_K$  có thể viết theo  $P_k$ ,  $Q_k$  và  $U_k$ . Tập hợp các phương trình viết dưới dạng ma trận, ví dụ cho trường hợp hệ thống bốn thanh cáp:

$$\begin{pmatrix} \boxed{I_1} \\ \boxed{I_2} \\ \boxed{I_3} \\ \boxed{I_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \boxed{U_1} \\ \boxed{U_2} \\ \boxed{U_3} \\ \boxed{U_4} \end{pmatrix} \quad (5.36)$$

$$[I] = [Y]_{TC} [U]$$

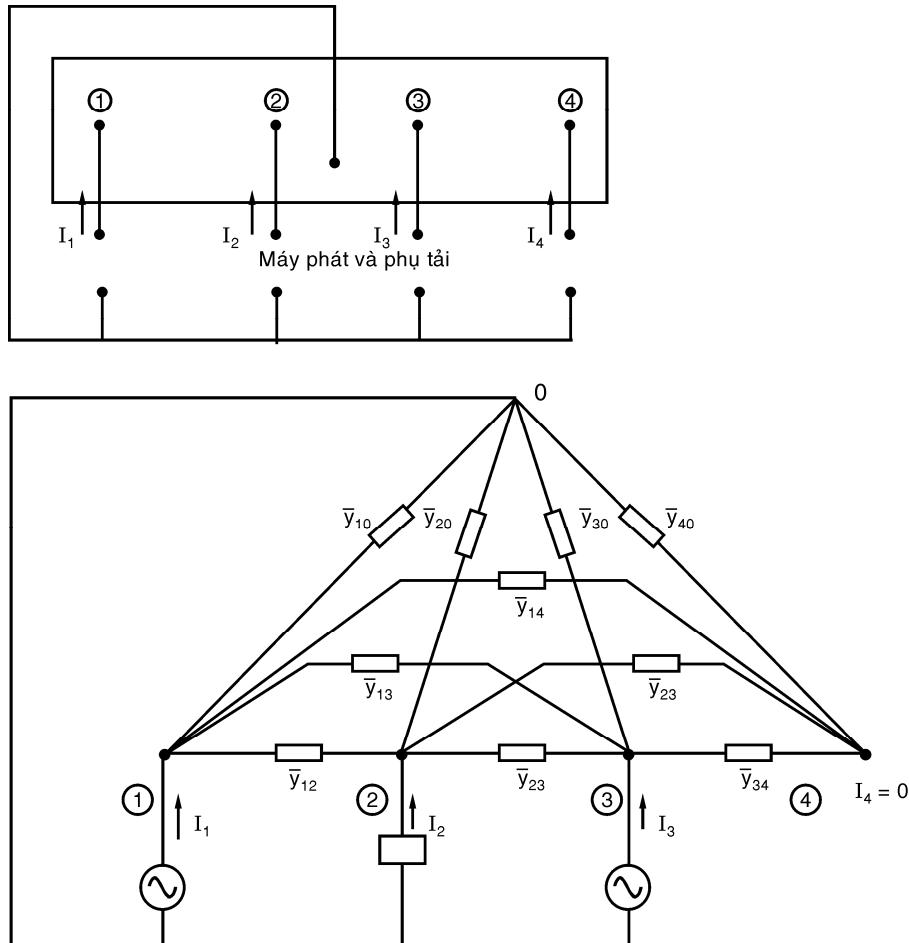
$[\bar{Y}]_{TC}$ : ma trận tổng dẫn thanh cáp được thành lập như sau:

$\bar{Y}_{kk}$ : tổng số các tổng dẫn có nối đến nút k;

$\bar{Y}_{jk} = -\bar{y}_{ik}$  với  $\bar{y}_{jk}$  là tổng dẫn của nhánh nối giữa nút j và k.

Máy phát và phụ tải ở ngoài ma trận  $[\bar{Y}]_{TC}$ .

Sơ đồ tổng dẫn của mạng điện thụ động được trình bày trên H.5.26.



Hình 5.26

Chiều dòng điện qui ước là dương khi nó đi vào trong một nút. Các phương trình trên viết ứng với dòng điện đi vào một nút.

Sơ đồ tương đương tổng dẫn của mạng thụ động.

Mặc dù dòng điện đi vào các nút từ các nút máy phát và phụ tải chưa biết nhưng chúng có thể viết theo P, Q và U.

Chẳng hạn dòng điện đi vào các nút ② trên hình vẽ.

$$\boxed{I_2} = \frac{(P_2 + jQ_2)^*}{\boxed{U_2}^*} \quad (U_2 \text{ lại chưa biết}) \quad (5.37)$$

Phương trình nút đối với thanh cái 2 trở thành:

$$\frac{\boxed{P_2 - jQ_2}}{\boxed{U_2}^*} = \bar{Y}_{21} \boxed{U_1} + \bar{Y}_{22} \boxed{U_2} + \bar{Y}_{23} \boxed{U_3} + \bar{Y}_{24} \boxed{U_4} \quad (5.38)$$

Nhận xét tính phi tuyến của phương trình này:

Lưu ý về công suất ở nút 2

- Thường cho biết công suất tiêu thụ của phụ tải ví dụ phụ tải tiêu thụ  $P = 5000$  watt,  $Q = 8000$  VAr cảm, phụ tải một pha. Với chiều qui ước đi vào nút, dòng  $I_2$  được tính:

$$\boxed{I_2} = \frac{[-5000 - j8000]^*}{\boxed{U_2}^*} = \frac{-5000 + j8000}{\boxed{U_2}^*}$$

- Phương trình (5.38) viết trong đơn vị tương đối hoặc trong đơn vị có tên nếu là công suất của một pha và điện áp pha.

Nếu dùng đơn vị có tên, công suất ba pha và điện áp dây thì phương trình trở thành:

$$\frac{P_2 - jQ_2}{\sqrt{3} \boxed{U_2}^*} = \bar{Y}_{21} \boxed{U_1} + \bar{Y}_{22} \boxed{U_2} + \bar{Y}_{23} \boxed{U_3} + \bar{Y}_{24} \boxed{U_4}$$

Tập hợp các phương trình trên với ẩn là điện áp  $\boxed{U_1}$ ,  $\boxed{U_2}$ ,  $\boxed{U_3}$ ,  $\boxed{U_4}$  được giải gần đúng bằng phương pháp lặp Gauss-Zeidel.

### 5.7.2 Phương trình điện áp mạch vòng viết cho mạch vòng thứ k có dạng tổng quát:

$$\boxed{E_K} = \bar{Z}_{k1} \boxed{I_1} + \bar{Z}_{k2} \boxed{I_2} + \bar{Z}_{k3} \boxed{I_3} + \bar{Z}_{kk} \boxed{I_k} + \dots + \bar{Z}_{kn} \boxed{I_n} \quad (5.39)$$

Mạch vòng thứ k đi qua thanh cái k và dòng điện mạch vòng  $\boxed{I_k}$  cũng chính là dòng điện thực tế đi vào nút k ở thanh cái máy phát hoặc thanh cái phụ tải.

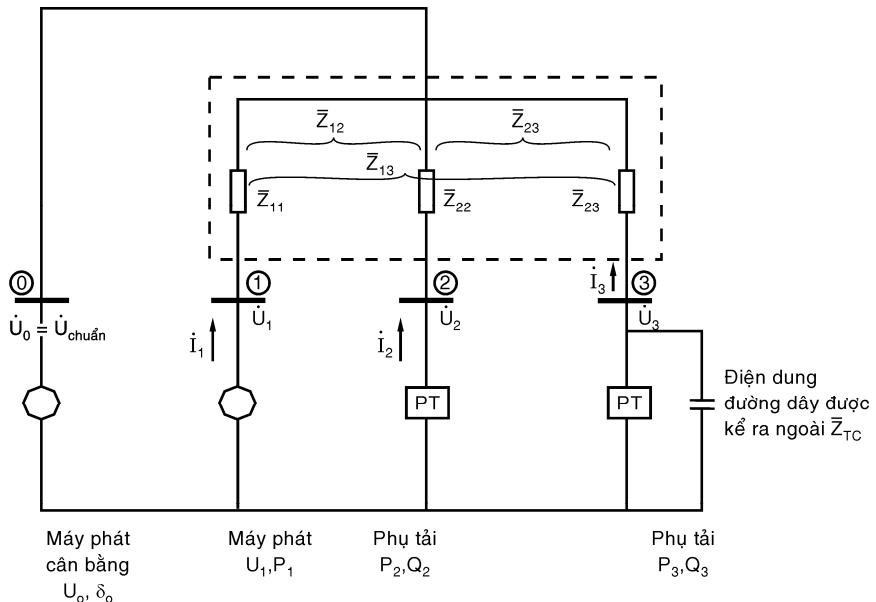
Tập hợp các phương trình mạch vòng viết dưới dạng ma trận như sau:

$$[\boxed{E}] = [\bar{Z}]_{TC} [\boxed{I}] \quad (5.40)$$

$[\bar{Z}]_{TC}$  là ma trận tổng trở thanh cái

Ma trận  $[\bar{Z}]_{TC}$  và mạch tương đương hình cào của hệ thống bốn thanh cái được trình bày trên H.5.27 với thanh cái máy phát cân bằng chọn làm thanh cái chuẩn.

Khi thành lập ma trận tổng trở thanh cái và mạch tương đương hình cào của nó trong bài toán phân bố công suất, thanh cái máy phát cân bằng được chọn làm thanh cái chuẩn còn phụ tải và máy phát coi như bên ngoài mạch tương đương hình cào của mạng điện thụ động, ngoài ra điện dung đường dây cũng sẽ ở bên ngoài mạch tương đương này.

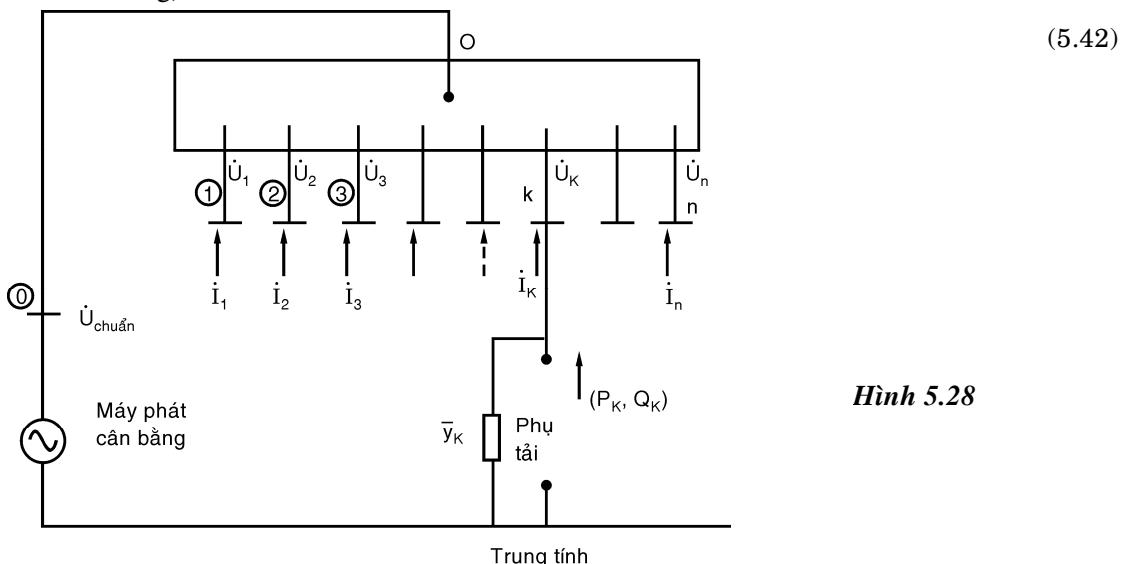
**Hình 5.27**

Thanh cái cân bằng đánh số không, các thanh cái còn lại đánh số 1, 2, 3, ... ;  $\bar{Z}_{11}, \bar{Z}_{22}, \dots, \bar{Z}_{kk}$  là các tổng trở đầu vào,  $\bar{Z}_{jk}$  là tổng trở tương hõ (còn gọi là tổng trở chuyển) giữa thanh cái j và thanh cái k.

Trở lại mạch tương đương hình cào của hệ thống có ba thanh cái và một thanh cái cân bằng, các phương trình mạch vòng viết cho các dòng điện mạch vòng  $I_1, I_2, I_3$  lần lượt như sau:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 - \dot{U}_{\text{chuẩn}} &= I_1 \bar{Z}_{11} + I_2 \bar{Z}_{12} + I_3 \bar{Z}_{13} \\ \dot{U}_2 - \dot{U}_{\text{chuẩn}} &= I_1 \bar{Z}_{21} + I_2 \bar{Z}_{22} + I_3 \bar{Z}_{23} \\ \dot{U}_3 - \dot{U}_{\text{chuẩn}} &= I_1 \bar{Z}_{31} + I_2 \bar{Z}_{32} + I_3 \bar{Z}_{33} \end{aligned} \quad (5.41)$$

Tổng quát, đối với thanh cái k trong một hệ thống có n thanh cái trong H.5.28 (không kể thanh cái cân bằng):

**Hình 5.28**

Chẳng hạn nút k là nút phụ tải, công suất “đưa vào” thanh cái k là  $P_k + jQ_k$  (qui ước về chiều công suất và dòng điện giống như ở sơ đồ tổng dẫn).

Dòng  $I_k$  đi vào thanh cái k viết trong đơn vị tương đối:

$$I_k = \frac{P_k - jQ_k}{U_K^*} - \bar{y}_K \bar{U}_K$$

với  $y_k$  là dung dẫn của đường dây tập trung ở thanh cái hoặc của bộ tụ điện ở thanh cái k.

Phương trình mạch vòng trở thành:

$$\begin{aligned} \bar{U}_K - \bar{U}_{\text{chuẩn}} &= \bar{Z}_{k1} \left( \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^*} - \bar{y}_1 \bar{U}_1 \right) + \dots + \bar{Z}_{kn} \left( \frac{P_n - jQ_n}{U_n^*} - \bar{y}_n \bar{U}_n \right) \\ &= \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{U_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \end{aligned} \quad (5.44)$$

hay

$$\bar{U}_K - \bar{U}_{\text{chuẩn}} = \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{U_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \quad (5.46)$$

với thanh cái 1, 2, 3, ..., n giả sử là nút phụ tải.

Hãy nhận xét tính chất phi tuyến của phương trình.

### 5.7.3 Phương trình công suất nút

Với phương trình nút đã trình bày ở trên:

$$\bar{I}_k = \bar{Y}_{k1} \bar{U}_1 + \bar{Y}_{k2} \bar{U}_2 + \dots + \bar{Y}_{kk} \bar{U}_k + \dots + \bar{Y}_{kn} \bar{U}_n$$

có thể tính dòng công suất đi vào nút k từ phương trình:

$$\bar{S}_k = \bar{U}_k \cdot \bar{I}_k^* \quad (\text{trong đơn vị tương đối})$$

hay:

$$\bar{S}_k = P_k + jQ_k = \bar{U}_k (\bar{Y}_{k1} \bar{U}_1 + \bar{Y}_{k2} \bar{U}_2 + \dots + \bar{Y}_{kk} \bar{U}_k + \dots + \bar{Y}_{kn} \bar{U}_n)^* \quad (5.47)$$

$$= |\bar{Y}_{k1}| |\bar{U}_1| |\bar{U}_k| / \underline{\delta_k - \delta_1 - \theta_{k1}} + |\bar{Y}_{k2}| |\bar{U}_2| |\bar{U}_k| / \underline{\delta_k - \delta_2 - \theta_{k2}} + \dots$$

$$+ |\bar{Y}_{kn}| |\bar{U}_n| |\bar{U}_k| / \underline{\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}} = \sum_{i=1}^n |Y_{ki}| |U_i| |U_k| / \angle \delta_k - \delta_i - \theta_{ki} \quad (5.48)$$

với  $\bar{U}_i = |\bar{U}_i| \angle \delta_i$  và  $\bar{Y}_{ki} = |\bar{Y}_{ki}| \angle \theta_{ki}$

Nhận xét tính phi tuyến của phương trình này. Đối với nút phụ tải k, trong bốn biến số  $P_k$ ,  $Q_k$ ,  $|U_k|$ ,  $\delta_k$  thì hai biến  $P_k$ ,  $Q_k$  được biết còn hai biến  $|U_k|$ ,  $\delta_k$  chưa biết.

Phương pháp Newton–Raphson có hiệu quả trong việc giải hệ phương trình có dạng nêu trên.

## 5.8 KHẢO SÁT PHÂN BỐ CÔNG SUẤT DÙNG MA TRẬN Y<sub>TG</sub> BẰNG PHÉP LẮP GAUSS - SEIDEL

Từ phương trình nút viết cho thanh cái k, biểu thức điện áp  $\bar{U}_k$  được viết từ phương trình (5.38) như sau:

$$\bar{U}_k = \frac{1}{\bar{Y}_{kk}} \left[ \frac{P_k - jQ_k}{\bar{U}_k^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \bar{Y}_{ki} \bar{U}_i \right] \quad (5.49)$$

Để ý rằng  $U_k$  được biểu diễn theo điện áp của chính nó và các điện áp khác. Ngoài ra, khi chọn thanh cái 1 là thanh cái cân bằng, điện áp  $U_1 \angle \delta_0$  đã được biết trước nên không cần viết phương trình cho nút này.

Sau đây là các bước tính toán trong phép lắp Gauss-Seidel

1) Giả thiết các giá trị điện áp ban đầu (trị số và góc pha) ở mỗi thanh cái phụ tải và góc giả thiết góc pha điện áp cho mỗi thanh cái (ngoại trừ thanh cái cân bằng có  $\delta_0 = 0$ ).

Gọi các trị số giả thiết này là  $\bar{U}_2^{(0)}, \bar{U}_3^{(0)}, \dots, \bar{U}_n^{(0)}$

2) Tính  $\bar{U}_2^{(1)}$  theo các điện áp giả thiết ban đầu:

$$\bar{U}_2^{(1)} = \frac{1}{\bar{Y}_{22}} \left[ \frac{P_2 - jQ_2}{\bar{U}_2^{(0)*}} - \bar{Y}_{21} \bar{U}_1^{(0)} - \bar{Y}_{23} \bar{U}_3^{(0)} - \dots - \bar{Y}_{2n} \bar{U}_n^{(0)} \right]$$

3) Tính  $\bar{U}_3^{(1)}$  theo  $\bar{U}_2^{(1)}$  vừa mới tính được và các điện áp còn lại.

$$\bar{U}_3^{(1)} = \frac{1}{\bar{Y}_{33}} \left[ \frac{P_3 - jQ_3}{\bar{U}_3^{(0)*}} - \bar{Y}_{31} \bar{U}_1^{(0)} - \bar{Y}_{32} \bar{U}_2^{(1)} - \bar{Y}_{34} \bar{U}_4^{(0)} - \dots - \bar{Y}_{3n} \bar{U}_n^{(0)} \right]$$

4) Tính  $U_4^{(1)}, \dots, U_n^{(1)}$ : luôn luôn dùng các giá trị điện áp mới tính được trong bước trước. Khi tính xong điện áp của n thanh cái là xong một lần lắp.

5) Lặp lại các quá trình từ bước 1 đến bước 4 cho đến khi sai số về điện áp giữa hai lần lắp nhỏ hơn một giá trị ε cho trước.

Quá trình trên chỉ thích hợp với thanh cái phụ tải ở đó P và Q được biết và |U| và góc δ đều được giả thiết và tính gần đúng qua phép lắp. Trường hợp thanh cái k là thanh cái máy phát hay thanh cái có tụ bù để điều chỉnh điện áp ở đó  $P_k$  và  $|U_k|$  được biết còn  $Q_k$  thì chưa biết, do đó phải tính gần đúng  $Q_k$ .

Biết rằng

$$\begin{aligned} \frac{P_k - jQ_k}{\bar{U}_k^*} &= \bar{Y}_{k1} \bar{U}_1 + \bar{Y}_{k2} \bar{U}_2 + \dots + \bar{Y}_{kn} \bar{U}_n \\ \Rightarrow P_k - jQ_k &= \bar{U}_k^* \left( \sum_{i=1}^n \bar{Y}_{ki} \bar{U}_i \right) \end{aligned}$$

suy ra:

$$Q_k = -\text{Im} \left\{ \bar{U}_k^* \left( \sum_{i=1}^n \bar{Y}_{ki} \bar{U}_i \right) \right\} \quad (5.50)$$

trong đó:  $\bar{U}_k^*$  và  $\bar{U}_i$  lấy từ lần lắp hiện tại và lần lắp trước.

$Q_k$  sẽ được thay vào phương trình tính điện áp thanh cái máy phát ngay trong lần lắp đó.

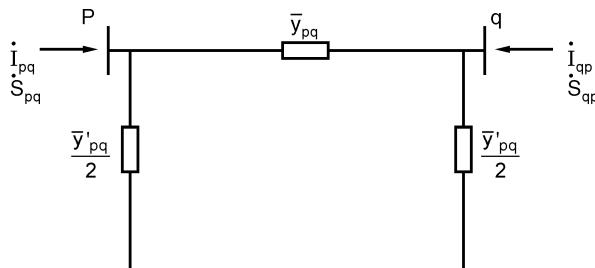
Giả sử tính được điện áp  $|U'_k| \angle \delta_k$ , như vậy trong lần lặp này thay  $|U'_k| \angle \delta_k$  bằng  $|U_k| \angle \delta_k$  nghĩa là chỉ dùng góc  $\delta_k$  vừa được tính.

Trong thực tế công suất kháng  $Q_k$  phát ra bởi máy phát k phải được giới hạn bởi bất đẳng thức:

$$Q_{k,\min} \leq Q_k \leq Q_{k,\max} \quad (5.51)$$

trong đó  $Q_{k,\min}$  là giới hạn tối thiểu và  $Q_{k,\max}$  là giới hạn tối đa của công suất kháng phát ra bởi máy phát. Trong quá trình tính toán ở một bước lặp nếu  $Q_k$  ở ngoài giới hạn nói trên thì  $Q_k$  được lấy bằng giới hạn mà nó vi phạm, cụ thể nếu  $Q_k < Q_{k,\min}$  thì lấy  $Q_k = Q_{k,\min}$  còn nếu  $Q_k > Q_{k,\max}$  thì lấy  $Q_k = Q_{k,\max}$ . Khi đó nút máy phát (nút P,U) được xử lý như nút phụ tải (nút P, Q) và điện áp phải được tính toán lại.

Khi bài toán phân bố công suất hội tụ, tính toán dòng công suất trên các nhánh theo sơ đồ thay thế hình π của các nhánh trong H.5.29:



Hình 5.29

Dòng điện vào nút p của nhánh pq:

$$\dot{I}_{pq} = (\dot{U}_p - \dot{U}_q) \bar{y}_{pq} + \dot{U}_p \frac{\bar{y}'_{pq}}{2} \quad (5.52)$$

trong đó:  $\bar{y}_{pq}$  – tổng dãy nhánh pq,  $\bar{y}'_{pq}$  – dung dãy toàn đường dây pq, nếu là nhánh máy biến áp cho  $\bar{y}'_{pq} = 0$ .

Công suất tác dụng và phản kháng đi vào đường dây ở thanh cái p:

$$\dot{S}_{pq}^* = P_{pq} - jQ_{pq} = \dot{U}_p^* \dot{I}_{pq} \quad (5.53)$$

hay:

$$P_{pq} - jQ_{pq} = \dot{U}_p^* (\dot{U}_p - \dot{U}_q) y_{pq} + \dot{U}_p^* \dot{U}_p \frac{\bar{y}'_{pq}}{2} \quad (5.54)$$

trong đó:  $P_{pq}$  – công suất tác dụng đi vào đường dây pq từ nút p;  $Q_{pq}$  – công suất phản kháng đi vào đường dây pq từ nút p. Tương tự, công suất đi vào đường dây qp từ nút q:

$$\dot{S}_{qp}^* = P_{qp} - jQ_{qp} = \dot{U}_q^* (\dot{U}_q - \dot{U}_p) \bar{y}_{pq} + \dot{U}_q^* \dot{U}_q \frac{\bar{y}'_{pq}}{2} \quad (5.55)$$

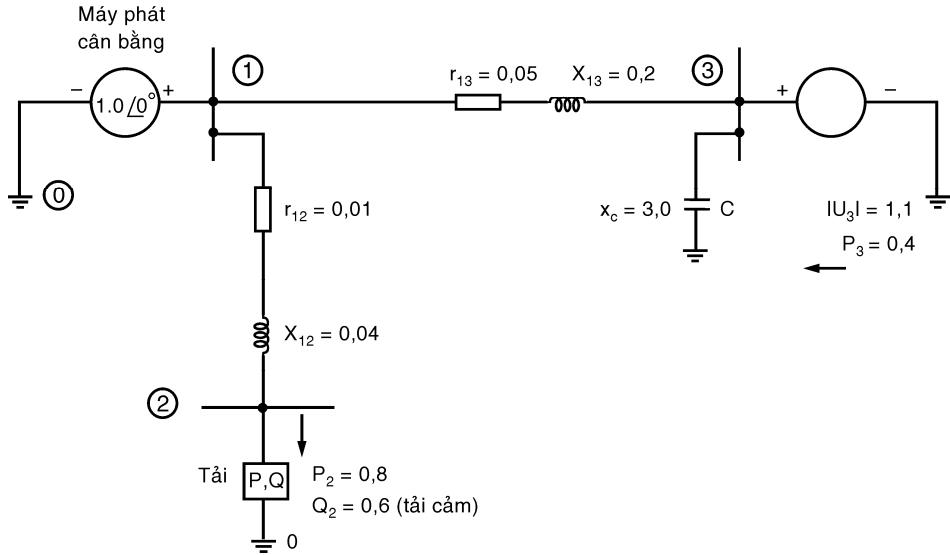
Tổn thất công suất trên đường dây pq (kể cả công suất nạp do điện dung đường dây) là tổng đại số công suất ở hai đầu p và q

$$\dot{\Delta S}_{pq} = \Delta P_{pq} + j\Delta Q_{pq} = (P_{pq} + P_{qp}) + j(Q_{pq} + Q_{qp}) \quad (5.56)$$

Tổn thất công suất toàn mạng điện bằng tổng tổn thất công suất trên tất cả các nhánh:

$$\dot{\Delta S}_{\Sigma} = \sum \dot{\Delta S}_{pq} \quad (5.57)$$

**Ví dụ 5.7:** Thực hiện phân bố công suất cho mạng điện ba pha biểu diễn bằng sơ đồ một pha theo H.5.30 dưới đây, các dữ kiện cho trong đơn vị tương đối. Tính điện áp ở thanh cái 2 và góc pha điện áp trong lần lắp thử nhất.



Hình 5.30

**Giải**

Tính tổng dẫn các nhánh:

$$\bar{y}_{12} = \frac{1}{\bar{z}_{12}} = \frac{1}{0,01 + j0,04} = 5,88 - j23,5$$

$$\bar{y}_{13} = \frac{1}{\bar{z}_{13}} = \frac{1}{0,05 + j0,2} = 1,175 - j4,71$$

Các phần tử của ma trận  $\bar{Y}_{BUS}$ :

$$\bar{Y}_{12} = \bar{Y}_{21} = -\bar{y}_{12} = -5,88 + j23,5$$

$$\bar{Y}_{13} = \bar{Y}_{31} = -\bar{y}_{13} = -1,175 + j4,71$$

$$\bar{Y}_{11} = \bar{y}_{10} + \bar{y}_{12} + \bar{y}_{13} = 7,05 - j28,2$$

$$\bar{Y}_{22} = \bar{y}_{20} = 5,88 - j23,5$$

$$\bar{Y}_{33} = \bar{y}_{30} = 1,175 - j4,38$$

Ma trận tổng dẫn thanh cái có dạng:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{BUS} &= \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (7,05 - j28,2) & (-5,88 + j23,5) & (-1,175 + j4,71) \\ (-5,88 + j23,5) & (5,88 - j23,5) & 0 \\ (-1,175 + j4,71) & 0 & (1,175 - j4,38) \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Giả thiết các trị số ban đầu của  $U_2$  và  $\delta_3$  là:

$$\boxed{U_2^{(0)} = 1,0 + j0} \text{ và } \delta_3^{(0)} = 0^0$$

Thực hiện lần lặp thứ nhất:

$$\begin{aligned}\bar{U}_2^{(1)} &= \frac{1}{\bar{Y}_{22}} \left[ \frac{P_2 - jQ_2}{\bar{U}_2^{(0)*}} - \bar{Y}_{21} \bar{U}_1^{(0)} - \bar{Y}_{23} \bar{U}_3^{(0)} \right] \\ &= \frac{1}{5,88 - j23,5} \left[ \frac{-(0,8 - j0,6)}{1 + j0} - (-5,88 + j27,5)(1\angle 0^0) - (0)(1,1\angle 0^0) \right] \\ &= (0,01 + j0,04)(5,08 - j22,9) = 0,0508 + 0,916 + j0,2032 - j0,229 \\ \bar{U}_2^{(1)} &= 0,9668 - j0,0258\end{aligned}$$

Trước khi sang thanh cái 3, có thể tính lại  $U_2^{(1)}$  thêm một lần nữa:

$$\begin{aligned}\bar{U}_2^{(1)} &= \frac{1}{\bar{Y}_{22}} \left[ \frac{P_2 - jQ_2}{\bar{U}_2^{(1)*}} - \bar{Y}_{21} \bar{U}_1^{(1)} - \bar{Y}_{23} \bar{U}_3^{(0)} \right] \\ &= (0,01 + j0,04) \left[ \frac{-(0,8 - j0,6)}{0,967 + j0,0258} - (-5,88 + j23,5)1\angle 0^0 - 0 \right] \\ &= (0,01 + j0,04)[(-0,8 + j0,6)(1,02 - j0,0272) + (5,88 - j23,5)] \\ &= (0,01 + j0,04)(5,08 - j22,9) = 0,967 - j0,026\end{aligned}$$

Vì thanh cái 3 là thanh cái máy phát,  $Q_3$  cần phải tính gần đúng:

$$\begin{aligned}Q_3^{(0)} &= -\text{Im} \left\{ \bar{U}_3^{(0)} \left[ \bar{Y}_{31} \bar{U}_1 + \bar{Y}_{32} \bar{U}_2^{(1)} + \bar{Y}_{33} \bar{U}_3^{(0)} \right] \right\} \\ &= -\text{Im} \left\{ 1,1\angle 0^0 \left[ (-1,175 + j4,71)(1,0\angle 0^0) + (1,175 - j4,38)(1,1\angle 0^0) \right] \right\} \\ &= -\text{Im} \{ 1,1 \cdot (0,118 - j0,1) \} = -\text{Im} \{ 0,13 - j0,11 \} = 0,11\end{aligned}$$

Từ đó:

$$\begin{aligned}\bar{U}_3^{(1)} &= \frac{1}{\bar{Y}_{33}} \left[ \frac{P_3 - jQ_3^{(0)}}{\bar{U}_3^{(0)*}} - \bar{Y}_{31} \bar{U}_1 - \bar{Y}_{32} \bar{U}_2^{(1)} \right] \\ &= \frac{1}{1,175 - j4,38} \left[ \frac{0,4 - j0,11}{1,1\angle 0^0} - (-1,175 + j4,71)(1\angle 0^0) - 0 \right] \\ &= \frac{0,363 - j1,10 + 1,175 - j4,71}{1,175 - j4,38} = \frac{1,538 - j4,81}{1,175 - j4,38} = \frac{5,05\angle -73,2^0}{4,53\angle -75^0} \\ &= 1,114\angle 2,7^0\end{aligned}$$

Vì  $|\bar{U}_3| = 1,1$  được cho từ đầu nên có kết quả:  $\bar{U}_3 = 1,1\angle 2,7^0$

Quá trình lặp tiếp tục cho đến khi đạt mức chính xác cần thiết, nghĩa là lời giải hội tụ.

Đôi khi để giảm bớt số lần lặp nghĩa là để cho bài toán được hội tụ nhanh có thể dùng thừa số tăng tốc thích hợp.

Giả sử trong lần lặp thứ nhất điện áp thanh cái 4 của một hệ thống bằng  $\bar{U}_4^{(1)} = 1,1 - j0,2$  trong khi  $\bar{U}_4^{(0)}$  ban đầu là  $1,0 + j0$ , vậy thì sự sai biệt là:

$$\Delta \bar{U}_4 = \bar{U}_4^{(1)} - \bar{U}_4^{(0)} = (1,1 - j0,2) - (1 + j0) = 0,1 - j0,2$$

$|\Delta \bar{U}_4|$  phải nhỏ hơn một giá trị  $\epsilon$  cho trước thì lời giải của  $U_4$  mới được coi là hội tụ. Việc kiểm tra  $|\Delta \bar{U}_4|$  được theo dõi bằng chương trình máy tính. Tuy nhiên, nếu  $|\Delta \bar{U}_4|$  chưa đủ nhỏ thì có thể nhân  $\Delta \bar{U}_4$  với một thừa số tăng tốc, thừa số thông dụng chọn bằng 1,6. Như vậy,  $U_4$  dùng

trong lần lặp tiếp theo sẽ là:

$$\bar{U}_4^{(1)} = \bar{U}_4^{(0)} - \Delta \bar{U}_4 \cdot 1,6 = (1,0 + j0) + (0,1 - j0,2) \cdot 1,6 = 1,16 - j0,32.$$

## 5.9 PHÂN BỐ CÔNG SUẤT DÙNG MA TRẬN Z<sub>BUS</sub> BẰNG PHÉP LẶP GAUSS-ZEIDEL

Đối với thanh cái k là thanh cái phụ tải, phương trình điện áp tại nút này cho bởi phương trình (5.46):

$$\bar{U}_k = \bar{U}_{\text{chuẩn}} + \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \quad (5.58)$$

Việc giải tìm điện áp nút cũng được tiến hành bằng phép lặp Gauss-Zeidel.

Quá trình lặp gồm các bước sau:

1) Giả thiết các điện áp ban đầu  $\bar{U}_1^{(0)}, \bar{U}_2^{(0)}, \dots, \bar{U}_n^{(0)}$ .

2) Tính  $\bar{U}_1^{(1)}$  theo các điện áp giả thiết ban đầu

$$\bar{U}_1^{(1)} = \bar{U}_{\text{chuẩn}} + \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{1i} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^{(0)*}} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \quad (5.59)$$

3) Thay giá trị  $\bar{U}_1^{(1)}$  vào trở lại phương trình trên để tính lại  $\bar{U}_1^{(1)}$  (coi như một bước phụ, bước này không bắt buộc).

4) Tính  $\bar{U}_2^{(1)}$  trong đó sử dụng  $\bar{U}_1^{(1)}$  vừa tính được ở bước 3. Tương tự tính  $\bar{U}_3^{(1)}, \dots, \bar{U}_n^{(1)}$

5) Lặp lại các bước từ 2 đến 4, luôn luôn dùng các kết quả điện áp vừa tính được.

Tiếp tục quá trình tính lặp này cho đến khi sai số giữa hai lần lặp đạt độ chính xác  $\epsilon$  cho trước. Bài toán khi đó được xem như hội tụ.

Quá trình trên đây chỉ thích hợp đối với thanh cái phụ tải ở đó  $P_i$  và  $Q_i$  của phụ tải tại thanh cái i hoàn toàn biết trước. Trường hợp thanh cái k là một thanh cái máy phát thì lại biết trước  $|U_k|$  và  $P_k$  và cần phải tính gần đúng  $Q_k$  trước khi thay vào phương trình tính điện áp  $\bar{U}_k$  của thanh cái này.

Biết rằng:

$$\bar{U}_k = \bar{U}_{\text{chuẩn}} + \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right)$$

Từ đó suy ra được:

$$\bar{Z}_{kk} \left( \frac{P_k - jQ_k}{\bar{U}_k^*} - \bar{y}_k \bar{U}_k \right) = \bar{U}_k - \bar{U}_{\text{chuẩn}} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \quad (5.60)$$

Như vậy:

$$P_k - jQ_k = \bar{y}_k \bar{U}_k \bar{U}_k^* + \frac{\bar{U}_k^*}{\bar{Z}_{kk}} \left[ \bar{U}_k - \bar{U}_{\text{chuẩn}} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \right] \quad (5.61)$$

$$P_k - jQ_k = \frac{\bar{U}_k^*}{\bar{Z}_{kk}} \left[ \bar{U}_k (1 + \bar{Z}_{kk} \bar{y}_k) - \bar{U}_{\text{chuẩn}} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) \right] \quad (5.62)$$

Suy ra:

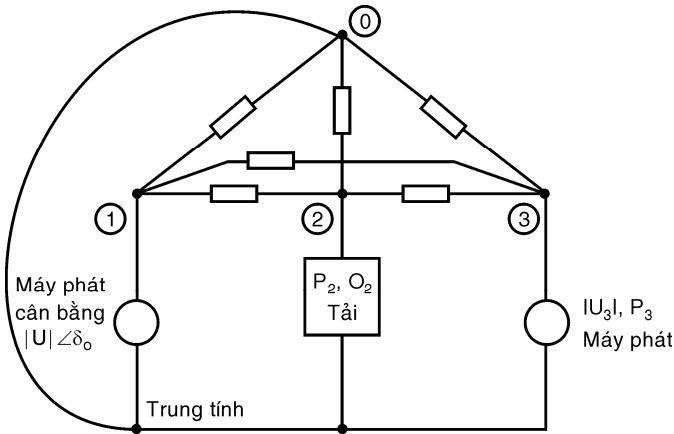
$$Q_k = - \operatorname{Im} \left\{ \frac{\bar{U}_k^*}{\bar{Z}_{kk}} [ \bar{U}_k (1 + \bar{Z}_{kk} \bar{y}_k) - \bar{U}_{\text{chuẩn}} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \bar{Z}_{ki} \left( \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \bar{y}_i \bar{U}_i \right) ] \right\} \quad (5.63)$$

trong đó  $\bar{U}_k$  và các  $\bar{U}_i$  là các giá trị trong lần lặp cuối cùng trước khi đi đến thanh  $k$ .

## 5.10 PHÂN BỐ CÔNG SUẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP NEWTON - RAPHSON

Cho một mạng điện có ba thanh cái H.5.31, thanh cái 1 là thanh cái cân bằng. Phương trình công suất đi vào các thanh cái viết theo điện áp thanh cái và các phần tử trong ma trận tổng dãy thanh cái được viết theo phương trình (5.47) như sau:

$$\begin{aligned} P_2 - jQ_2 &= \bar{U}_2^* [\bar{Y}_{21} \bar{U}_1 + \bar{Y}_{22} \bar{U}_2 + \bar{Y}_{23} \bar{U}_3] \\ P_3 - jQ_3 &= \bar{U}_3^* [\bar{Y}_{31} \bar{U}_1 + \bar{Y}_{32} \bar{U}_2 + \bar{Y}_{33} \bar{U}_3] \end{aligned}$$



Hình 5.31

$$\text{Tổng quát: } P_k - jQ_k = \bar{U}_k^* \sum_{i=1}^n \bar{Y}_{ik} \bar{U}_i$$

### a) Tính toán theo số phức dạng vuông góc

Đặt  $\bar{U}_k = e_k + jh_k$  và  $\bar{Y}_{ik} = G_{ik} + jB_{ik}$

viết theo dạng vuông góc:

$$\begin{aligned} P_k - jQ_k &= (e_k - jh_k) \sum_{i=1}^n [ (G_{ik} + jB_{ik})(e_i + jh_i) ] \\ &= (e_k - jh_k) \sum_{i=1}^n [ (G_{ik} e_i - B_{ik} h_i) + j(B_{ik} e_i + G_{ik} h_i) ] \\ &= \sum_{i=1}^n [ e_k (G_{ik} e_i - B_{ik} h_i) + h_k (G_{ik} h_i + B_{ik} e_i) ] - j \sum_{i=1}^n [ h_k (G_{ik} e_i - B_{ik} h_i) - e_k (B_{ik} e_i + G_{ik} h_i) ] \quad (5.65) \end{aligned}$$

$$\text{hay } P_k = \sum_{i=1}^n [ e_k (G_{ik} e_i - B_{ik} h_i) + h_k (G_{ik} h_i + B_{ik} e_i) ] \quad (5.66)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^n [ h_k(G_{ik}e_i - B_{ik}h_i) - e_k(B_{ik}e_i + G_{ik}h_i) ] \quad (5.67)$$

với  $P_k$  và  $Q_k$  là hàm số của  $e_i$ ,  $e_k$ ,  $h_i$  và  $h_k$ .

Đối với thanh cái phụ tải  $P_k$  và  $Q_k$  cho trước. Tuy vậy, sau khi thay thế các giá trị của  $e$  và  $h$  trong lần thay thế đầu tiên sẽ nhận được  $P_k^{(o)}$  và  $Q_k^{(o)}$  khác với  $P_k$  và  $Q_k$ , sự sai biệt là:

$$\begin{aligned} \Delta P_k^{(0)} &= P_k - P_k^{(0)} \\ \Delta Q_k^{(0)} &= Q_k - Q_k^{(0)} \end{aligned} \quad (5.68)$$

Đối với thanh cái máy phát m,  $|U_m|$  và  $P_m$  cho trước, thay phương trình  $Q_m$  bằng phương trình  $|U_m|^2 = e_m^2 + h_m^2$  và sự sai biệt về điện áp trong lần thay thế đầu tiên:

$$|\Delta U_m^{(0)}|^2 = |U_m|^2 - |U_m^{(0)}|^2 \quad (5.69)$$

Sẽ có sự sai biệt này là do có sự sai biệt  $\Delta e$  và  $\Delta h$  do điện áp chưa đúng với đáp số của bài toán.

Vấn đề là làm sao xác định các  $\Delta e$  và  $\Delta h$  để sửa sai các giá trị điện áp.

Thử áp dụng phương pháp lặp Newton–Raphson để phân bố công suất cho mạng điện đơn giản có ba thanh cái với thanh cái 1 là thanh cái cân bằng.

Các  $\Delta e$  và  $\Delta h$  là ẩn số trong phương trình ma trận sau đây:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta P_3^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \Delta |U_3^{(0)}|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial e_2} \Big|_0 & \frac{\partial P_2}{\partial e_3} \Big|_0 & \frac{\partial P_2}{\partial h_2} \Big|_0 & \frac{\partial P_2}{\partial h_3} \Big|_0 \\ \frac{\partial P_3}{\partial e_2} \Big|_0 & \frac{\partial P_3}{\partial e_3} \Big|_0 & \frac{\partial P_3}{\partial h_2} \Big|_0 & \frac{\partial P_3}{\partial h_3} \Big|_0 \\ \frac{\partial Q_2}{\partial e_2} \Big|_0 & \frac{\partial Q_2}{\partial e_3} \Big|_0 & \frac{\partial Q_2}{\partial h_2} \Big|_0 & \frac{\partial Q_2}{\partial h_3} \Big|_0 \\ \frac{\partial |U_3|^2}{\partial e_2} \Big|_0 & \frac{\partial |U_3|^2}{\partial e_3} \Big|_0 & \frac{\partial |U_3|^2}{\partial h_2} \Big|_0 & \frac{\partial |U_3|^2}{\partial h_3} \Big|_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta e_2^{(0)} \\ \Delta e_3^{(0)} \\ \Delta h_2^{(0)} \\ \Delta h_3^{(0)} \end{bmatrix} \quad (5.70)$$

$P_2, P_3, Q_2$  và  $|U_3|^2$  là hàm số của  $e_2, e_3, h_2, h_3$ ; các ẩn số  $\Delta e^{(0)}$  và  $\Delta h^{(0)}$  trong lần lặp thứ nhất tìm được bằng các phép tính về ma trận chẳng hạn nghịch đảo hay thu gọn ma trận.

Giá trị gần đúng của  $e_2, e_3, h_2, h_3$  dùng cho lần lặp thứ hai là:

$$e_2^{(1)} = e_2^{(0)} + \Delta e_2^{(0)}, \quad h_2^{(1)} = h_2^{(0)} + \Delta h_2^{(0)} \quad (5.71)$$

Phép lặp tiếp tục cho đến khi  $\Delta P, \Delta U, \Delta |U|^2$  nhỏ hơn mức chính xác  $\varepsilon$  cho trước.

### b) Tính toán theo số phức dạng cực

Phương trình công suất nút i suy từ phương trình (5.48):

$$P_i = \sum_{n=1}^N |\bar{U}_i \bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = |\bar{U}_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |\bar{U}_i \bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (5.72)$$

$$Q_i = -\sum_{n=1}^N |\bar{U}_i \bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = -|\bar{U}_i|^2 B_{ii} - \sum_{n=1, n \neq i}^N |\bar{U}_i \bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (5.73)$$

trong đó:

- phần tử ma trận tổng dãy nút  $\bar{Y}_{in} = |\bar{Y}_{in}| e^{j\theta_{in}} = |\bar{Y}_{in}| \angle \theta_{in} = G_{in} + jB_{in}$

- N: số nút;  $\theta, \delta$  tính ra radian.

Các pt nút trên được viết từ nút 2 đến N với nút 1 là nút cân bằng.

Sai số giữa công suất tính toán và công suất qui định của phụ tải cho bởi:

$$\Delta P = P_{qui\ defined} - P_{tinh\ tuyen} \quad (5.74)$$

$$\Delta Q = Q_{qui\ defined} - Q_{tinh\ tuyen} \quad (5.75)$$

Để đơn giản xét một hệ thống có bốn thanh cái, nút cân bằng là nút 1. Có thể khai triển các sai số trên như sau:

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + \frac{\partial P_i}{\partial |U_2|} \Delta |U_2| + \frac{\partial P_i}{\partial |U_3|} \Delta |U_3| + \frac{\partial P_i}{\partial |U_4|} \Delta |U_4| \quad (5.76)$$

Tương tự:

$$\Delta Q_i = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + \frac{\partial Q_i}{\partial |U_2|} \Delta |U_2| + \frac{\partial Q_i}{\partial |U_3|} \Delta |U_3| + \frac{\partial Q_i}{\partial |U_4|} \Delta |U_4| \quad (5.77)$$

Từ đó có được phương trình ma trận:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta P_3^{(0)} \\ \Delta P_4^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \Delta Q_3^{(0)} \\ \Delta Q_4^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} & \frac{\partial P_2}{\partial |U_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |U_3|} & \frac{\partial P_2}{\partial |U_4|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_4} & \frac{\partial P_3}{\partial |U_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |U_3|} & \frac{\partial P_3}{\partial |U_4|} \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} & \frac{\partial P_4}{\partial |U_2|} & \frac{\partial P_4}{\partial |U_3|} & \frac{\partial P_4}{\partial |U_4|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_4} & \frac{\partial Q_2}{\partial |U_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |U_3|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |U_4|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_4} & \frac{\partial Q_3}{\partial |U_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |U_3|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |U_4|} \\ \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_4} & \frac{\partial Q_4}{\partial |U_2|} & \frac{\partial Q_4}{\partial |U_3|} & \frac{\partial Q_4}{\partial |U_4|} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_3^{(0)} \\ \Delta \delta_4^{(0)} \\ \Delta |U_2^{(0)}| \\ \Delta |U_3^{(0)}| \\ \Delta |U_4^{(0)}| \end{bmatrix} \quad (5.78)$$

Các đạo hàm riêng tính tại  $\delta_2^{(0)}, \delta_3^{(0)}, \delta_4^{(0)}, |U_2^{(0)}|, |U_3^{(0)}|, |U_4^{(0)}|$ .

Phương trình trên được giải bằng cách nghịch đảo ma trận Jacobi để xác định  $\Delta \delta_k^{(0)}$  và  $\Delta |U_k^{(0)}|$ . Kế đó điều chỉnh lại góc và điện áp:

$$\delta_k^{(1)} = \delta_k^{(0)} + \Delta \delta_k^{(0)} \quad (5.79)$$

$$|U_k^{(1)}| = |U_k^{(0)}| + \Delta |U_k^{(0)}| \quad (5.80)$$

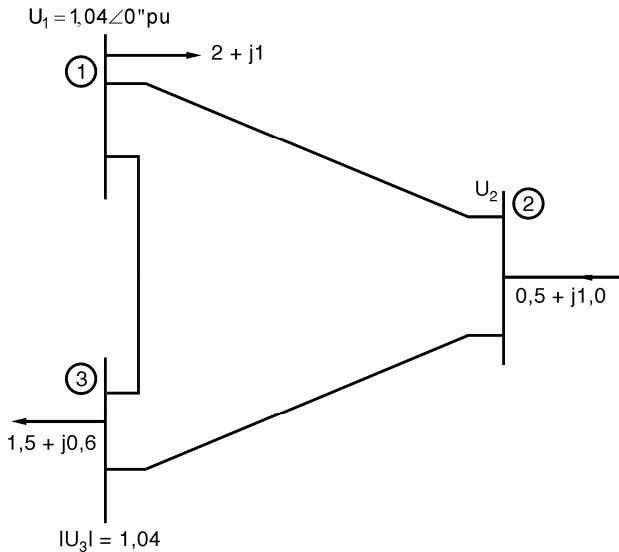
và dùng các giá trị này trong lần lặp tiếp theo.

**Ví dụ 5.8:** Cho mạng điện có sơ đồ như H.5.32. và có ma trận YBUS:

$$\bar{Y}_{BUS} = \begin{bmatrix} 24,23 \angle -75,95^\circ & 12,13 \angle 104,04^\circ & 12,13 \angle 104,04^\circ \\ 12,13 \angle 104,04^\circ & 24,23 \angle -75,95^\circ & 12,13 \angle 104,04^\circ \\ 12,13 \angle 104,04^\circ & 12,13 \angle 104,04^\circ & 24,23 \angle -75,95^\circ \end{bmatrix} \text{đvtđ}$$

Điện áp và công suất cho trong đơn vị tương đối, nút 1 là nút cân bằng.

Hãy xác định điện áp  $U_2$  bằng phương pháp Newton-Raphson.



**Hình 5.32**

### Giải

Nút 2 là nút P,Q, nút 3 là nút P,U. Chiều công suất cho trên hình vẽ

Cho  $\bar{U}_2^{(0)} = 1\angle 0^\circ$  và  $\delta_3^{(0)} = 0$ .

$$\begin{aligned} P_2^{(0)} &= |\bar{U}_2^{(0)}||\bar{U}_1^{(0)}||\bar{Y}_{21}|.\cos(\theta_{21} + \delta_1^{(0)} - \delta_2^{(0)}) + |\bar{U}_2^{(0)}|^2|\bar{Y}_{22}|.\cos\theta_{22} \\ &\quad + |\bar{U}_2^{(0)}||\bar{U}_3^{(0)}||\bar{Y}_{23}|.\cos(\theta_{23} + \delta_3^{(0)} - \delta_2^{(0)}) \\ &= (1).(1,04).(12,13).\cos 104,04^\circ + (1).(24,23).\cos(-75,95^\circ) \\ &\quad + (1).(1,04)(12,13).\cos(104,04) \\ &= -0,33 \text{ đvtđ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^{(0)} &= |\bar{U}_3^{(0)}||\bar{U}_1^{(0)}||\bar{Y}_{31}|.\cos(\theta_{31} + \delta_1^{(0)} - \delta_3^{(0)}) + \\ &\quad + |\bar{U}_3^{(0)}||\bar{U}_2^{(0)}||\bar{Y}_{32}|.\cos(\theta_{32} + \delta_2^{(0)} - \delta_3^{(0)}) + |\bar{U}_3^{(0)}|^2|\bar{Y}_{33}|.\cos\theta_{33} \\ &= (1,04).(1).(12,13).\cos 104,04^\circ + (1,04).(12,13).\cos 104,04^\circ + \\ &\quad (1,04)^2.(24,23).\cos(-75,95^\circ) \\ &= 0,026 \text{ đvtđ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2^{(0)} &= -|\bar{U}_2^{(0)}||\bar{U}_1^{(0)}||\bar{Y}_{21}|.\sin(\theta_{21} + \delta_1^{(0)} - \delta_2^{(0)}) - |\bar{U}_2^{(0)}|^2|\bar{Y}_{22}|.\sin\theta_{22} \\ &\quad - |\bar{U}_2^{(0)}||\bar{U}_3^{(0)}||\bar{Y}_{23}|.\sin(\theta_{23} + \delta_3^{(0)} - \delta_2^{(0)}) \\ &= -(1).(1,04).(12,13).\sin 104,04^\circ - (1).(24,23).\sin(-75,95^\circ) \\ &\quad - (1).(1,04)(12,13).\sin(104,04) \\ &= -1,33 \text{ đvtđ} \end{aligned}$$

Suy ra các sai số:

$$\Delta P_2^{(0)} = 0,5 - (-0,33) = 0,83$$

$$\Delta P_3^{(0)} = -1,5 - 0,026 = -1,526$$

$$\Delta Q_2^{(0)} = 1 - (-1,33) = 2,33$$

Với hệ thống ba thanh cáp ( $|U_3|$  được biết) có được phương trình ma trận:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta P_3^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial |U_2|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial |U_2|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial |U_2|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_3^{(0)} \\ \Delta |U_2^{(0)}| \end{bmatrix}$$

Lấy các đạo hàm riêng tính tại  $\delta_2^{(0)}$ ,  $\delta_3^{(0)}$ ,  $U_2^{(0)}$  và thay vào phương trình ma trận:

$$\begin{bmatrix} 0,83 \\ -1,526 \\ 2,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24,47 & -12,23 & 5,64 \\ -12,23 & 24,95 & -3,05 \\ -6,11 & 3,05 & 22,54 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_3^{(0)} \\ \Delta |U_2^{(0)}| \end{bmatrix}$$

hay:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_3^{(0)} \\ \Delta |U_2^{(0)}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24,47 & -12,23 & 5,64 \\ -12,23 & 24,95 & -3,05 \\ -6,11 & 3,05 & 22,54 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,83 \\ -1,526 \\ 2,33 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,05179 & 0,02653 & -0,00937 \\ 0,02666 & 0,05309 & 0,00051 \\ 0,01043 & -0,00001 & 0,04176 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,83 \\ -1,526 \\ 2,33 \end{bmatrix}$$

Suy ra:

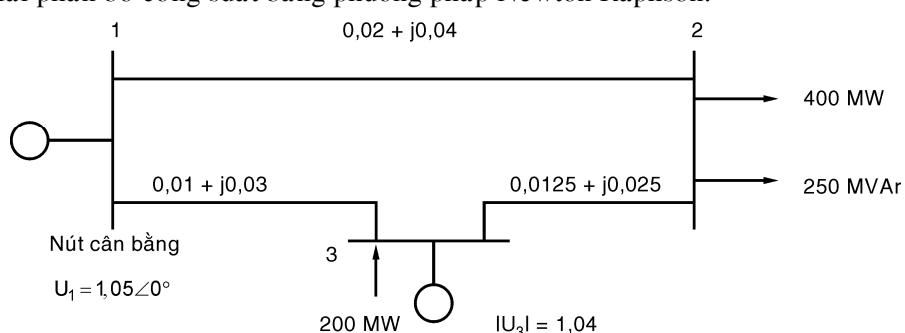
$$\Delta |U_2^{(0)}| = (0,01043).(0,83) + (0,00001).(1,526) + (0,04176).(2,33) = 0,106$$

$$|U_2^{(1)}| = 1 + 0,106 = 1,106$$

Quá trình được lặp lại cho đến khi hội tụ, có được:

$$U_2 = 1,081 \angle -1,37^\circ \text{ đvtđ.}$$

**Ví dụ 5.9:** Hình 5.33 vẽ sơ đồ đơn tuyến của hệ thống điện gồm 3 thanh cáp với thanh cáp 1 và 3 là thanh cáp máy phát. Điện áp nút 1 được điều chỉnh đến 1,05 đvtđ. Điện áp nút 3 được giữ cố định ở 1,04 đvtđ với công suất tác dụng phát 200 MW. Phụ tải 400 MW và 250 MVar được lấy ra từ nút 2. Tổng trở đường dây cho trong đvtđ trên cơ bản 100 MVA, bỏ qua dung dẫn đường dây. Tìm lời giải phân bố công suất bằng phương pháp Newton Raphson.



Hình 5.33

**Giải**

Tổng dãy đường dây:

$$\bar{y}_{12} = 10 - j 20$$

$$\bar{y}_{13} = 10 - j 30$$

$$\bar{y}_{23} = 16 - j 32$$

Kết quả ma trận  $[\bar{Y}_{TC}]$ :

$$[\bar{Y}_{TC}] = \begin{bmatrix} 20 - j 50 & -10 + j 20 & -10 + j 30 \\ -10 + j 20 & 26 - j 52 & -16 + j 32 \\ -10 + j 30 & -16 + j 32 & 26 - j 62 \end{bmatrix}$$

Tính các phần tử của  $[\bar{Y}_{TC}]$  ra số phức dạng cực với góc tính ra radian

$$[\bar{Y}_{TC}] = \begin{bmatrix} 53,85165\angle -1,9029 & 22,36068\angle 2,0344 & 31,62278\angle 1,8925 \\ 22,36068\angle 2,0344 & 58,1377\angle -1,1071 & 35,77709\angle 2,0344 \\ 31,62278\angle 1,8925 & 35,77709\angle 2,0344 & 67,23095\angle -1,1737 \end{bmatrix}$$

Phương trình công suất tác dụng ở nút 2 và 3 và công suất phản kháng ở nút 2:

$$P_2 = |U_2| |U_1| |Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |U_2|^2 |Y_{22}| \cos \theta_{22} + |U_2| |U_3| |Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$P_3 = |U_3| |U_1| |Y_{31}| \cos(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |U_3| |U_2| |Y_{32}| \cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2) + |U_3|^2 |Y_{33}| \cos \theta_{33}$$

$$Q_2 = -|U_2| |U_1| |Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - |U_2|^2 |Y_{22}| \sin \theta_{22} - |U_2| |U_3| |Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

Các phần tử của ma trận Jacobi có được bằng cách lấy đạo hàm riêng của các phương trình trên theo  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  và  $|U_2|$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} = |U_2| |U_1| |Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |U_2| |U_3| |Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} = -|U_2| |U_3| |Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial |U_2|} = |U_1| |Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + 2|U_2| |Y_{22}| \cos \theta_{22} + |U_3| |Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} = -|U_3| |U_1| |Y_{31}| \sin(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |U_3| |U_2| |Y_{32}| \sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} = |U_3| |U_1| |Y_{31}| \sin(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |U_3| |U_2| |Y_{32}| \sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial |U_2|} = |U_3| |Y_{32}| \cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} = |U_2| |U_1| |Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |U_2| |U_3| |Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} = -|U_2| |U_3| |Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial |U_2|} = -|U_1| |Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - 2|U_2| |Y_{22}| \sin \theta_{22} - |U_3| |Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

Công suất phụ tải và máy phát được biểu diễn trong đvtđ:

$$\dot{S}_2^{\text{quidinh}} = -\frac{(400 + j 250)}{100} = -4 - j 2,5 \quad \text{đvtđ}$$

$$\dot{P}_3^{\text{quidinh}} = \frac{200}{100} = 2 \quad \text{đvtđ}$$

Điện áp nút cân bằng  $\dot{U}_1 = 1,05 \angle 0^\circ$  đvtđ và độ lớn điện áp thanh cáp 3 là  $|\dot{U}_3| = 1,04$  đvtđ. Bắt đầu với giả thiết ban đầu  $|\dot{U}_2^{(0)}| = 1,0$  và  $\delta_2^{(0)} = 0,0$  và  $\delta_3^{(0)} = 0,0$ , sai số công suất được tính theo phương trình (5.74) và (5.75):

$$\Delta P_2^{(0)} = P_2^{\text{quidinh}} - P_2^{(0)} = -4,0 - (-1,14) = -2,86$$

$$\Delta P_3^{(0)} = P_3^{\text{quidinh}} - P_3^{(0)} = 2,0 - (0,5616) = 1,4384$$

$$\Delta Q_2^{(0)} = Q_2^{\text{quidinh}} - Q_2^{(0)} = -2,5 - (-2,28) = -0,22$$

Tính các phần tử của ma trận Jacobi với các trị số giả thiết ban đầu, hệ phương trình để giải các trị số hiệu chỉnh:

$$\begin{bmatrix} -2,86 \\ 1,4384 \\ -0,22 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 54,28 & -33,28 & 24,86 \\ -33,28 & 66,04 & -16,64 \\ -24,17 & 16,64 & 49,72 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_3^{(0)} \\ \Delta |\dot{U}_2^{(0)}| \end{bmatrix}$$

Giải phương trình ma trận trên, điện áp mới ở các nút trong lần lặp thứ nhất:

$$\Delta \delta_2^{(0)} = -0,045263 \quad \delta_2^{(1)} = 0 + (-0,045263) = -0,045263$$

$$\Delta \delta_3^{(0)} = -0,007718 \quad \delta_3^{(1)} = 0 + (-0,007718) = -0,007718$$

$$\Delta |\dot{U}_3^{(0)}| = -0,026548 \quad |\dot{U}_2^{(1)}| = 1 + (-0,026548) = 0,97345$$

Góc pha điện áp tính theo radian. Đối với lần lặp thứ hai, có được:

$$\begin{bmatrix} -0,099218 \\ 0,021715 \\ -0,050914 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 51,724675 & -31,765618 & 21,302567 \\ -32,981642 & 65,656383 & -15,379086 \\ -28,538577 & 17,402838 & 48,103589 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(1)} \\ \Delta \delta_3^{(1)} \\ \Delta |\dot{U}_2^{(1)}| \end{bmatrix}$$

Giải và tính điện áp mới trong lần lặp thứ hai:

$$\Delta \delta_2^{(1)} = -0,001795 \quad \delta_2^{(2)} = -0,045263 + (-0,001795) = -0,047058$$

$$\Delta \delta_3^{(1)} = -0,000985 \quad \delta_3^{(2)} = -0,007718 + (-0,000985) = -0,008703$$

$$\Delta |\dot{U}_2^{(1)}| = -0,001767 \quad |\dot{U}_2^{(2)}| = 0,97345 + (-0,001767) = 0,971684$$

Tương tự trong lần lặp thứ ba:

$$\begin{bmatrix} -0,000216 \\ 0,000038 \\ -0,000143 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 51,596701 & -31,693866 & 21,147447 \\ -32,933865 & 65,597585 & -15,351628 \\ -28,548205 & 17,396932 & 47,954870 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(2)} \\ \Delta \delta_3^{(2)} \\ \Delta |\dot{U}_2^{(2)}| \end{bmatrix}$$

Giải phương trình:

$$\begin{aligned}\Delta\delta_2^{(2)} &= -0,0000038 & \delta_2^{(3)} &= -0,047058 + (-0,0000038) = -0,04706 \\ \Delta\delta_3^{(2)} &= -0,0000024 & \delta_3^{(3)} &= -0,008703 + (-0,0000024) = -0,008705 \\ \Delta|U_2^{(2)}| &= -0,0000044 & |U_2^{(3)}| &= 0,971684 + (-0,0000044) = 0,97168\end{aligned}$$

Lời giải hội tụ sau 3 lần lập với sai số công suất lớn nhất là:

$$2,5 \times 10^{-4}, \quad \bar{U}_2 = 0,97168 \angle -2,696^\circ \text{ và } \bar{U}_3 = 1,04 \angle -0,4988^\circ$$

Từ phương trình (5.72) và (5.73), công suất phản kháng ở nút 3 và công suất tác dụng và phản kháng ở nút cân bằng cho bởi:

$$\begin{aligned}Q_3 &= -|U_3||U_1||Y_{31}|\sin(\theta_{31}-\delta_3+\delta_1)-|U_3||U_2||Y_{32}|\sin(\theta_{32}-\delta_3+\delta_2)-|U_3|^2|Y_{32}|\sin\theta_{33} \\ P_1 &= |U_1|^2|Y_{11}|\cos\theta_{11}+|U_1||U_2||Y_{12}|\cos(\theta_{12}-\delta_1+\delta_2)+|U_1||U_3||Y_{13}|\cos(\theta_{13}-\delta_1+\delta_3) \\ Q_1 &= -|U_1|^2|Y_{11}|\sin\theta_{11}-|U_1||U_2||Y_{12}|\sin(\theta_{12}-\delta_1+\delta_2)-|U_1||U_3||Y_{13}|\sin(\theta_{13}-\delta_1+\delta_3)\end{aligned}$$

Kết quả có được:

$$Q_3 = 1,4617 \text{ đvtđ}$$

$$P_1 = 2,1842 \text{ đvtđ}$$

$$Q_1 = 1,4085 \text{ đvtđ}$$

### 5.10.1 Thành lập ma trận Jacobi

Trên đây đã giới thiệu ma trận Jacobi, trong phần này trình bày cách thành lập ma trận Jacobi thuận lợi cho việc xác định các phần tử của chúng.

Đối với sai số công suất tác dụng tính toán tại nút i (viết cho hệ thống bốn nút):

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + \frac{\partial P_i}{\partial |U_2|} \Delta |U_2| + \frac{\partial P_i}{\partial |U_3|} \Delta |U_3| + \frac{\partial P_i}{\partial |U_4|} \Delta |U_4| \quad (5.81)$$

Ba số hạng sau có thể lần lượt được nhân và chia cho điện áp tương ứng mà không ảnh hưởng đến kết quả:

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + |U_2| \frac{\partial P_i}{\partial |U_2|} \frac{\Delta |U_2|}{|U_2|} + |U_3| \frac{\partial P_i}{\partial |U_3|} \frac{\Delta |U_3|}{|U_3|} + |U_4| \frac{\partial P_i}{\partial |U_4|} \frac{\Delta |U_4|}{|U_4|} \quad (5.82)$$

Có nhiều thuận lợi khi viết theo dạng này như sẽ được trình bày. Tương tự, viết cho sai số công suất phản kháng tính toán tại nút i:

$$\Delta Q_i = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + |U_2| \frac{\partial Q_i}{\partial |U_2|} \frac{\Delta |U_2|}{|U_2|} + |U_3| \frac{\partial Q_i}{\partial |U_3|} \frac{\Delta |U_3|}{|U_3|} + |U_4| \frac{\partial Q_i}{\partial |U_4|} \frac{\Delta |U_4|}{|U_4|} \quad (5.83)$$

Mỗi nút không phải là nút cân bằng có hai phương trình sai số  $\Delta P_i$  và  $\Delta Q_i$ . Tập hợp tất cả các phương trình này và viết dưới dạng phương trình ma trận như sau:

$$\begin{array}{|c|c|} \hline & \left[ \begin{array}{cc} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} \\ \dots J_{11} \dots & \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \dots \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} |\bar{U}_2| \frac{\partial P_2}{\partial |\bar{U}_2|} & \dots |\bar{U}_4| \frac{\partial P_2}{\partial |\bar{U}_4|} \\ J_{12} \\ |\bar{U}_2| \frac{\partial P_4}{\partial |\bar{U}_2|} & \dots |\bar{U}_4| \frac{\partial P_4}{\partial |\bar{U}_4|} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \Delta \delta_2 \\ \dots \\ \Delta \delta_4 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \Delta P_2 \\ \Delta P_4 \end{array} \right] \\ \hline & \left[ \begin{array}{cc} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_4} \\ \dots J_{21} \dots & \\ \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_2} & \dots \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_4} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} |\bar{U}_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |\bar{U}_2|} & \dots |\bar{U}_4| \frac{\partial Q_2}{\partial |\bar{U}_4|} \\ J_{22} \\ |\bar{U}_2| \frac{\partial Q_4}{\partial |\bar{U}_2|} & \dots |\bar{U}_4| \frac{\partial Q_4}{\partial |\bar{U}_4|} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \Delta |\bar{U}_2| \\ \dots \\ \Delta |\bar{U}_4| \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \Delta Q_2 \\ \Delta Q_4 \end{array} \right] \\ \hline \end{array} \quad (5.84)$$

Theo phương trình ma trận, các trị số hiệu chỉnh điện áp là  $\Delta |U_j|/|U_j|$  thay vì  $\Delta |\bar{U}_j|$   
Trình tự phép tính lặp được thực hiện như sau:

- 1) Giả thiết các trị số ban đầu  $\delta_i^{(0)}$  và  $|\bar{U}_i^{(0)}|$  đối với các biến trạng thái;
- 2) Tính công suất tính toán  $P_i^{(\text{tính toán})}$  và  $Q_i^{(\text{tính toán})}$  tại các nút từ các phương trình công suất nút và tính các sai số công suất nút  $\Delta P_i^{(0)}$  và  $\Delta Q_i^{(0)}$ ;
- 3) Tính toán các phần tử của ma trận Jacobi tại  $\delta_i^{(0)}$  và  $U_i^{(0)}$ . Giải phương trình ma trận (5.84) để tìm các trị số hiệu chỉnh ban đầu  $\Delta \delta_i^{(0)}$  và  $\Delta |\bar{U}_i|^{(0)}/|\bar{U}_i|^{(0)}$ ;
- 4) Tính lại các biến trạng thái:

$$\begin{aligned} \delta_i^{(1)} &= \delta_i^{(0)} + \Delta \delta_i^{(0)} \\ |\bar{U}_i|^{(1)} &= |\bar{U}_i|^{(0)} + \Delta |\bar{U}_i|^{(0)} = |\bar{U}_i|^{(0)} \cdot \left( 1 + \frac{\Delta |\bar{U}_i|^{(0)}}{|\bar{U}_i|^{(0)}} \right) \end{aligned}$$

5) Dùng các giá trị mới  $\delta_i^{(1)}$  và  $|\bar{U}_i|^{(1)}$  làm các trị số bắt đầu đối với lần lặp thứ hai và tiếp tục lại các bước từ 2) đến 5).

Tổng quát, các trị số bắt đầu của các biến trạng thái trong lần lặp thứ  $k+1$ :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (5.85)$$

$$|\bar{U}_i|^{(k+1)} = |\bar{U}_i|^{(k)} + \Delta |\bar{U}_i|^{(k)} = |\bar{U}_i|^{(k)} \left( 1 + \frac{\Delta |\bar{U}_i|^{(k)}}{|\bar{U}_i|^{(k)}} \right) \quad (5.86)$$

Sau đây trình bày các công thức dùng để tính các phần tử của ma trận Jacobi.

Các phần tử của ma trận  $J_{11}$ :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|\bar{U}_i \bar{U}_j \bar{Y}_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = M_{ij} \quad \text{với } i \neq j. \quad (5.87)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |\bar{U}_i \bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = -\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} = -Q_i - |U_i|^2 B_{ii} = M_{ii} \quad (5.88)$$

Các phần tử của ma trận  $J_{21}$ :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|\bar{U}_i \bar{U}_j \bar{Y}_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = N_{ij} \quad \text{với } i \neq j. \quad (5.89)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |\bar{U}_i \bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} = P_i - |U_i|^2 G_{ii} = N_{ii} \quad (5.90)$$

Các phần tử của ma trận  $J_{12}$ :

$$|\bar{U}_j| \frac{\partial P_i}{\partial |\bar{U}_j|} = |\bar{U}_j| |\bar{U}_i \bar{Y}_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = - \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -N_{ij} \quad \text{với } i \neq j. \quad (5.91)$$

$$|\bar{U}_i| \frac{\partial P_i}{\partial |\bar{U}_i|} = |\bar{U}_i| \left[ 2 |\bar{U}_i| G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |\bar{U}_n \bar{Y}_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \right] \quad (5.92)$$

$$= \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2 |\bar{U}_i|^2 G_{ii} = P_i + |\bar{U}_i|^2 G_{ii} = N_{ii} + 2 |\bar{U}_i|^2 G_{ii} \quad (5.93)$$

Các phần tử của ma trận  $J_{22}$ :

$$|\bar{U}_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |\bar{U}_j|} = - |\bar{U}_j| |\bar{U}_i \bar{Y}_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = M_{ij} \quad \text{với } i \neq j. \quad (5.94)$$

$$|\bar{U}_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |\bar{U}_i|} = - \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} - 2 |\bar{U}_i|^2 B_{ii} = Q_i - |\bar{U}_i|^2 B_{ii} = -M_{ii} - 2 |\bar{U}_i|^2 B_{ii} \quad (5.95)$$

*Đối với thanh cái có điều chỉnh điện áp:* Trong các phương trình phân bố công suất viết dưới dạng cực, thanh cái điều chỉnh điện áp dễ dàng được xét đến. Ví dụ, thanh cái 4 là thanh cái có điều chỉnh điện áp trong hệ thống có bốn thanh cái, vậy thì  $|U_4|$  là một trị số đã được định trước và trị số sửa sai  $\Delta|U_4|/|U_4|$  phải luôn luôn bằng không và như vậy bỏ bớt một cột ứng với đạo hàm riêng theo  $|U_4|$ . Ngoài ra, công suất kháng  $Q_4$  cũng không được định trước vì vậy không cần xác định sai số công suất kháng  $\Delta Q_4$  do đó bỏ hàng ứng với đạo hàm riêng của  $Q_4$ .

## 5.11 PHƯƠNG PHÁP PHÂN LẬP JACOBI

Trong phương pháp Newton–Raphson, ma trận Jacobi được tính toán trong mỗi lần lặp và thường áp dụng thừa số hóa tam giác ma trận này như trình bày trong mục 5.4.3 để tính các trị số hiệu chỉnh. Khi giải các hệ thống truyền tải lớn, một phương pháp để cải thiện hiệu quả tính toán và giảm bớt dung lượng bộ nhớ máy tính là phương pháp phân lập. Đây là phương pháp gần đúng của phương pháp Newton–Raphson. Nguyên tắc của sự phân lập dựa trên hai nhận xét sau:

- Sự thay đổi của góc lệch pha điện áp ở một thanh cái ảnh hưởng chủ yếu đến dòng công suất tác dụng  $P$  trên đường dây và dòng công suất phản kháng  $Q$  coi như không thay đổi.

- Sự thay đổi trị số điện áp  $|U|$  ở một thanh cái ảnh hưởng chủ yếu đến dòng công suất phản kháng  $Q$  trên đường dây và dòng công suất tác dụng  $P$  coi như không thay đổi.

Nhận xét thứ nhất chứng tỏ  $\partial P_i / \partial \delta_j$  lớn hơn nhiều so với  $\partial Q_i / \partial \delta_j$  và có thể cho  $\partial Q_i / \partial \delta_j = 0$ .

Nhận xét thứ hai chứng tỏ  $\partial Q_i / \partial |U_j|$  lớn hơn nhiều so với  $\partial P_i / \partial |U_j|$  và có thể cho  $\partial P_i / \partial |U_j| = 0$ .

Việc đưa các gần đúng nói trên vào ma trận Jacobi làm cho các phần tử của các ma trận con  $J_{12}$  và  $J_{22}$  bằng không và phân lập ra hai hệ phương trình riêng biệt như A6

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} \\ \vdots & J_{11} & \vdots \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_4 \end{bmatrix} \quad (5.96)$$

$$\begin{bmatrix} |\bar{U}_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |\bar{U}_2|} & \dots & |\bar{U}_4| \frac{\partial Q_2}{\partial |\bar{U}_4|} \\ \vdots & J_{22} & \vdots \\ |\bar{U}_2| \frac{\partial Q_4}{\partial |\bar{U}_2|} & \dots & |\bar{U}_4| \frac{\partial Q_4}{\partial |\bar{U}_4|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta |\bar{U}_2| \\ \vdots \\ \Delta |\bar{U}_4| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \quad (5.97)$$

Các phương trình này được phân lập theo nghĩa là các hiệu chỉnh góc pha điện áp  $\Delta\delta$  được tính toán từ các sai số công suất tác dụng  $\Delta P$  trong khi các hiệu chỉnh về trị số điện áp  $\Delta|\bar{U}_i|/|\bar{U}_i|$  được tính toán từ các sai số công suất phản kháng  $\Delta Q$ . Tuy vậy, các phần tử của hai ma trận  $J_{11}$  và  $J_{22}$  vẫn còn phụ thuộc lẫn nhau vì các phần tử của  $J_{11}$  phụ thuộc vào các trị số điện áp được giải từ phương trình (5.97) trong khi các phần tử của  $J_{22}$  lại phụ thuộc vào góc pha được giải từ phương trình (5.96). Dĩ nhiên, hai hệ phương trình này có thể được giải tuân tự, dùng kết quả lời giải của hệ này để tính toán các phần tử của ma trận trong hệ kia. Để đơn giản trong tính toán, cần đưa vào các yếu tố để làm cho đơn giản hơn nữa dựa vào tính vật lý của dòng công suất trên đường dây truyền tải như được giải thích như sau:

Trong một hệ thống truyền tải được thiết kế và vận hành thích hợp thì:

- Hiệu số góc pha giữa các nút trong hệ thống thường là nhỏ sao cho:

$$\cos(\delta_i - \delta_j) \approx 1 ; \sin(\delta_i - \delta_j) \approx (\delta_i - \delta_j) \text{ radian} \quad (5.98)$$

- Điện dẫn phản kháng của đường dây  $B_{ij}$  lớn gấp nhiều lần so với điện dẫn tác dụng  $G_{ij}$  sao cho:

$$G_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j) \ll B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j) \quad (5.99)$$

- Công suất phản kháng  $Q_i$  đi vào ở nút  $i$  trong chế độ vận hành bình thường nhỏ hơn nhiều so với công suất kháng nếu tất cả các đường dây từ nút này bị ngắn mạch:

$$Q_i \ll |\bar{U}_i|^2 \cdot B_{ii} \quad (5.100)$$

Các gần đúng này có thể được dùng để làm đơn giản các phần tử của ma trận Jacobi. Các phần tử ngoài đường chéo của  $J_{11}$  và  $J_{22}$  cho bởi:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = |\bar{U}_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |\bar{U}_j|} = -|\bar{U}_i \bar{U}_j \bar{Y}_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad \text{với } i \neq j \quad (5.101)$$

Dùng công thức  $\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha \cdot \cos\beta + \cos\alpha \cdot \sin\beta$  có được:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = |\bar{U}_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |\bar{U}_j|} = -|\bar{U}_i \bar{U}_j| \{B_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i) + G_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i)\} \quad (5.102)$$

trong đó  $B_{ij} = |\bar{Y}_{ij}| \sin\theta_{ij}$  và  $G_{ij} = |\bar{Y}_{ij}| \cos\theta_{ij}$

Từ các gần đúng nói trên các phần tử ngoài đường chéo cho bởi:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \approx |\bar{U}_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |\bar{U}_j|} \approx -|\bar{U}_i \bar{U}_j| B_{ij} \quad \text{với } i \neq j \quad (5.103)$$

Các phần tử trên đường chéo của  $J_{11}$  và  $J_{22}$  cho bởi phương trình:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |U_i U_n \bar{Y}_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} = -Q_i - |U_i|^2 B_{ii} = M_{ii} \quad (5.104)$$

$$|U_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |U_i|} = - \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} - 2 |U_i|^2 B_{ii} = Q_i - |U_i|^2 B_{ii} = -M_{ii} - 2 |U_i|^2 B_{ii} \quad (5.105)$$

Áp dụng bất đẳng thức  $Q_i \ll |U_i|^2 B_{ii}$  có được:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} \approx |U_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |U_i|} \approx -|U_i|^2 B_{ii} \quad (5.106)$$

Bằng cách thay thế các trị số gần đúng đối với các phần tử của  $J_{11}$  và  $J_{22}$  có được hệ phương trình:

$$\begin{bmatrix} -|U_2 U_2| B_{22} & -|U_3 U_2| B_{23} & -|U_4 U_2| B_{24} \\ -|U_2 U_3| B_{32} & -|U_3 U_3| B_{33} & -|U_4 U_3| B_{34} \\ -|U_2 U_4| B_{42} & -|U_3 U_4| B_{43} & -|U_4 U_4| B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta \delta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \end{bmatrix} \quad (5.107)$$

và:

$$\begin{bmatrix} -|U_2 U_2| B_{22} & -|U_3 U_2| B_{23} & -|U_4 U_2| B_{24} \\ -|U_2 U_3| B_{32} & -|U_3 U_3| B_{33} & -|U_4 U_3| B_{34} \\ -|U_2 U_4| B_{42} & -|U_3 U_4| B_{43} & -|U_4 U_4| B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\Delta |U_2|}{|U_2|} \\ \frac{\Delta |U_3|}{|U_3|} \\ \frac{\Delta |U_4|}{|U_4|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \quad (5.108)$$

Để chứng tỏ bằng cách nào có thể loại bỏ được điện áp từ các phần tử của ma trận các hệ số của phương trình (5.108), hãy nhân hàng thứ nhất của ma trận các hệ số với vectơ cột các giá trị hiệu chỉnh điện áp và chia phương trình được tạo ra cho  $|U_2|$ , có được:

$$-B_{22} \Delta |U_2| - B_{23} \Delta |U_3| - B_{24} \Delta |U_4| = \frac{\Delta Q_2}{|U_2|} \quad (5.109)$$

$\frac{\Delta Q_2}{|U_2|}$  - biểu diễn cho sai số về công suất phản kháng.

Các hệ số trong phương trình này là các hằng số và bằng với trị số đổi dấu của phần ảo của các phần tử trong hàng của ma trận  $\bar{Y}_{bus}$  ứng với nút 2.

Cũng có thể biến đổi phương trình (5.107) bằng cách nhân hàng thứ nhất của ma trận các hệ số với vectơ cột các giá trị hiệu chỉnh góc pha và sắp xếp lại kết quả của phép nhân, có được:

$$-|U_2| B_{22} \Delta \delta_2 - |U_3| B_{23} \Delta \delta_3 - |U_4| B_{24} \Delta \delta_4 = \frac{\Delta P_2}{|U_2|} \quad (5.110)$$

Các hệ số của phương trình này có thể được làm cho giống như các hệ số của phương trình (5.109) bằng cách cho  $|U_2|$ ,  $|U_3|$  và  $|U_4|$  bằng 1 đvtđ trong vế phải của biểu thức.

$\frac{\Delta P_2}{|U_2|}$  biểu diễn cho sai số về công suất tác dụng.

Tiến hành tương tự phép, nhân các hàng còn lại cho vectơ cột sẽ dẫn đến hai hệ phương trình được phân lập đối với một mạng điện có bốn nút:

$$\begin{bmatrix} -B_{22} & -B_{23} & -B_{24} \\ -B_{32} & -B_{33} & -B_{34} \\ -B_{42} & -B_{43} & -B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta\delta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta P_2}{|U_2|} \\ \frac{\Delta P_3}{|U_3|} \\ \frac{\Delta P_4}{|U_4|} \end{bmatrix} \quad (5.111)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} -B_{22} & -B_{23} & -B_{24} \\ -B_{32} & -B_{33} & -B_{34} \\ -B_{42} & -B_{43} & -B_{44} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}} \begin{bmatrix} \Delta |U_2| \\ \Delta |U_3| \\ \Delta |U_4| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta Q_2}{|U_2|} \\ \frac{\Delta Q_3}{|U_3|} \\ \frac{\Delta Q_4}{|U_4|} \end{bmatrix} \quad (5.112)$$

Ma trận  $\mathbf{B}$  đối xứng, có nhiều số không, các phần tử không đổi và là số thực, trái dấu với phần ảo của ma trận  $\mathbf{Y}_{bus}$ . Như vậy ma trận  $\mathbf{B}$  dễ dàng được thành lập ngay từ đầu và có thể được phân tích thành các thừa số tam giác cần thiết để giải hệ phương trình. Một khi được thành lập ma trận  $\mathbf{B}$  không cần phải tính toán lại trong khi ma trận Jacobi trong (5.84) phải được tính lại trong mỗi lần lặp. Điều này cho phép mỗi lần lặp được thực hiện nhanh chóng. Đối với các nút có điều chỉnh điện áp thì công suất  $Q$  không được định trước và  $\Delta|U|$  bằng không nên bỏ bớt hàng và cột tương ứng với các nút này trong phương trình (5.112).

Trình tự tính toán như sau:

1. Tính các sai số ban đầu  $\Delta P/|U|$  từ phương trình (5.72) và (5.74).
2. Giải phương trình (5.111) tìm  $\Delta\delta$ .
3. Hiệu chỉnh lại các góc  $\delta$  và dùng chúng để tính các sai số  $\Delta Q/|U|$  từ (5.73) và (5.75).
4. Giải pt (5.112) tìm  $\Delta|U|$  và hiệu chỉnh lại các điện áp  $|U|$  và dùng chúng để tính lại các sai số  $\Delta P/|U|$  từ (5.72).
5. Lặp lại các bước từ 2 đến 5 cho đến khi các sai số đạt độ chính xác mong muốn.

**Ví dụ 5.10:** Làm lại ví dụ 5.9 bằng phương pháp phân lập Jacobi.

**Giải**

Ma trận tổng dẫn thanh cái được viết lại:

$$[\bar{\mathbf{Y}}_{TC}] = \begin{bmatrix} 20-j50 & -10+j20 & -10+j30 \\ -10+j20 & 26-j52 & -16+j32 \\ -10+j30 & -16+j32 & 26-j62 \end{bmatrix}$$

Trong hệ thống này, nút 1 là nút cân bằng và ma trận phần ảo của  $[\bar{\mathbf{Y}}_{TC}]$  dùng để xác định góc pha hiệu chỉnh  $\Delta\delta_2$  và  $\Delta\delta_3$ :

$$[B] = \begin{bmatrix} -52 & 32 \\ 32 & -62 \end{bmatrix}$$

$$[B]^{-1} = \begin{bmatrix} +0,028182 & +0,014545 \\ +0,014545 & +0,023636 \end{bmatrix}$$

Biểu thức công suất tác dụng và phản kháng ở nút 2 và 3 và công suất phản kháng ở nút 2:

$$P_2 = |U_2| |U_1| |Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |U_2|^2 |Y_{22}| \cos \theta_{22} + |U_2| |U_3| |Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$P_3 = |U_3| |U_1| |Y_{31}| \cos(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |U_3| |U_2| |Y_{32}| \cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2) + |U_3|^2 |Y_{33}| \cos \theta_{33}$$

$$Q_2 = -|U_2| |U_1| |Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - |U_2|^2 |Y_{22}| \sin \theta_{22} - |U_2| |U_3| |Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

Phụ tải và công suất phát trong đvtđ:

$$\boxed{S_2} = -\frac{400 + j 250}{100} = -4 - j 2,5 \text{ đvtđ}$$

$$P_3^{\text{qui định}} = \frac{200}{100} = 2 \text{ đvtđ}$$

Điện áp nút cân bằng  $\boxed{U_1} = 1,05 \angle 0^\circ$  đvtđ và độ lớn điện áp nút 3  $|U_3| = 1,04$  đvtđ. Bắt đầu với giả thiết  $|U_2^{(o)}| = 1,0$ ,  $\delta_2^{(o)} = 0,0$  và  $\delta_3^{(o)} = 0,0$ , sai số công suất:

$$\Delta P_2^{(o)} = P_2^{\text{qui định}} - P_2^{(o)} = -4,0(-1,44) = -2,86$$

$$\Delta P_3^{(o)} = P_3^{\text{qui định}} - P_3^{(o)} = 2,0 - (0,5616) = 1,4384$$

$$\Delta Q_2^{(o)} = Q_2^{\text{qui định}} - Q_2^{(o)} = -2,5 - (-2,28) = -0,22$$

Áp dụng phương trình (5.111):

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(o)} \\ \Delta \delta_3^{(o)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +0,028182 & +0,014545 \\ +0,014545 & +0,023636 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2,86 \\ 1,0 \\ 1,4384 \\ 1,04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,060483 \\ -0,008909 \end{bmatrix}$$

Vì nút 3 là nút điều chỉnh điện áp, bỏ hàng và cột của [B] ứng với nút 3 có được

$$[B'] = [-52]$$

Từ phương trình (5.112):

$$\Delta |U_2| = \begin{bmatrix} +1 \\ 52 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,22 \\ 1,0 \end{bmatrix} = -0,0042308$$

Các điện áp mới trong lần lặp thứ nhất:

$$\Delta \delta_2^{(o)} = -0,060483 \quad \delta_2^{(1)} = 0 + (-0,060483) = -0,060483$$

$$\Delta \delta_3^{(o)} = -0,008989 \quad \delta_3^{(1)} = 0 + (-0,008989) = -0,008989$$

$$\Delta |U_2^{(o)}| = -0,0042308 \quad |U_2^{(1)}| = 1 + (-0,0042308) = 0,995769$$

Góc pha điện áp bằng radian. Quá trình được lặp lại cho đến khi sai số về công suất nút đạt được độ chính xác cần thiết.

Kết quả được lặp bảng như sau:

Lần lặp	$\delta_2$	$\delta_3$	$ U_2 $	$\Delta P_2$	$\Delta P_3$	$\Delta Q_2$
1	-0,060482	-0,008909	0,995769	-2,860000	1,438400	-0,220000
2	-0,056496	-0,007952	0,965274	0,175895	-0,070951	-0,220000
3	-0,044194	-0,008690	0,965711	0,640309	-0,457039	0,021948
4	-0,044802	-0,008996	0,972985	-0,021395	0,001195	0,365249
5	-0,047665	-0,008713	0,973116	-0,153368	0,112899	0,006657
6	-0,047614	-0,008645	0,971414	0,000520	0,002610	-0,086136
7	-0,046936	-0,008702	0,971333	0,035980	-0,026190	-0,004067
8	-0,046928	-0,008720	0,971732	0,000948	-0,001411	0,020119
9	-0,047087	-0,008707	0,971762	-0,008442	0,006133	0,001558
10	-0,047094	-0,008702	0,971669	-0,000470	0,000510	-0,004688
11	-0,047057	-0,008705	0,971660	0,001971	-0,001427	-0,000500
12	-0,047054	-0,008706	0,971681	0,000170	-0,000163	0,001087
13	-0,047063	-0,008706	0,971684	-0,000458	0,000330	0,000151
14	-0,047064	-0,008706	0,971680	-0,000053	0,000048	-0,000250

Kết quả cuối cùng với góc pha đổi ra độ:

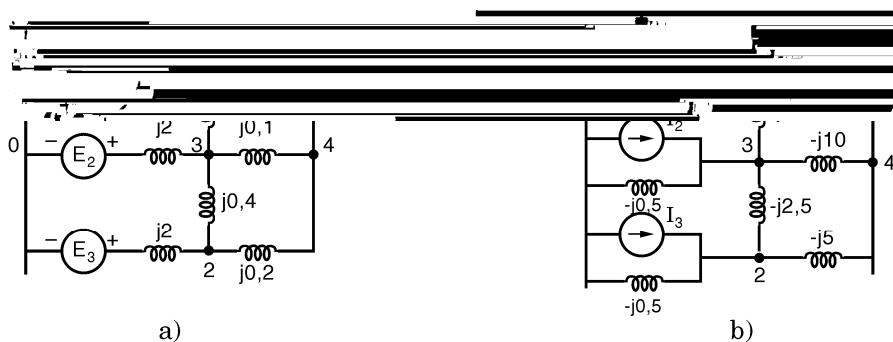
$$\bar{U}_2 = 0,97168 \angle -2,696^\circ, \quad \bar{U}_3 = 1,04 \angle -0,4988^\circ$$

Dùng phương trình (5.72) và (5.73) có được  $Q_3 = 1,4617$ ,  $P_1 = 2,1842$  và  $Q_1 = 1,4085$  đvtđ.

Phương pháp phân lập trong ví dụ này cần 14 lần lặp với sai số công suất nút lớn nhất là  $2,5 \cdot 10^{-4}$  đvtđ so với 3 lần lặp trong ví dụ 5.9. Tỷ số X/R lớn nhất của đường dây truyền tải trong ví dụ này bằng 3. Đối với hệ thống có tỷ số X/R lớn hơn, phương pháp phân lập Jacobi hội tụ với số lần lặp ít hơn. Tuy vậy, số lần lặp tùy thuộc vào kích cỡ của hệ thống.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 5

- 5.1. Cho sơ đồ điện kháng như trong H.BT5.1a. Dùng phép biến đổi nguồn để có sơ đồ tổng dẫn của mạng điện.



Hình BT5.1

ĐS: Vẽ trong H.BT5.1.b

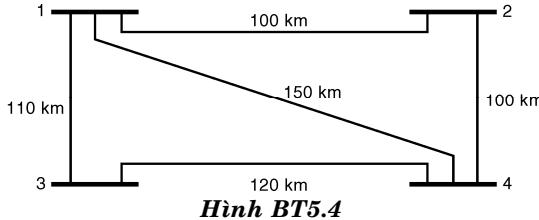
**5.2.** Thành lập ma trận tổng dẫn thanh cáp ( $\bar{Y}_{TC}$  hay  $\bar{Y}_{bus}$ ) của mạng điện trong bài tập 5.1.

$$\text{ĐS: } \bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} -j10,5 & 0 & j5,0 & j5,0 \\ 0 & -j8,0 & j2,5 & j5,0 \\ j5,0 & j2,5 & -j18,0 & -j20,0 \\ j5,0 & j5,0 & j10,0 & -j20,0 \end{bmatrix}$$

**5.3.** Giả thiết  $E_2 = 0$ , khử nút 3 và 4 trong sơ đồ H.BT5.1.b. Tìm  $\bar{Y}_{bus}$  mới.

$$\text{ĐS: } \bar{Y}_{bus(\text{mới})} = \begin{bmatrix} -j4,923 & j4,134 \\ j4,134 & -j4,826 \end{bmatrix}$$

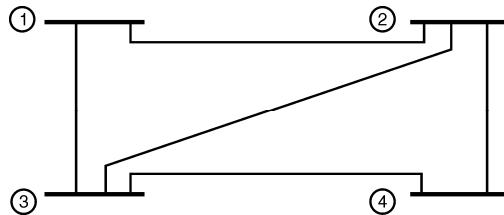
**5.4.** Cho mạng điện có sơ đồ trong H.BT5.4. tất cả đường dây có tổng trở  $0,1 + j0,7 \Omega/km$  và dung dẫn  $j0,35 \times 10^{-5} 1/\Omega.km$ . Điện áp định mức của đường dây 220 kV. Tìm ma trận tổng dẫn thanh cáp của mạng điện. Biểu diễn trong đơn vị tương đối trên cơ bản 220 kV, 100 MVA.



**Hình BT5.4**

$$\text{ĐS: } \bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} 2,493 - j17,148 & -0,968 + j6,776 & -0,880 + j6,160 & -0,645 + j4,517 \\ -0,968 + j6,776 & 1,936 - j13,383 & 0 & -0,968 + j6,776 \\ -0,880 + j6,160 & 0 & 1,687 - j11,615 & -0,807 + j5,65 \\ -0,645 + j4,517 & -0,968 + j6,776 & -0,807 + j5,65 & 2,420 - j16,630 \end{bmatrix}$$

**5.5.** Cho mạng điện có bốn thanh cáp trong H.BT5.5. Xác định ma trận  $\bar{Y}_{bus}$ .

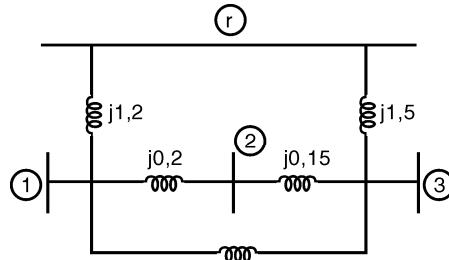


**Hình BT5.5**

Đường dây (từ nút đến nút)	R (đvtđ)	X (đvtđ)
1-2	0,05	0,15
1-3	0,10	0,30
2-3	0,15	0,45
2-4	0,10	0,30
3-4	0,05	0,15

$$\text{ĐS: } \bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} 3 - j9 & -2 + j6 & -1 + j3 & 0 \\ -2 + j6 & 3,666 - j11 & -0,666 + j2 & -1 + j3 \\ -1 + j3 & -0,666 + j2 & 3,666 - j11 & -2 + j6 \\ 0 & -1 + j3 & -2 + j6 & 3 - j9 \end{bmatrix}$$

**5.6.** Tìm ma trận tổng trở thanh cáp ( $\bar{Z}_{TC}$  hay  $\bar{Z}_{bus}$ ) của sơ đồ H.BT5.6. Tất cả tổng trở cho trong đơn vị tương đối. Chọn nút r làm chuẩn. Để hở nhánh  $j1,5$  giữa nút 3 và nút r, hở nhánh  $j0,15$  giữa nút 2 và nút 3



Hình BT5.6

$$\text{ĐS: } \bar{Z}_{\text{bus}} = \begin{bmatrix} j1,2 & j1,2 & j1,2 \\ j1,2 & j1,4 & j1,2 \\ j1,2 & j1,2 & j1,5 \end{bmatrix}$$

5.7. Một tổng trớ mới  $j1,5$  nối thêm giữa nút  $r$  và nút 3 trong H.BT5.6. Tìm  $\bar{Z}_{\text{bus(mới)}}$ .

$$\text{ĐS: } \bar{Z}_{\text{bus(mới)}} = \begin{bmatrix} j0,72 & j0,72 & j0,60 \\ j0,72 & j0,92 & j0,60 \\ j0,60 & j0,60 & j0,75 \end{bmatrix}$$

5.8. Một tổng trớ mới  $j0,15$  nối thêm giữa nút 2 và nút 3 trong H.BT5.6. Tìm  $\bar{Z}_{\text{bus(mới)}}$ .

$$\text{ĐS: } \bar{Z}_{\text{bus(mới)}} = \begin{bmatrix} j0,6968 & j0,6581 & j0,6290 \\ j0,6581 & j0,7548 & j0,6774 \\ j0,6290 & j0,6774 & j0,7137 \end{bmatrix}$$

5.9. Trong ví dụ 5.7, tìm công suất  $P$  và  $Q$  của máy phát cân bằng. Dòng điện trên đường dây giữa nút 1 và 3.

$$\text{ĐS: } \dot{S} = 0,512 + j0,23; \quad \dot{I} = 0,512 - j0,23$$

5.10. Trong ví dụ 5.7, hoán đổi dữ liệu của hai máy phát và giải lại bài toán.

$$\text{ĐS: Lần lặp thứ nhất } U_2^{(1)} = 1,0673 \angle -1,39^\circ; \quad U_1^{(1)} = 1,1 \angle -0,96^\circ$$

5.11. Trong ví dụ 5.7, dời tụ điện từ nút 3 đến nút 1 và giải lại bài toán, dùng phương pháp Gauss-Zeidel và ma trận tổng dẫn thanh cái.

$$\text{ĐS: Lần lặp thứ nhất } U_2^{(1)} = 0,968 - j0,026; \quad U_3^{(1)} = 1,1123 + j0,0492$$

5.12. Trong ví dụ 5.7, dùng ma trận tổng trớ thanh cái với thanh cái máy phát cân bằng làm chuẩn để tính phân bố công suất.

$$\text{ĐS: Lần lặp thứ nhất } U_2^{(1)} = 0,968 - j0,026; \quad U_3^{(1)} = 1,0707 + j0,0596$$

5.13. Cho hệ thống hai thanh cái, tổng trớ đường dây ngắn  $\bar{z}_l = 0,006 + j0,05$ .



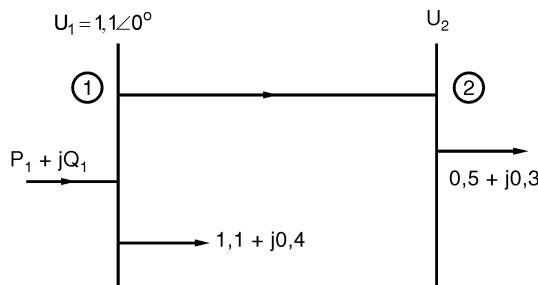
Cho  $U_1 = 1 \angle 0^\circ$ , phụ tải  $P_2 + jQ_2 = 1,0 + j0,6$  (tất cả trong đvtđ). Xác định  $U_2$  và  $P_1 + jQ_1$ .

ĐS:	Lần lặp	$\dot{U}_2$
	0	$1+j0$
	1	$0,964 - j0,0463$
	2	$0,9605 - j0,0462$
	3	$0,9603 - j0,0464$
	4	$0,9603 - j0,0464$
$P_1 + jQ_1$		$1,0037 + j0,673$

- 5.14.** Đối với hệ thống của bài tập 5.13, nếu muốn giữ  $|U_1| = |U_2| = 1,0$  bằng cách bù công suất kháng tại nút 2. Hãy tính công suất kháng cần bù.

ĐS:  $Q_{\text{bù}} = 4,02 \text{ đvtđ}$

- 5.15.** Cho hệ thống trong H.BT5.15 có hai thanh cái với số liệu  $Y_{\text{BUS}}$ :  $\bar{Y}_{11} = \bar{Y}_{22} = 1,6 \angle -80^\circ \text{ đvtđ}$  và  $\bar{Y}_{21} = \bar{Y}_{12} = 1,9 \angle 100^\circ \text{ đvtđ}$ . Thanh cái là 1 thanh cái máy phát. Hãy xác định điện áp ở thanh cái 2 bằng phương pháp Gauss-Seidel.



**Hình BT5.15**

ĐS: sau hai lần lặp:  $U_2 = 1,047 \angle -8,6^\circ \text{ đvtđ}$ .

- 5.16.** Tính công suất nút cân bằng trong bài tập 5.15.

ĐS:  $S_1 = P_1 + jQ_1 = 1,4209 + j 0,6816$

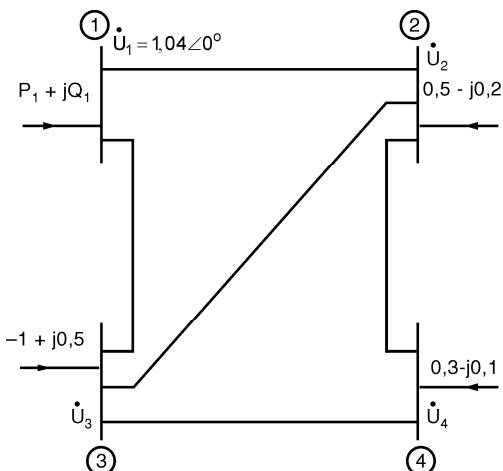
- 5.17.** Cho một mạng điện có hai nút nối bởi đường dây truyền tải có tổng trớ  $(0,03 + j0,12) \text{ đvtđ}$ . Điện áp thanh cái đầu phát là  $1 \angle 0^\circ$ , phụ tải đầu nhận là  $(1 + j0,4) \text{ đvtđ}$ . Xác định điện áp đầu nhận và tính công suất đầu phát.

ĐS:

Lần lặp	$U_2, \text{ đvtđ}$
0	$1 + j0$
1	$0,922 - j0,108$
2	$0,903 - j0,106$
3	$0,9 - j0,108$
4	$0,9 - j0,108$

Công suất đầu phát sau bốn lần lặp  $P_1 + jQ_1 = 1,043 + j0,569 \text{ đvtđ}$

- 5.18.** Đối với mạng điện sơ đồ H.BT5.18.



**Hình BT5.18**

Ma trận tổng dãy thanh cáp  $\bar{Y}_{bus}$  cho bởi:

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} 3-j9 & -2+j6 & -1+j3 & 0 \\ -2+j6 & 3,666-j11 & -0,666+j2 & -1+j3 \\ -1+j3 & -0,666+j2 & 3,666-j11 & -2+j6 \\ 0 & -1+j3 & -2+j6 & 3-j9 \end{bmatrix}$$

Với công suất phức tải các nút 2, 3 và 4 cho trong hình vẽ tính theo chiều đi vào nút, xác định điện áp  $\dot{U}_2$  của nút 2 trong lần lặp thứ nhất bằng phương pháp Gauss-Seidel.

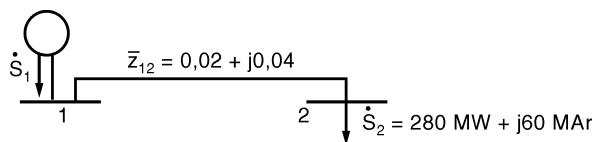
$$\text{ĐS: } \dot{U}_2^{(1)} = 1,02 \angle 2,58^0 \text{ đvtđ}$$

**5.19.** Xác định điện áp  $\dot{U}_2$  của bài tập 5.18 trong lần lặp thứ hai.

$$\text{ĐS: } \dot{U}_2^{(2)} = 1,0616 \angle 0,97^0 \text{ đvtđ}$$

**5.20.** Một hệ thống điện trong H.BT5.20, nút 1 là nút cân bằng với  $U_1 = 1,0 \angle 0^0$  đvtđ và nút 2 là nút phụ tải với  $\dot{S}_2 = 280 \text{ MW} + j60 \text{ MVar}$ . Tổng trở đường dây trên cơ bản 100 MVA là  $\bar{z}_{12} = 0,02 + j0,04$  đvtđ.

- a) Dùng phương pháp Gauss-Seidel, xác định  $\dot{U}_2$ . Dùng giá trị gần đúng ban đầu  $\dot{U}_2^{(0)} = 1,0 + j0,0$  đvtđ và tiến hành sau bốn lần lặp.
- b) Nếu sau một số lần lặp điện áp nút 2 hội tụ đến trị số  $\dot{U}_2 = 0,90 - j0,10$ , hãy xác định  $\dot{S}_1$  và tổn thất công suất trên đường dây.

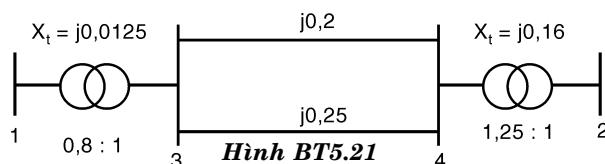


**Hình BT5.20**

ĐS:

- a)  $\dot{U}_2^{(1)} = 0,92 - j0,10$        $\dot{U}_2^{(2)} = 0,9024 - j0,0981$   
 $\dot{U}_2^{(3)} = 0,9005 - j0,10$        $\dot{U}_2^{(4)} = 0,9001 - j0,10$
- b)  $\dot{S}_{12} = 300 \text{ MW} + j100 \text{ MVar}$        $\dot{S}_{21} = -280 \text{ MW} - j60 \text{ MVar}$   
 $\Delta \dot{S} = 20 \text{ MW} + j40 \text{ MVar}$ .

**5.21.** Sơ đồ một sợi của một mạng điện có bốn nút trong H.BT5.21. Điện kháng cho trong đơn vị tương đối trên cùng một công suất cơ bản. Máy biến áp  $T_1$  và  $T_2$  có đầu phân áp được chỉnh định theo tỷ số lần lượt là 0,8:1 và 1,25:1. Hãy xác định ma trận tổng dãy thanh cáp.



**Hình BT5.21**

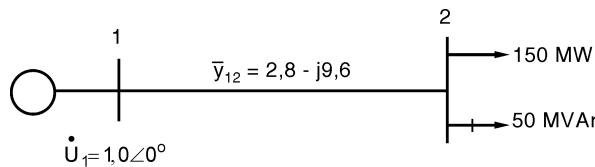
$$\text{ĐS: } \bar{Y}_{\text{bus}} = \begin{bmatrix} -j125 & 0 & j100 & 0 \\ 0 & -j6,25 & 0 & j5 \\ j100 & 0 & -j89 & j9 \\ 0 & j5 & j9 & -j13 \end{bmatrix}$$

**5.22.** Trong hệ thống có hai nút H.BT5.22, nút 1 là nút cân bằng với  $\dot{U}_1 = 1,0 \angle 0^\circ$  đvtđ. Phụ tải 150 MW và 50 MVAr lấy ra từ nút 2. Tổng dẫn của đường dây  $\bar{y}_{12} = 10 \angle -73,74^\circ$  đvtđ trên cơ bản 100 MVA. Biểu thức công suất nút tại nút 2 cho bởi :

$$P_2 = 10 |\dot{U}_2| |\dot{U}_1| \cos(106,26^\circ - \delta_2 + \delta_1) + 10 |\dot{U}_2|^2 \cos(-73,74^\circ)$$

$$Q_2 = -10 |\dot{U}_2| |\dot{U}_1| \sin(106,26^\circ - \delta_2 + \delta_1) - 10 |\dot{U}_2|^2 \sin(-73,74^\circ)$$

Dùng phương pháp Newton–Raphson, tìm điện áp nút 2. Bắt đầu với trị số giả thiết  $|\dot{U}_2|^{(0)} = 1,0$  đvtđ và  $\delta_2^{(0)} = 0^\circ$ . Thực hiện với hai lần lặp.



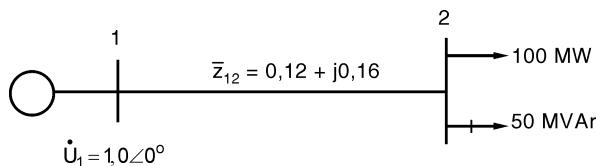
**Hình BT5.22**

$$\text{ĐS: } |\dot{U}_2|^{(1)} = 0,9100 \quad \delta_2^{(1)} = -0,13 \text{ rad}$$

$$|\dot{U}_2|^{(2)} = 0,8886 \quad \delta_2^{(2)} = -0,1464 \text{ rad}$$

**5.23.** Trong hệ thống có hai nút H.BT5.23, nút 1 là nút cân bằng với  $\dot{U}_1 = 1,0 \angle 0^\circ$  đvtđ. Phụ tải 100 MW và 50 MVAr lấy ra từ nút 2. Tổng trở của đường dây  $z_{12} = 0,12 + j0,16$  đvtđ trên cơ bản 100 MVA.

Dùng phương pháp Newton–Raphson, tìm điện áp nút 2. Bắt đầu với trị số giả thiết  $|\dot{U}_2|^{(0)} = 1,0$  đvtđ và  $\delta_2^{(0)} = 0^\circ$ . Thực hiện với hai lần lặp.



**Hình BT5.23**

$$\text{ĐS: } |\dot{U}_2|^{(1)} = 0,8000 \quad \delta_2^{(1)} = -0,10 \text{ rad}$$

$$|\dot{U}_2|^{(2)} = 0,7227 \quad \delta_2^{(2)} = -0,1350 \text{ rad}$$

# Chương 6

## ÁP DỤNG MATLAB VÀO HỘP CÔNG CỤ HỆ THỐNG ĐIỆN (POWER SYSTEM TOOLBOX)

### 6.1 GIỚI THIỆU

Hộp công cụ hệ thống điện bao gồm các file.m được thực hiện bởi tác giả Hadi Saadat trong quyển *Giải tích hệ thống điện* (Nhà xuất bản Mac GrawHill, năm 1999). Các chương trình nhằm trợ giúp cho các tính toán tiêu biểu hệ thống điện, một số các chương trình như phân bố công suất, tối ưu hóa, tính toán ngắn mạch và ổn định trong hệ thống điện. Phần mềm hộp công cụ hệ thống điện được viết bằng ngôn ngữ Matlab và được chép vào một thư mục. Sau khi cài đặt, các chương trình được lưu trữ trong thư mục đặt tên *Matlab\toolbox\power* chẳng hạn.

Trong MATLAB 5.3, từ cửa sổ lệnh (*Command Window*) mở đường dẫn (*Path Browser*) bằng cách chọn *Set Path* từ *Menu File*. Từ *Menu Path* chọn *Add to Path*. Chọn đường dẫn cần thêm vào cùng với thư mục hiện hành của MATLAB, nhấn *Save* trước khi thoát khỏi *Path Browser*.

Các tập tin được liệt kê theo danh sách sau:

#### Danh sách các hàm, tập tin trong hộp công cụ hệ thống

##### *Thông số đường dây truyền tải*

[ GMD, GMRL, GMRC ] = gmd	GMD và GMRL của đường dây đa mạch
[ L, C ]=gmd2lc	L và C, GMD và GMRL của đường dây đa mạch
acsr	Hiển thị các đặc tính của dây ACSR
lineperf	Vận hành đường dây tải điện
[ r, L, C,f ]=	chương trình vận hành đường dây
abcd2rlc (ABCD)	chuyển đổi từ ABCD sang rLC
[ Z, Y, ABCD ]=	
abcd2pi (A, B, C)	chuyển đổi từ ABCD sang $\pi$
[ Z,Y,ABCD ]=	
pi2abcd (Z, Y)	chuyển đổi từ $\pi$ sang ABCD
rlc2abcd(r, L, c, g, f, Ln)	chuyển đổi rLC sang ABCD
[ Z, Y, ABCD ]=	
zy2abcd (z, y, Ln)	chuyển đổi zy sang ABCD
listmenu	Hiển thị tám tùy chọn dùng cho giải tích
givensr(ABCD)	các giá trị đầu phát từ công suất đầu nhận

givensr(ABCD)	các giá trị đầu nhận từ công suất đầu phát
givenzl(ABCD)	các giá trị đầu phát từ tổng trở phụ tải
loadabil(L, C, f)	đường cong khả năng mang tải của đường dây
openline (ABCD)	giải tích đường dây không tải (hở mạch) và bù cuộn kháng
shcktlin (ABCD)	Ngắn mạch ở đầu nhận
compmenu	Hiển thị ba tùy chọn để bù dung kháng
sercomp(ABCD)	Bù dọc bằng tụ điện
shntcomp (ABCD)	Bù ngang bằng tụ điện
srshcomp(ABCD)	Bù ngang và bù dọc
profmenu	Hiển thị hai tùy chọn về khả năng mang tải và trắc đỗ điện áp ( <i>loadabil</i> và <i>vprofile</i> )
pwrcirc (ABCD)	Đồ thị vòng tròn công suất đầu nhận
vprofile	Đồ thị điện áp đối với các chế độ tải khác nhau

**Điều độ tối ưu các nguồn phát**

bloss	Tính các hệ số tổn thất sau chương trình phân bố công suất
dispatch	Tính vận hành tối ưu các nguồn phát
gencost	Tính chi phí tổng các nguồn phát \$/giờ

**Tính toán phân bố công suất**

ybus	cho các trị số R, X, tính $Y_{BUS}$
lfybus	cho mô hình π từ tập tin <i>linedata</i> , tính ma trận $Y_{BUS}$
lfgauss	Lời giải phân bố công suất bằng phương pháp Gauss–Seidel
lfnewton	Lời giải phân bố công suất bằng phương pháp Newton–Raphson
decouple	Lời giải phân bố công suất bằng phương pháp phân lập nhanh (fast decoupled)
busout	Kết quả điện áp nút dưới dạng bảng
lineflow	Kết quả dòng nhánh và tổn thất dưới dạng bảng

**Giải tích sự cố**

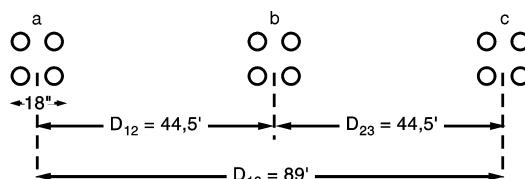
dlgfault (Z0, Zbus0, Z1, Zbus1, Z2, Zbus2,v)	Ngắn mạch hai pha chạm đất
lgfault (Z0, Zbus0, Z1,Zbus1, Z2, Zbus2,v)	Ngắn mạch một pha chạm đất
llfault (Z1, Zbus1, Z2, Zbus2,v)	Ngắn mạch hai pha
symfault (Z1, Zbus1, v)	Ngắn mạch đối xứng
Zbus =zbuild (linedata, gendata, load)	Thành lập ma trận tổng trở thanh cái tương thích với số liệu phân bố công suất

## 6.2 TÍNH TOÁN THÔNG SỐ ĐƯỜNG DÂY

Hàm [GMD,GMRL,GMRC] = gmd thực hiện việc tính toán GMD, GMRL và GMRC đối với đường dây lô đơn (một mạch), đường dây lô kép (hai mạch) bố trí thẳng đứng và nằm ngang với dây chùm tối đa bốn dây con. Một bảng tùy chọn (menu) cho phép chọn một trong ba loại đường dây nói trên, người sử dụng nhập vào khoảng cách pha, số dây dẫn trong dây chùm và khoảng cách giữa chúng, đường kính dây và GMR của mỗi dây dẫn.

Các đặc tính của dây nhôm lõi thép ACSR được tham khảo trong tập tin acsr.m. Lệnh **acsr** sẽ hiển thị các đặc tính của dây ACSR. Ngoài ra, hàm **[L, C] = gmd2lc** cùng với các khoảng cách trung bình hình học sẽ cho điện cảm mH / km và điện dung  $\mu\text{F} / \text{km}$ .

**Ví dụ 6.1:** Một đường dây ba pha 735 kV có hoán vị gồm bốn dây mỗi pha mã hiệu 954000 CMil 45 / 7 Rail bố trí nằm ngang như trong H.6.1. Khoảng cách giữa các dây chùm là 46 cm (= 18"). Dùng lệnh acsr trong MatLab để có kích thước dây dẫn và các đặc tính về điện đối với dây dẫn Rail. Tìm điện cảm và điện dung mỗi pha trên mỗi km chiều dài đường dây. Dùng chương trình CHP4EX4.



**Hình 6.1: Bố trí dây dẫn trong ví dụ 6.1**

### Giải

Lệnh **acsr** hiển thị tên mã dây và tiết diện theo Cmils đối với dây ACSR người sử dụng nhập vào tên mã dây bên trong dấu phẩy đơn.

Enter ACSR code name within single quotes → ‘rail’

Al Area	Strand	Diameter	GMR	Resistance	Ohm/km	Ampacity
Cmil	Al/st	cm	cm	60Hz 25°C	60Hz 50°	Ampe
954000	45/7	2.959	1.173	0.0624	0.0683	1000

Các lệnh tiếp theo:

[ GMD, GMRL, GMRC ]=gmd ;  
 $L=0.2 * \log(GMD/GMRL)$  % mH/Km  
 $C=0.0556 / \log(GMD / GMRC)$  % micro F/Km

Kết quả

Number of three phase circuits	Enter
Single circuit	1
Double circuit vertical configuration	2
Double circuit horizontal configuration	3
To quit	0

Select number of menu → 1

Enter spacing unit within quotes ‘m’ or ‘ft’ → ‘ft’

Enter row vector [  $D_{12}, D_{23}, D_{13}$  ] = [ 44.5 44.5 89 ]

Cond.size, bundle spacing unit: ‘cm’ or ‘in’ → ‘cm’

Conductor diameter in cm = 2.959

Geometric Mean Radius in cm = 1.173

No.of bundle cond.(enter 1 for single cond.) = 4

Bundle spacing in cm = 46

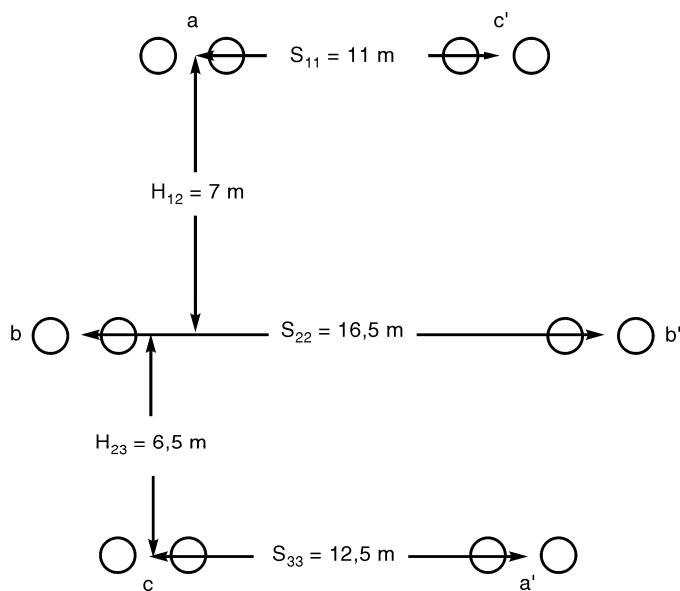
GMD = 56.06649 ft

GMRL = 0.65767 ft      GMRC = 0.69696 ft

L = 0.8891

C = 0.0127

**Ví dụ 6.2:** Một đường dây ba pha lô kép 345 kV có hoán vị, mỗi pha gồm hai dây ACSR 1431000 cmil, 45/7 Bobolink, bố trí thẳng đứng như trong H.6.2. Dây dẫn có đường kính 1,427 in và GMR bằng 0,564 in, khoảng cách giữa hai dây con là 18 in. Tim điện cảm và điện dung mỗi km của đường dây. Dùng chương trình CHP4EX5.



**Hình 6.2.** Bố trí dây dẫn ví dụ 6.2

### Giải

Các lệnh sau đây

[ GMD, GMRL, GMRC ]= gmd ;

L = 0.2\*log(GMD/GMRL)      % mH / km

C = 0.0556/log(GMD/GMRC)      % microF/km

Kết quả:

Number of three phase circuits

Enter

Single circuit

1

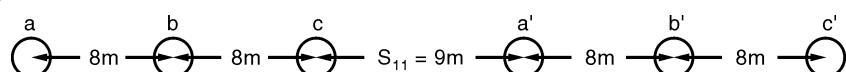
Double circuit vertical configuration	2
Double circuit horizontal configuration	3
To quit	0

Select number of menu → 2

## *Circuit arrangements*



**Ví dụ 6.3:** Một đường dây ba pha lô kép 345 kV có hoán vị, mỗi pha gồm một dây ACSR 556000 Cmil mã hiệu 26/7 Dove, bố trí nằm ngang trong H.6.3. Dây dẫn có đường kính 0,927 in và GMR bằng 0,3768 in. Tìm điện cảm và điện dung mỗi pha trên mỗi km chiều dài đường dây. Dùng chương trình CHP4EX6.



Hình 6.3: Bố trí dây dẫn ví dụ 6.3

Giải

Các lệnh sau đây:

[ GMD, GMRL, GMRC ]= gmd  
 L= 0,2\*log(GMD/GMRL) % mH / km  
 C= 0,0556\*log(GMD/GMRC) % microF/km

Kết quả:

### Number of three phase circuits

Enter

- |   |   |
|---|---|
| Single circuit                          | 1 |
| Double circuit vertical configuration   | 2 |
| Double circuit horizontal configuration | 3 |
| To quit                                 | 0 |

```

Select number of menu → 3
Circuit arrangements
abc – a'b'c'
abc – c'b'a'
Enter (1 or 2) → 1
Enter spacing unit within quotes ‘m’ or ‘ft’ → ‘m’
Enter row vector [ D12,D23,D13 ] = [ 8 8 16 ]
Enter distance between two circuits, S11=9
Cond.size, bundle spacing unit: ‘ cm ’ or ‘ in ’ → ‘ in ’
Conductor diameter in inch = 0.927
Geometric Mean Radius in inch = 0.3768
No.of bundle cond.(enter 1 for single conductor.) = 1
GMD = 14.9093 m
GMRL = 0.48915 m           GMRC = 0.54251 m
L = 0.6836
C = 0.0168

```

### 6.3 MÔ HÌNH ĐƯỜNG DÂY

Hai hàm MATLAB được viết để tính toán ma trận ABCD của đường dây truyền tải.

Hàm [ Z,Y,ABCD]=rlc2abcd (r, L, c, g, f, Length) được dùng khi có điện trở Ohm, điện cảm mH, điện dung  $\mu$ F trên mỗi đơn vị chiều dài.

Hàm [ Z,Y,ABCD]=zy2abcd (z,y, Length) được dùng khi có tổng trở Ohm và tổng dẫn rẽ Siemens trên mỗi đơn vị chiều dài.

**Ví dụ 6.4:** Một đường dây truyền tải ba pha 345 kV dài 130 km. Điện trở mỗi pha  $0,036\Omega/km$ , điện cảm mỗi pha  $0,8\text{ mH}/km$ , phụ tải đầu nhận là 270 MVA có  $\cos\phi = 0,8$  trẽ, điện áp 325 kV. Dùng mô hình đường dây có chiều dài trung bình tìm điện áp và công suất ở đầu phát và sụt áp đường dây. Dùng chương trình CHP5EX2.

#### Giải

Hàm [ Z,Y,ABCD]=zy2abcd (z,y,Length) được dùng để có được ma trận của đường dây. Các lệnh như sau:

```

R = .036 ; g = 0 ; f = 60 ;
L = 0.8 ;      %milli Henry
C = 0.0112 ; %micro Fara
Length = 130 ; VR3ph = 325 ;
VR = VR3ph / sqrt(3) + j * 0 % kV (receiving end phase voltage)
[ Z, Y, ABCD ] = rlc2abcd (r, L, C, g, f, Length) ;
AR = acos (0,8) ;
SR = 270 * (cos(AR) + j * sin(AR)) ;      %MVA (receiving end power)
IR = conj (SR) /(3*conj(VR)) ;            %kA (receiving end current)

```

```

VsIs = ABCD *[ VR ; IR ] ; % column vector [Vs;Is]
Vs = VsIs(1) ;
Vs3ph = sqrt(3)*abs(Vs) ; %kV(sending end L-L voltage)
Is = VsIs(2) ; Ism= 1000*abs(Is); %A (Sending end current)
pfs = cos(angle(Vs) - angle(Is)) ; % (Sending end power factor)
Ss = 3*Vs*conj(Is) ; % MVA (Sending end power)
REG = (Vs3ph/abs(ABCD(1,1)) - VR3ph)/VR3ph*100 ;
fprintf(' Is = %g A',Ism) ; fprintf(' pf = %g',pfs);
fprintf(' Vs = %g L-L kV ', Vs3ph);
fprintf(' Ps = %g MW ', real(Ss));
fprintf(' Qs = %g MVAr ', imag(Ss));
fprintf(' Percent voltage Reg.= %g',REG);

```

Kết quả là:

Enter 1 for Medium line or 2 for long line → 1

Nominal  $\pi$  model

$Z = 4.68 + j39.2071$  ohms

$Y = 0 + j0.000548899$  siemens

$$ABCD = \begin{bmatrix} 0.98924 + j0.0012844 & 4.68 + j39.207 \\ -3.5251e-07 + j0.00054595 & 0.98924 + j0.0012844 \end{bmatrix}$$

$Is = 421.132$  A     $pf = 0.869657$  ;

$Vs = 345.002$  L-L kV

$Ps = 218.851$  MW;     $Qs = 124.33$  MVAr ;

Percent voltage Reg.= 7.30913.

**Ví dụ 6.5:** Một đường dây truyền tải ba pha 345 kV dài 130 km. TỔNG trỞ nỐi tiẾP mỖi pha  $\bar{z} = 0,036 + j0,3 \Omega/km$  và tỔng dÃn rẼ mỖi pha  $\bar{y} = j4,22 \cdot 10^{-6}$  siemens/km. Điện áp đầu phát là 345 kV, dòng điện đầu phát 400A ở hệ số công suất 0,95 trẽ. Dùng mô hình đường dây có chiều dài trung bình để tính điện áp, dòng điện, công suất ở đầu nhận và sụt áp đường dây. Dùng chương trình CHP5EX3.

### Giải

Hàm  $[Z, Y, ABCD] = zy2abcd(z, y, Length)$  được dùng để có được ma trận ABCD của đường dây. Các lệnh như sau:

```

z = 0.036 + j0.3 ; y = j*4.22/1000000 ; Length = 130 ;
Vs3ph = 345 ; Ism = 0.4 ; %kA
As = -acos(0.95) ;
Vs = Vs3ph / Sqrt(3) + j* 0 ; % kV (sending end phase voltage)
Is = Ism*(cos(As) + j*sin(As)) ;
[Z, Y, ABCD] = zy2abcd(, y, Length) ;
VrIr = Inv(ABCD)*[ Vs, Is ] ; % column vector [ Vr, Ir ]
Vr = VrIr(1);
Vr3ph = sqrt(3)*abs(Vr) ; %kV (receiving end L-L voltage)
Ir = VrIr(2); Irm = 1000*abs(Ir);
pfr = cos(angle(Vr) - angle(Ir)); % (receiving power factor);

```

```

Sr = 3*Vr*conj(Ir) ; % MVA (receiving end power);
REG = (Vs3ph/abs(ABCD(1,1)) - Vr3ph)/Vr3ph*100 ;
fprintf(' Ir = %g A',Irm) ; fprintf(' pf = %g',pfr);
fprintf(' Vr = %g L-L kV ', Vr3ph);
fprintf(' Pr = %g MW ', real(Sr));
fprintf(' Qr = %g MVAr ', imag(Sr));
fprintf(' Percent voltage Reg.= %g',REG);

```

Kết quả là:

Enter 1 for Medium line or 2 for long line → 1

Nominal  $\pi$  model

$$Z = 4.68 + j39 \text{ ohms}$$

$$Y = 0 + j0.0005486 \text{ siemens}$$

$$\text{ABCD} = \begin{bmatrix} 0.9893 + j0.0012837 & 4.68 + j39 \\ -3.5213e-07 + j0.00054565 & 0.9893 + j0.0012837 \end{bmatrix}$$

$$Ir = 441.832 \text{ A} \quad pf = 0.88750$$

$$Vr = 330.68 \text{ L-L kV}$$

$$Pr = 224.592 \text{ MW} \quad Qr = 116.612 \text{ MVAr}$$

$$\text{Percent voltage Reg.} = 5.45863$$

Các hàm **[Z, Y, ABCD] = rlc2abcd(r, L, C, g, f, Length)** và **[ Z, Y, ABCD] = zy2abcd(z, y, Length)** với tùy chọn 2 dùng để tính ma trận ABCD của đường dây và các thông số của mạch  $\pi$  tương đương. Tuy vậy, ví dụ 6.6 cho thấy các hàm hyperbol có thể được tính dễ dàng bằng các lệnh của MatLab.

### Ví dụ 6.6

Một đường dây truyền tải ba pha dài 250 km, 500 kV. Tổng trở nối tiếp mỗi pha đường dây là  $\bar{z} = 0.045 + j0.4 \Omega/\text{km}$  và tổng dẫn rẽ  $\bar{y} = j4.10^{-6} \text{ siemen/km}$ . Hãy tính mô hình  $\pi$  tương đương và ma trận ABCD của đường dây. Dùng chương trình CHP5EX4.

Các lệnh như sau:

$$z = 0.045 + j*4 ; y = j*4.0/1000000 ; length = 250 ;$$

$$\text{gamma} = \sqrt{z*y} ; Z_C = \sqrt{z/y} ;$$

$$A = \cosh(\text{gamma}*length) ; D = A ;$$

$$C = 1/Z_C = \sinh(\text{gamma}*length) ;$$

$$\text{ABCD} = [A \ B ; C \ D]$$

$$Z = B ; Y = 2/Z_C * \tanh(\text{gamma}*length/2)$$

Kết quả là:

$$\text{ABCD} =$$

$$\begin{matrix} 0.9504 + 0.0055i & 10.8778 + 98.3624i \\ -0.0000 + 0.0010i & 0.9504 + 0.0055i \end{matrix}$$

$$Z = 10.8778 + 98.3624i$$

$$Y = 0.0000 + 0.0010i$$

## 6.4 TÓM TẮT CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

Gọi  $z$  là tổng trở nối tiếp mỗi pha trên mỗi km chiều dài đường dây và  $y$  là tổng dẫn rẽ (dung dẫn) mỗi pha trên mỗi km chiều dài đường dây.

- Hằng số truyền  $m = \sqrt{z/y} = u + j v$  (6.1)

- Tổng trở đặc tính  $\bar{Z}_c = \sqrt{\frac{z}{y}}$  (6.2)

- Điện áp  $\dot{U}(x)$  và dòng điện  $\dot{I}(x)$  tại điểm cách đầu nhận dây khoảng cách  $x$ .

$$\dot{U}(x) = chmx \cdot \dot{U}_N + \bar{Z}_c shmx \cdot \dot{I}_N \quad (6.3)$$

$$\dot{I}(x) = \frac{1}{\bar{Z}_c} shmx \cdot \dot{U}_N + chmx \cdot \dot{I}_N \quad (6.4)$$

- Suy ra điện áp và dòng điện ở đầu phát ứng với  $x = 1$

$$\dot{U}_P = chm l \cdot \dot{U}_N + \bar{Z}_c shml \cdot \dot{I}_N \quad (6.5)$$

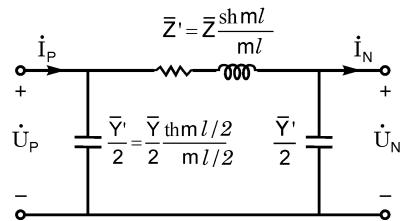
$$\dot{I}_P = \frac{1}{\bar{Z}_c} shml \cdot \dot{U}_N + chml \cdot \dot{I}_N \quad (6.6)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_P \\ \dot{I}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_N \\ \dot{I}_N \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

với:  $\bar{A} = chml$        $\bar{B} = \bar{Z}_c shml$

$$\bar{C} = \frac{1}{\bar{Z}_c} shml \quad \bar{D} = chml = \bar{A}$$

- Mạch  $\pi$  tương đương:



Hình 6.4: Mạch  $\pi$ -tương đương của đường dây dài

$$\bar{Z}' = \bar{Z}_c shml = \bar{Z} \frac{shml}{ml} \quad (6.9)$$

$$\frac{\bar{Y}'}{2} = \frac{1}{\bar{Z}_c} thml \frac{1}{2} = \frac{\bar{Y}}{2} \cdot \frac{thml}{ml/2} \quad (6.10)$$

- Độ dài sóng:

$$\lambda = \frac{2\pi}{v} \quad (6.11)$$

- Tích số  $vl = \frac{2\pi}{\lambda} l$  radian là độ dài về điện của đường dây, đường dây có chiều dài bằng

độ dài sóng  $\lambda$  ứng với độ dài về điện là  $2\pi$  radian.

- Với đường dây không tổn hao, khi đó  $g = 0$ ,  $r = 0$ , phần thực của hằng số truyền sóng  $u = 0$  và phần ảo hay là hằng số pha  $v$  bằng:

$$v = \omega \cdot \sqrt{LC} \quad (6.12)$$

với L: điện cảm 1 km chiều dài (H)

C: điện dung 1 km chiều dài (F)

Tổng trở đặc tính trở nên thuần trở còn gọi là tổng trở xung

$$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6.13)$$

Khi đó vận tốc truyền sóng:

$$V = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (6.14)$$

Độ dài sóng:

$$\lambda = \frac{1}{f\sqrt{LC}} \quad (6.15)$$

Giả thiết  $GMR_L = GMR_C$

$$v \approx \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad \lambda \approx \frac{f}{f\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

trong đó  $\lambda$  hằng số từ thẩm của không khí  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  hằng số điện thẩm của không khí  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ , vận tốc truyền sóng gần bằng vận tốc ánh sáng  $3 \cdot 10^8$  m/s. Ở tần số 50 Hz độ dài sóng  $\lambda$  bằng 6000 km.

- Đối với đường dây không tổn hao, hằng số truyền  $m = jv$  và các hàm hyperbolic  $chmx = chjvx = cosvx$  và  $shmx = shjvx = jsinvx$ . Khi đó phương trình (6.3) và (6.4) trở thành:

$$\begin{aligned} \bar{U}(x) &= cosvx \cdot \bar{U}_N + j\bar{Z}_C sinvx \cdot \bar{I}_N \\ \bar{I}(x) &= j \frac{1}{\bar{Z}_C} sinvx \cdot \bar{U}_N + cosvx \cdot \bar{I}_N \end{aligned}$$

Ở đầu phát của đường dây:

$$\begin{aligned} \bar{U}_P &= cosl \cdot \bar{U}_N + j\bar{Z}_C sinvl \cdot \bar{I}_N \\ \bar{I}_P &= j \frac{1}{\bar{Z}_C} sinvl \cdot \bar{U}_N + cosvl \cdot \bar{I}_N \end{aligned}$$

$\bar{Z}_C$  là số thực ( $\bar{Z}_C = Z_C$ ).

- Phụ tải tổng trở xung còn gọi là công suất tự nhiên (SIL) khi đường dây được tận cùng bằng tổng trở đặc tính, dòng điện đầu nhận:

$$\bar{I}_N = \frac{\bar{U}_N}{\bar{Z}_C} \quad (6.17)$$

với  $U_N$  là điện áp pha đầu nhận.

Đối với đường dây không tổn hao  $Z_C$  trở nên thuần trở. Phụ tải ứng với tổng trở xung ở điện áp định mức gọi là phụ tải tổng trở xung (SIL) hay công suất tự nhiên cho bởi:

$$SIL = 3 \cdot \bar{U}_N \cdot I_N^* = \frac{3 \cdot |U_N|^2}{Z_C} \quad (6.18)$$

Vì  $U_N = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}}$  (kV), SIL tính ra MW cho bởi:

$$SIL = \frac{U_{dm}^2}{Z_C} \text{ MW} \quad (6.19)$$

Khi đó, điện áp và dòng điện tại điểm trên đường dây cách đầu nhện khoảng cách  $x$  khi tải đầu nhện là SIL:

$$\boxed{\bar{U}(x) = (\cos vx + j \sin vx) \bar{U}_N = \bar{U}_N \angle vx} \quad (6.20)$$

$$\boxed{\bar{I}(x) = (\cos vx + j \sin vx) I_N = \bar{I}_N \angle vx} \quad (6.21)$$

Các phương trình trên chứng tỏ trên đường dây không tổn hao với phụ tải tổng trễ xung, điện áp và dòng điện tại bất cứ điểm nào trên đường dây có trị số không đổi và bằng các trị số ở đầu phát. Vì  $Z_C$  không có thành phần trễ kháng, công suất kháng ở hai đầu đường dây bằng không  $Q_P = Q_N = 0$ . Điều này chứng tỏ rằng đối với SIL, tổn thất công suất kháng do cảm kháng được bù hoàn toàn bởi công suất phát ra bởi điện dung đường dây nghĩa là  $\omega L |I_N|^2 = \omega C |U_N|^2$ . SIL đối với đường dây truyền tải thay đổi từ 150 MW đối với đường dây 230 kV, khoảng 2000 MW đối với đường dây 765 kV. Đối với phụ tải lớn hơn SIL, tụ bù ngang được dùng để giảm thiểu sụt áp đường dây, ngược lại đối với phụ tải nhỏ hơn SIL, bù ngang bằng cuộn kháng điện. Thường phụ tải của đường dây tải điện lớn hơn SIL.

### Ví dụ 6.7

Một đường dây tải điện ba pha, 60Hz, 500 kV dài 300 km. Điện cảm mỗi pha 0,97 mH/km, điện dung mỗi pha 0,0115  $\mu\text{F}/\text{km}$ , giả thiết đường dây không tổn hao.

(a) Xác định hằng số pha  $v$  của đường dây, tổng trễ xung  $Z_C$ , vận tốc truyền sóng và độ dài sóng của đường dây.

(b) Phụ tải đầu nhện 800 MW, hệ số công suất 0,8 trễ ở 500 kV. Xác định các đại lượng đầu phát và độ sụt áp.

Dùng chương trình CHP5EX5.

### Giải

(a) Đối với đường dây không tổn hao:

$$v = \omega \sqrt{LC} = 2\pi \cdot 60 \sqrt{0,97 \times 0,0115 \times 10^{-9}} = 0,001259 \text{ rad/km}$$

Tổng trễ xung:

$$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,97 \times 10^{-3}}{0,0115 \times 10^{-6}}} = 290,43 \Omega$$

Vận tốc truyền sóng:

$$V = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,97 \times 0,0115 \times 10^{-9}}} = 2,994 \cdot 10^5 \text{ km/s}$$

$$\text{Độ dài sóng: } \lambda = \frac{V}{f} = \frac{1}{60} \times 2,994 \times 10^5 = 4990 \text{ km}$$

$$(b) v l = 0,001259 \times 300 = 0,3777 \text{ rad} = 21,641^\circ$$

Điện áp pha đầu nhện:

$$\boxed{\bar{U}_N = \frac{500 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} = 288,675 \angle 0^\circ \text{ kV}}$$

Công suất đầu nhện:

$$\boxed{S_N} = \frac{800}{0.8} \angle \arccos 0,8 = 1000 \angle 36,87^\circ = 800 + j600 \text{ MVA}$$

Dòng điện đầu nhận:

$$\boxed{I_N} = \frac{\boxed{S_N^*}}{3U_N^*} = \frac{1000 \angle -36,87^\circ \times 10^3}{3 \times 288,675 \angle 0^\circ} = 1154,7 \angle -36,87^\circ \text{ A}$$

Điện áp pha đầu phát:

$$\begin{aligned} \boxed{U_P} &= \cos v.l. \boxed{U_N} + j Z_C \sin v.l. \boxed{I_N} \\ &= 0,9295 \times 288,675 \angle 0^\circ + j 290,43 \times 0,3688 \times 1154,7 \angle -36,87^\circ \times 10^{-3} \\ &= 356,53 \angle 16,1^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

Điện áp dây đầu phát:

$$U_{pdây} = \sqrt{3} \cdot 356,53 = 617,53 \text{ kV}$$

Dòng điện đầu phát:

$$\begin{aligned} \boxed{I_P} &= j \frac{1}{Z_C} \sin v.l. \boxed{U_N} + \cos v.l. \boxed{I_N} \\ &= j \frac{1}{290,43} (0,3688)(288,675 \angle 0^\circ)(10^3) + (0,9295)(1154,7 \angle -36,87) \\ &= 902,3 \angle -17,9^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Công suất đầu phát:

$$\begin{aligned} \boxed{S_P} (\text{3pha}) &= 3 \boxed{U_P} \boxed{I_P^*} = 3 \times 356,53 \angle 16,1^\circ \times 902,3 \angle -17,9^\circ \times 10^{-3} \\ &= 300 + j539,672 \text{ MVA} \\ &= 965,1 \angle 34^\circ \text{ MVA} \end{aligned}$$

Sụt áp đường dây:

$$\Delta U\% = \frac{356,53 / 0,9295 - 288,675}{288,675} \cdot 100\% = 32,87\%$$

Vận hành đường dây truyền tải nói trên có kể đến điện trở đường dây được xét trong ví dụ 6.11 dùng chương trình **lineperf**. Khi đường dây vận hành với phụ tải định mức, lời giải chính xác là  $U_{pdây} = 623,5 \angle 15,57^\circ \text{ kV}$  và  $I_P = 903,1 \angle -17,7^\circ \text{ A}$ . Điều này cho thấy với giả thiết đường dây không tổn hao, lời giải có thể chấp nhận được và thích hợp đối với tính tay.

- Phương trình công suất trên đường dây truyền tải:

$$\text{Đặt } \bar{A} = |\bar{A}| \angle \alpha, \bar{B} = |\bar{B}| \angle \beta, \boxed{U_P} = |\boxed{U_P}| \angle \delta, \boxed{U_N} = |\boxed{U_N}| \angle 0^\circ$$

Công suất tác dụng và phản kháng ở đầu nhận:

$$P_N (\text{3 pha}) = \frac{|\boxed{U_P}| |\boxed{U_N}|}{|\bar{B}|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}| |\boxed{U_N}|^2}{|\bar{B}|} \cos(\beta - \alpha) \quad (6.22)$$

$$Q_N (\text{3 pha}) = \frac{|\boxed{U_P}| |\boxed{U_N}|}{|\bar{B}|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|\bar{A}| |\boxed{U_N}|^2}{|\bar{B}|} \sin(\beta - \alpha) \quad (6.23)$$

trong đó  $|\boxed{U_P}|, |\boxed{U_N}|$  là điện áp dây.

Công suất tác dụng và phản kháng đầu phát:

$$P_P (\text{ba pha}) = \frac{|\bar{A}||\bar{U}_P|^2}{|\bar{B}|} \cos(\beta - \alpha) - \frac{|\bar{U}_P||\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} \cos(\beta + \delta) \quad (6.24)$$

$$Q_P (\text{ba pha}) = \frac{|\bar{A}||\bar{U}_P|^2}{|\bar{B}|} \sin(\beta - \alpha) - \frac{|\bar{U}_P||\bar{U}_N|}{|\bar{B}|} \sin(\beta + \delta) \quad (6.25)$$

Tổn thất công suất tác dụng và phản kháng:

$$\Delta P = P_P - P_N$$

$$\Delta Q = Q_P - Q_N$$

- Đồ thị biểu diễn  $Q_N$  theo  $P_N$  đối với điện áp cố định ở đầu phát và đầu nhận và thay đổi góc lệch pha điện áp giữa hai đầu là đồ thị vòng tròn công suất đầu nhận. Một họ vòng tròn với đầu nhận cố định và thay đổi điện áp đầu phát được xây dựng có nhiều tiện ích trong việc khảo sát các đặc tính vận hành của đường dây. Hàm có tên **pwrcirc (ABCD)** dùng để xây dựng vòng tròn công suất đầu nhận.

- Đối với đường dây không tổn hao  $\bar{B} = jZ_C \sin v l = jX'$ ,  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 90^\circ$  và  $\bar{A} = \cos v l$ , công suất thực tải trên đường dây cho bởi:

$$P = \frac{|\bar{U}_P||\bar{U}_N|}{X'} \sin \delta \quad (6.26)$$

và công suất phản kháng đầu nhận:

$$Q_N = \frac{|\bar{U}_P||\bar{U}_N|}{X'} \cos \delta - \frac{|\bar{U}_N|^2}{X'} \cos v l \quad (6.27)$$

Công suất phản kháng đầu phát:

$$Q_P = \frac{|\bar{U}_P|^2}{X'} \cos v l - \frac{|\bar{U}_P||\bar{U}_N|}{X'} \cos \delta$$

- Đối với một đường dây vận hành ở điện áp hai đầu không đổi, công suất truyền tải tỷ lệ với  $\sin \delta$ . Khi phụ tải tăng, góc  $\delta$  tăng. Đối với đường dây không tổn hao, công suất cực đại có thể truyền tải trong điều kiện ổn định tĩnh xảy ra đối với góc  $\delta = 90^\circ$ . Tuy nhiên, một hệ thống truyền tải nối kết với máy phát đồng bộ phải chịu đựng các đột biến trong máy phát, phụ tải, sự cố ngắn mạch mà không bị mất ổn định. Để đảm bảo một ngưỡng an toàn cho ổn định, góc  $\delta$  vận hành thực tế thường được giới hạn từ  $35^\circ$  đến  $45^\circ$ .

### *Khả năng tải của đường dây truyền tải*

Khả năng tải công suất của đường dây được giới hạn bởi góc giới hạn phát nóng và giới hạn ổn định. Việc tăng nhiệt độ của dây dẫn do tổn thất công suất tác dụng làm dẫn dây dẫn, điều này làm tăng độ võng của dây treo giữa hai trụ. Giới hạn phát nóng được qui định bởi dòng điện cho phép (khả năng tải dòng điện) và được cho bởi nhà sản xuất. Nếu dòng điện cho phép được ký hiệu là  $I_{cp}$  thì giới hạn phụ tải phát nóng của đường dây là:

$$S_{\text{phát nồng}} = 3U_{dmpha}I_{\text{cho phép}} = \sqrt{3} U_{dm} \text{dây} \cdot I_{\text{cho phép}} \quad (6.28)$$

Biểu thức truyền tải công suất tác dụng trên đường dây không tổn hao cho bởi phương trình:

$$P = \frac{|\bar{U}_P||\bar{U}_N|}{X'} \sin \delta$$

Theo lý thuyết, công suất cực đại truyền tải khi  $\delta = 90^\circ$ . Trong thực tế vận hành, góc của riêng đường dây được giới hạn từ  $30^\circ$  đến  $45^\circ$ . Sở dĩ như vậy vì điện kháng của máy phát và máy biến áp khi cộng thêm vào điện kháng của đường dây làm tăng góc  $\delta$  đối với một phụ tải

cho trước. Đối với mục đích thiết kế và các mục đích khác, cần biểu diễn công thức truyền tải công suất theo SIL và xây dựng đường cong khả năng tải. Đối với đường dây không tổn hao  $X' = Z_C \sin v_l$  và phương trình (6.26) có thể được viết như sau:

$$P = \left( \frac{|\bar{U}_P|}{U_{dm}} \right) \left( \frac{|\bar{U}_N|}{U_{dm}} \right) \left( \frac{U_{dm}^2}{Z_C} \right) \left( \frac{\sin \delta}{\sin v_l} \right) \quad (6.29)$$

Hai thửa số đầu tiên là điện áp trong đơn vị tương đối được ký hiệu là  $U_{P,dvt}$  và  $U_{N,dvt}$ , thửa số thứ ba là SIL:

$$P = \frac{|\bar{U}_{P,dvt}| |\bar{U}_{N,dvt}| \cdot SIL}{\sin v_l} \cdot \sin \delta \quad (6.30)$$

$$P = \frac{|\bar{U}_{P,dvt}| |\bar{U}_{N,dvt}| \cdot SIL}{\sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \cdot \sin \delta \quad (6.31)$$

Hàm **loadabil** ( $L, C, f$ ) cho đường cong khả năng tải và đường cong giới hạn phát nóng của đường dây. Đường cong khả năng tải trong H.6.10. của ví dụ 6.11 chứng tỏ rằng, đối với đường dây ngắn và trung bình, giới hạn phát nóng nói lên công suất truyền tải lớn nhất. Trong khi đó đối với đường dây dài, giới hạn được định bởi đường cong khả năng tải thực tế. Như sẽ trình bày trong mục tiếp theo, đối với đường dây dài cần thiết phải dùng tụ bù dọc (tụ bù nối tiếp) để nâng cao công suất truyền tải trên đường dây.

### Ví dụ 6.8

Một công suất ba pha 700 MW được tải đến một trạm cách xa nguồn 315 km. Đối với thiết kế sơ bộ đường dây, giả thiết các thông số sau đây:

$$U_P = 1,0 \text{ đvtđ}, U_N = 0,9 \text{ đvtđ}, \lambda = 5000 \text{ km}, Z_C = 320 \Omega \text{ và } \delta = 36,87^\circ$$

(a) Dựa trên phương trình khả năng tải, xác định cấp điện áp định mức của đường dây truyền tải.

(b) Đối với cấp truyền tải tìm được trong a) tính công suất cực đại lý thuyết có thể truyền tải qua đường dây.

Dùng chương trình CHP5EX6.

### Giải

(a) Độ dài về điện của đường dây:

$$v_l = \frac{2\pi}{\lambda} l \text{ rad} = \frac{360}{\lambda} l = \frac{360}{5000} 315 = 22,68^\circ$$

Từ phương trình tải công suất (6.30):

$$700 = \frac{(1,0)(0,9)(SIL)}{\sin(22,68^\circ)}$$

suy ra:

$$SIL = 499,83 \text{ MW}$$

$$\text{Từ (6.19): } U_{dây} = \sqrt{Z_C(SIL)} = \sqrt{(320)(499,83)} = 400 \text{ kV}$$

(b) Cảm kháng tương đương của đường dây giả thiết không tổn hao

$$X' = Z_C \sin v_l = 320 \sin(22,68^\circ) = 123,39 \Omega.$$

Đối với đường dây không tổn hao, công suất cực đại có thể truyền tải trong điều kiện ổn định tĩnh xảy ra khi góc  $\delta = 90^\circ$ . Với giả thiết  $|U_P| = 1.0$  và  $|U_N| = 0.9$ , công suất cực đại cho bởi:

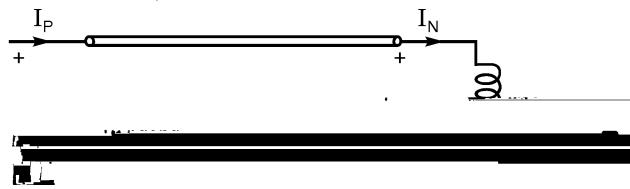
$$P_{\max} = \frac{400 \cdot 0.9}{123,39} \cdot 1 = 1167 \text{ MW.}$$

## 6.5 BÙ ĐƯỜNG DÂY

Như đã nói trên, một đường dây truyền tải mang tải bằng phụ tải tổng trở xung thì sẽ không có công suất kháng ở đầu phát và đầu nhận của đường dây và điện áp gần như bằng phẳng dọc theo chiều dài của nó. Trên đường dây truyền tải dài, phụ tải thấp hơn SIL gây quá áp ở đầu nhận, trong khi phụ tải lớn hơn SIL sẽ gây sụt áp ở đầu nhận. Cuộn kháng bù ngang được dùng để giảm quá áp khi phụ tải thấp hoặc lúc không tải. Nếu đường dây truyền tải nặng thì tụ bù ngang, máy bù tĩnh hay máy bù đồng bộ được dùng để cải thiện điện áp, tăng công suất truyền tải và nâng cao ổn định hệ thống.

### 6.5.1 Cuộn kháng bù ngang

Cuộn kháng bù ngang được dùng để bù tác dụng điện áp tăng cao không mong muốn do ảnh hưởng của điện dung đường dây. Mức độ bù kháng yêu cầu để duy trì điện áp đầu nhận ở một trị số qui định có thể tính được như sau:



Hình 6.5: Bù ngang bằng cuộn kháng

Xét một cuộn kháng có cảm kháng bù  $X_L$  mắc ở đầu nhận của đường dây dài đang không tải như trong H.6.5. Dòng điện đầu nhận:

$$\boxed{I_N} = \frac{\boxed{U_N}}{jX_{L,bù}} \quad (6.32)$$

Điện áp đầu phát:

$$\text{Từ phương trình: } \boxed{U_P} = \cos vl \cdot \boxed{U_N} + j Z_C \cdot \sin vl \cdot \boxed{I_N} \quad (6.33)$$

$$\text{Suy ra: } \boxed{U_P} = \boxed{U_N} \left( \cos vl + \frac{Z_C}{X_{L,bù}} \sin vl \right) \quad (6.34)$$

Để ý là  $\boxed{U_P}$  và  $\boxed{U_N}$  cùng pha do sự việc không có công suất tác dụng tải trên đường dây. Suy ra  $X_L$  bù:

$$X_{L,bù} = \frac{\sin vl}{\frac{\boxed{U_P}}{\boxed{U_N}} - \cos vl} Z_C \quad (6.35)$$

Đối với đường dây không tổn hao:

$$\boxed{I_P} = j \frac{1}{Z_C} \sin vl \cdot \boxed{U_N} + \cos vl \cdot \boxed{I_N} \quad (6.36)$$

Thay  $\boxed{U_N}$  từ phương trình (6.32) vào phương trình (6.36), với  $\boxed{U_N} = jX_{L,bù} \cdot \boxed{I_N}$

$$\boxed{I_P} = \left( -\frac{1}{Z_C} \sin vl \cdot X_{L,bù} + \cos vl \right) \cdot \boxed{I_N} \quad (6.37)$$

Thay  $X_{L,bù}$  từ (6.35) trong trường hợp  $U_P = U_N$  vào (6.37) kết quả là:

$$\boxed{I_P} = -\boxed{I_N} \quad (6.38)$$

$$\boxed{U_m} = \cos \frac{vl}{2} \boxed{U_N} + jZ_C \sin \frac{vl}{2} \cdot \boxed{I_N} = \boxed{U_N} \left( \cos \frac{vl}{2} + \frac{Z_C}{X_{L,bù}} \cdot \sin \frac{vl}{2} \right)$$

$$\text{Khi } U_P = U_N : \quad X_{L,bù} = \frac{\sin vl}{1 - \cos vl} \cdot Z_C = \frac{\cos vl/2}{\sin vl/2} \cdot Z_C$$

Với chỉ cuộn kháng ở đầu nhận, trắc đồ điện áp sẽ không đồng đều và điện áp cao nhất xảy ra ở khoảng giữa đường dây. Như một bài tập, khi  $U_P = U_N$  điện áp ở khoảng giữa đường dây cho bởi:

$$\boxed{U_m} = \frac{\boxed{U_N}}{\cos \frac{vl}{2}} \quad (6.39)$$

Mặt khác, dòng điện ở giữa đường dây bằng không. Hàm **openline (ABCD)** dùng để tìm điện áp đầu nhận của một đường dây không tải và xác định công suất kháng của cuộn kháng giữa điện áp không tải ở đầu nhận ở một trị số đã định:

$$\boxed{U_m} = \boxed{U_N} \left( \cos \frac{vl}{2} + \frac{Z_C}{\cos vl/2} \cdot \sin \frac{vl}{2} \right)$$

**Ví dụ 6.9:** Cho đường dây truyền tải trong ví dụ 6.7

- a) Tính điện áp đầu nhận khi đường dây không tải và điện áp đầu phát là 500 kV.
- b) Xác định cảm kháng và công suất kháng của cuộn kháng bù ngang đặt ở đầu nhận để giữ cho điện áp không tải ở đầu nhận bằng điện áp định mức:

$$\boxed{U_m} = \boxed{U_N} \left( \cos \frac{vl}{2} + \frac{\sin^2 \frac{vl}{2}}{\cos \frac{vl}{2}} \right) = \frac{\boxed{U_N}}{\cos \frac{vl}{2}} \quad (6.39)$$

Dùng chương trình CHP5EX7.

**Giải**

- a) Đường dây được cung cấp 500 kV ở đầu phát. Điện áp pha đầu phát:

$$\boxed{U_P} = \frac{500 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} = 285,675 \text{ kV}$$

Từ ví dụ 6.7:  $Z_c = 290,43 \Omega$  và  $vl = 21,641^\circ$

Khi đường dây vận hành hở,  $I_N = 0$  và từ phương trình (6.33), điện áp không tải ở đầu nhận cho bởi:

$$U_{N,không\ tải} = \frac{U_P}{\cos \varphi l} = \frac{288,675}{0,9295} = 310,57 \text{ kV}$$

Điện áp dây đầu nhận lúc không tải:

$$U_{N,dây,kt} = \sqrt{3} \cdot 310,57 = 537,9 \text{ kV}$$

b) Để cho  $U_P = U_N$ , điện kháng yêu cầu của cuộn kháng cho bởi phương trình (6.35)

$$X_{L,bù} = \frac{\sin(21,641^0)}{1 - \cos(21,641^0)} 293,43 = 1519,5 \Omega$$

c) Sau khi bù ngang để  $U_P = U_N = 500 \text{ kV}$  điện áp giữa đường dây:

$$U_P = \frac{U_N}{\cos \varphi l/2} = \frac{500}{\cos \frac{21,641}{2}} = 509 \text{ kV}$$

Công suất định mức ba pha của cuộn kháng:

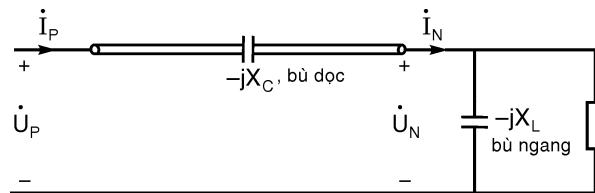
$$Q_{bù} = \frac{U_{dm}^2}{X_{L,bù}} = \frac{(500)^2}{1519,5} = 164,53 \text{ MVar}$$

### 6.5.2 Bù ngang bằng tụ điện

Tụ bù ngang được dùng khi tải nặng và hệ số công suất trễ. Tác dụng của tụ bù là cung cấp công suất phản kháng để giữ điện áp đầu nhận ở một giá trị thỏa mãn. Tụ điện hoặc được nối trực tiếp vào thanh cái hay vào cuộn dây thứ ba của máy biến áp. Cho  $U_P$  và  $U_N$ , phương trình (6.22) và (6.23) được dùng để tính công suất kháng yêu cầu của tụ điện ở đầu nhận đối với một phụ tải cho trước. Hàm **shntcomp(ABCD)** được dùng vào mục đích này.

### 6.5.3 Bù dọc bằng tụ điện

Tụ bù dọc mắc nối tiếp trên đường dây thường ở khoảng giữa đường dây dùng để giảm cảm kháng giữa tải và nguồn cung cấp. Điều này cải thiện được ổn định tĩnh và ổn định động của hệ thống, giảm sụt áp ở phụ tải. Tụ bù dọc có công suất kháng thay đổi tùy theo tải của đường dây. Khảo sát cho thấy rằng việc thêm tụ bù dọc trên đường dây tải điện siêu cao áp có thể nâng cao gấp đôi giới hạn ổn định của đường dây dài và chỉ tốn một phần chi phí so với chi phí xây dựng một đường dây mới.



**Hình 6.6:** Tụ bù dọc đường dây dài

Với tụ bù dọc trên đường dây H.6.6, công suất truyền tải của đường dây giả thiết không tổn hao cho bởi:

$$P = \frac{|U_P| |U_N|}{X' - X_{C_{bù\ dọc}}} \sin \delta$$

trong đó  $X_{Chù dọc}$  là dung kháng của tụ nối tiếp. Tỷ số  $\frac{X_{Chù dọc}}{X'} \cdot 100\%$  biểu diễn theo phần trăm gọi là phần trăm độ bù dọc. Độ bù dọc thay đổi từ 25 đến 70%.

Một trở ngại lớn đối với bù dọc là cần có thiết bị bảo vệ bộ tụ điện và nối tắt dòng điện lớn không cho qua tụ khi có ngắn mạch xảy ra. Ngoài ra, việc đưa vào tụ bù nối tiếp tạo ra mạch cộng hưởng có thể dao động ở tần số thấp hơn tần số dao động bình thường khi bị kích thích bởi các biến động. Hiện tượng này gọi là hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ (SSR). Nếu tần số đồng bộ trừ đi tần số dao động gần với tần số của một trong những tần số ngẫu lực xoắn tự nhiên của hệ thống tua bin máy phát thì sẽ gây ra hư hỏng trực của tuabin-máy phát. Nếu  $L'$  là điện cảm tập trung được hiệu chỉnh đối với tác dụng phân bố và  $C_{nối tiếp}$  là điện dung của tụ bù dọc thì tần số cộng hưởng dưới đồng bộ cho pha bởi:

$$f_r = f_s \sqrt{\frac{1}{L' \cdot C_{nối tiếp}}}$$

trong đó  $f_s$  là tần số đồng bộ. Hàm **sercomp(ABCD)** được dùng để khảo sát vận hành ở một độ bù dọc cho trước. Cuối cùng, khi đường dây được bù dọc lần bù ngang đối với điện áp hai đầu cho trước, hàm **srshcomp(ABCD)** được dùng để khảo sát vận hành có được tụ bù ngang mong muốn.

### Ví dụ 6.10

Đường dây truyền tải trong ví dụ 6.7 cung cấp cho phụ tải 1000 MVA,  $\cos\phi = 0,8$  trẽ ở 500 kV.

(a) Xác định công suất kháng MVAr và điện dung của tụ bù ngang đặt ở đầu nhận để giữ điện áp đầu nhận 500 kV khi điện áp đặt vào đầu phát là 500 kV.

(b) Nếu chỉ đặt bù dọc ở giữa đường dây ứng với độ bù dọc là 40%. Tìm điện áp đầu phát và phần trăm sụt áp.

Dùng chương trình CHP5EX8.

### Giải

(a) Từ ví dụ 6.7  $Z_c = 290,43 \Omega$  và  $v l = 21,641^\circ$ . Như vậy cảm kháng tương đương với đường dây không tổn hao cho bởi:

$$X' = Z_c \cdot \sin v l = 290,43 \sin(21,641^\circ) = 107,11 \Omega$$

Công suất đầu nhận (phụ tải):

$$\boxed{S_N} = 1000 \angle \arccos 0,8 = 800 + j600 \text{ MVA}$$

Đối với điều kiện vận hành đã cho, góc  $\delta$  cho bởi phương trình (6.26)

$$800 = \frac{500 \times 500}{107,11} \sin \delta$$

suy ra  $\delta = 20,044^\circ$ . Dùng quan hệ gần đúng (6.27), công suất kháng ở đầu nhận cho bởi:

$$Q_N = \frac{500 \times 500}{107,11} \cos 20,044^\circ - \frac{500^2}{107,11} \cos(21,641^\circ) = 23,15 \text{ MVAr}$$

Do đó công suất yêu cầu của tụ bù ngang là:

$$\boxed{S_c} = j23,15 - j600 = -j576,85 \text{ MVAr}$$

Dung kháng mỗi pha của tụ bù cho bởi (mắc Y)

$$-jX_c = \frac{U^2 \text{dây}}{S_c^*} = \frac{500^2}{j576,85} = -j433,38 \Omega$$

Suy ra điện dung

$$C = \frac{10^6}{2\pi f \times 60 \times 433,38} = 6,1 \mu F$$

Bù ngang của đường dây truyền tải có kẽ điện trở đường dây sẽ được khảo sát trong ví dụ 6.11.f) dùng chương trình **lineperf**. Lời giải chính xác là 613,8 MVAr đối với công suất kháng tụ bù so với kết quả 576,85 MVAr khi giả thiết đường dây không tổn hao, sai số tính toán khoảng 6%.

(b) Đối với độ bù dọc bằng 40% dung kháng mỗi pha của tụ bù dọc là:

$$X_{bù dọc} = 0,4X' = 0,4 \times 107,1 = 42,84 \Omega$$

Các thông số của mạch π tương đương cho bởi:

$$\bar{Z}' = j(X' - X_{bù dọc}) = j(107,1 - 42,84) = j 64,26 \Omega$$

$$\bar{Y}' = j \frac{2}{Z_c} \operatorname{tg}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = j \frac{2}{290,43} \operatorname{tg}\left(\frac{21,641^\circ}{2}\right) = j 0,001316 \text{ siemen}$$

Hằng số mới  $\bar{B} = j 64,26 \Omega$  và hằng số mới  $\bar{A}$  cho bởi:

$$\bar{A} = 1 + \frac{\bar{Z}' \bar{Y}'}{2} = 1 + \frac{(j64,26)(j0,001316)}{2} = 0,9577$$

Điện áp pha đầu nhận:

$$U_N = \frac{500}{\sqrt{3}} = 288,675 \text{ kV}$$

Dòng điện đầu nhận:

$$\boxed{I_N} = \frac{S_N^*}{3U_N^*} = \frac{1000 \angle -36,87^\circ}{3 \times 288,675 \angle 0^\circ} = 1,1547 \angle -36,87^\circ \text{ kA}$$

Suy ra điện áp đầu phát:

$$\begin{aligned} \boxed{U_P} &= \bar{A} \boxed{U_N} + \bar{B} \boxed{I_N} = 0,9577 \times 288,675 + j64,26 \times 1,1547 \angle -36,87^\circ \\ &= 326,4 \angle 10,47^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

Trị số điện áp dây đầu phát  $U_{P,dây} = \sqrt{3} U_P = \sqrt{3} \times 326,4 = 565,4 \text{ kV}$

$$\text{Độ sụt áp: } \Delta U = \frac{\frac{565,4}{\sqrt{3}} - 500}{500} \times 100\% = 18\%$$

Lời giải chính xác trong ví dụ 6.10 với  $U_{P,dây} = 571,9 \text{ kV}$  sai số khoảng 1%.

## 6.6 CÁC CHƯƠNG TRÌNH VẬN HÀNH ĐƯỜNG DÂY

Một chương trình có tên **lineperf** được triển khai để giải tích đầy đủ và tính toán bù cho đường dây. Lệnh **lineperf** hiển thị một menu với năm tùy chọn để tính toán các thông số của sơ

đồ thay thế hình  $\pi$  và hằng số truyền tải. Việc lựa chọn các tùy chọn sẽ gọi đến các thông số sau đây:

**[Z,Y,ABCD] = rlc2abcd (r,L,C,g,f,length)** tính toán và cho ra các thông số của mô hình  $\pi$  và các hằng số truyền tải (A, B, C, D) khi cho điện trở  $r$  – ohm, L – mH, C –  $\mu$ F trên một đơn vị chiều dài.

**[Z,Y,ABCD] = zy2abcd(z,y,Length)** tính toán và cho ra các thông số của mô hình  $\pi$ , các hằng số truyền tải khi cho tổng trở và tổng dẫn trên một đơn vị chiều dài.

**[Z,Y,ABCD] = pi2abcd(Z,Y)** cho ra các hằng số ABCD khi cho biết các thông số của mô hình  $\pi$ .

**[Z,Y,ABCD] = abcd2pi(A,B,C)** cho ra các mô hình  $\pi$  khi biết các hằng số truyền tải ABCD.

**[L,C] = gmd2lc** tính toán và cho ra điện cảm và điện dung mỗi pha khi cho biết cách bố trí dây dẫn và kích thước dây dẫn.

**[r,L,C,f] = abcd2rlc(ABCD)** cho ra các thông số đường dây trên mỗi đơn vị chiều dài và tần số khi cho biết các hằng số truyền tải.

Bất kỳ các hàm trên đều có thể được dùng độc lập khi các đối số của hàm được định nghĩa trong môi trường MatLab. Nếu các hàm trên được đánh vào máy tính mà không có dấu ngoặc và các đối số thì người sử dụng sẽ được nhắc nhớ để nhập các số liệu yêu cầu. Kế đó, **lineperf** gọi chương trình **listmenu** để hiển thị tám tùy chọn dùng cho giải tích đường dây và tính toán bù. Việc chọn lựa các tùy chọn sẽ gọi đến các hàm sau đây:

*Tùy chọn 1: givensr(ABCD):* nhắc nhở người sử dụng nhập vào  $U_N$ ,  $P_N$ ,  $Q_N$ . Hàm này tính  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ , tổn thất đường dây, độ sụt áp và hiệu suất tải điện.

**givenzl(ABCD)** người sử dụng nhập vào  $U_N$  và tổng trở phụ tải. Hàm này tính  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ , tổn thất đường dây, độ sụt áp và hiệu suất tải điện.

*Tùy chọn 2: givenss(ABCD):* nhắc nhở người sử dụng nhập vào  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ . Hàm này tính  $U_N$ ,  $P_N$ ,  $Q_N$ , tổn thất đường dây, độ sụt áp và hiệu suất tải điện.

*Tùy chọn 3: givenzl(ABCD):* người sử dụng nhập vào  $U_N$  và tổng trở phụ tải. Hàm này tính  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ , tổn thất đường dây, độ sụt áp và hiệu suất tải điện.

*Tùy chọn 4: openline(ABCD):* nhập vào  $U_P$ . Hàm này tính toán điện áp đối với đường dây không tải. Ngoài ra, có được điện kháng và công suất kháng yêu cầu của cuộn kháng điện cần thiết để duy trì điện áp đầu nhận ở trị số cho trước. Thêm vào đó, hàm vẽ trắc đồ điện áp dọc đường dây.

*Tùy chọn 5: shcktlin (ABCD):* nhập vào  $U_P$ , hàm này tính toán dòng điện ở cả hai đầu của đường dây khi có ngắn mạch ở đầu nhận.

*Tùy chọn 6:* dùng cho bù dung kháng và sẽ gọi **compmenu** hiển thị ba tùy chọn. Chọn các tùy chọn này sẽ gọi đến các hàm sau đây:

*6-1: shncomp(ABCD):* nhập vào  $U_P$ ,  $P_N$ ,  $Q_N$  và điện áp  $U_N$  yêu cầu. Hàm này tính điện dung và công suất kháng của bộ tụ bù ngang đặt ở đầu nhận để duy trì điện áp  $U_N$  mong muốn. Kế đó, tìm  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ , tổn thất đường dây, độ sụt áp và hiệu suất tải điện.

*6-2: sercomp (ABCD):* nhập vào  $U_N$ ,  $P_N$ ,  $Q_N$  phần trăm độ bù nối tiếp ( $X_{C, \text{nối tiếp}}/X_{\text{đường dây}} \times 100$ ). Hàm này tính toán công suất kháng của tụ bù nối tiếp,  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ , tổn thất đường dây, độ

sụt áp và hiệu suất tải điện của đường dây sau khi bù.

6–3: **srshcomp(ABCD)**: nhập vào  $U_P$ ,  $P_N$ ,  $Q_N$ , điện áp yêu cầu  $U_N$  và phần trăm độ bù dọc. Hàm này tính toán điện dung và công suất kháng MVAr của tụ bù ngang. Ngoài ra còn nhận được  $U_P$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$ , tổn thất đường dây, phần trăm sụt áp và hiệu suất truyền tải.

*Tùy chọn 7:* dùng hàm **pwrcir(ABCD)** yêu cầu nhập vào điện áp đầu nhận. Hàm này xây dựng đồ thị vòng tròn công suất đầu nhận đối với nhiều giá trị của  $U_P$  thay đổi từ  $U_N$  đến  $1,3U_N$ .

*Tùy chọn 8:* gọi **profmenu** hiển thị hai tùy chọn. Chọn các tùy chọn này gọi các hàm sau:

8–1: **vprofile(r,L,C,f)**: nhắc nhở người sử dụng nhập  $U_P$ , công suất định mức MVA, hệ số công suất,  $U_N$ ,  $P_N$ , và  $Q_N$ . Hàm này cho đồ thị trắc đồ điện áp đối với đường dây có chiều dài 1/8 độ dài sóng trong các trường hợp sau: đường dây không tải, tận cùng bởi SIL, đường dây bị ngắn mạch và đầy tải.

8–2: **loadabil(L,C,f)**: nhắc nhở người sử dụng nhập  $U_P$ ,  $U_N$  điện áp định mức và khả năng tải dòng điện của đường dây. Hàm này vẽ đồ thị bao gồm đường cong khả năng tải thực tế ứng với  $\delta = 30^\circ$ , đường cong giới hạn ổn định lý thuyết và giới hạn nhiệt. Hàm này giả thiết đường dây không tổn hao và các đồ thị có được đối với đường dây có chiều dài đến 1/4 chiều dài sóng.

Bất kỳ các hàm trên có thể sử dụng độc lập khi các đối số của hàm được định nghĩa trong môi trường MatLab. Hằng số ABCD được nhập vào như một ma trận. Nếu các hàm trên được đánh vào máy tính không có dấu ngoặc hoặc các đối số thì người sử dụng sẽ được nhắc nhở nhập vào các dữ liệu yêu cầu.

### Ví dụ 6.11

Một đường dây truyền tải ba pha 500 kV, 60 Hz, dài 300 km. Thông số mỗi pha:

$$r = 0,016 \Omega/km \quad L = 0,97 mH/km \quad C = 0,0115 \mu F/km$$

Dùng chương trình CHP5EX9.

a) Xác định vận hành ở đường dây khi phụ tải ở đầu nhận là 800 MW,  $\cos\varphi = 0,8$  trẽ ở 500 kV.

Lệnh:

lineperf

Hiển thị như sau:

Type of parameters for input	Select
------------------------------	--------

Parameters per unit length

r ( $\Omega$ ), g (siemens), L (mH), C ( $\mu F$ )	1
--	---

Complex z and y per unit length	2
---------------------------------	---

r + j * x ( $\Omega$ ), g + j*b (siemens)	
---	--

Nominal $\pi$ or Eq. $\pi$ model	3
----------------------------------	---

A, B, C, D constant	4
---------------------	---

Conductor configuration and dimension	5
---------------------------------------	---

To quit	0
---------	---

Select number of menu 1

Enter line length = 300

Enter frequency in Hz = 60

Enter line resistance / phase in  $\Omega$  / unit length,  $r = 0.016$

Enter line inductance in mH per unit length,  $L = 0.97$

Enter line capacitance in  $\mu\text{F}$  per unit length,  $C = 0.0115$

Enter line conductance in siemens per unit length,  $g = 0$

Enter 1 for medium line in 2 for long line  $\rightarrow 2$

Equivalent  $\pi$  model

$$Z' = 4.57414 + j107.119 \text{ ohms}$$

$$Y' = 6.9638e-07 + j0.00131631 \text{ siemens}$$

$$Z_C = 290.496 + j -6.35214 \text{ ohms}$$

$$u/l = 0.00826172 \text{ neper } v/l = 0.377825 \text{ radian} = 21.6478^\circ$$

$$ABCD = \begin{bmatrix} 0.9295 + j0.0030478 & 4.5741 + j107.12 \\ -1.3341e-06 + j0.0012699 & 0.9295 + j0.0030478 \end{bmatrix}$$

Tại đây chương trình **listmenu** được tự động thực thi và hiển thị menu như sau:

Transmission line performance

Analysis	select
To calculate sending and quantities for specified receiving end MW, MVar	1
To calculate receiving end quantities for specified sending end MW, MVar	2
To calculate sending end quantities when load impedance is specified	3
Open-end line and reactive compensation	4
Short-circuited line	5
Capacitive compensation	6
Receiving end circle diagram	7
Loadability curve and voltage profile	8

To quit 0

Select number of menu → 1

Enter receiving end line-line voltage kV = 500

Enter receiving end voltage phase angle = 0

Enter receiving end 3-phase power MW = 800

Enter receiving end 3-phase reactive power

(+ for lagging and- for leading power factor) MVAr = 600

Line performance for specified receiving end quantities

$V_r = 500 \text{ kV (L-L) at } 0^\circ$

$P_r = 800 \text{ MW } Q_r = 600 \text{ MVAr}$

$I_r = 1154.7 \text{ A at } -36.8699^\circ \text{ PF}_r = 0.8 \text{ lagging}$

$V_s = 623.511 \text{ kV (L-L) at } 15.5762^\circ$

$I_s = 903.113 \text{ A at } -17.6996^\circ, \text{ PF}_s = 0.836039 \text{ lagging}$

$P_s = 815.404 \text{ MW, } Q_s = 535.129 \text{ MVAr}$

$P_L = 15.4040 \text{ MW, } Q_L = -64.871 \text{ MVAr}$

Percent Voltage Regulation = 34.1597

Transmission line efficiency = 98.1108

Phần cuối của giải tích này, **listmenu** (menu giải tích) được hiển thị.

b) Xác định các đại lượng đầu nhận và vận hành đường dây khi 600 MW và 400 MVAr được truyền tải từ đầu phát ở 525 kV.

Chọn tùy chọn 2 của **listmenu**, kết quả như sau:

Enter sending end line-line voltage kV = 525

Enter sending end voltage phase angle $^\circ = 0$

Enter sending end 3-phase power MW = 600

Enter sending end 3-phase reactive power

(+ for lagging and- for leading power factor) MVAr = 400

Line performance for specified receiving end quantities

$V_s = 525 \text{ kV (L-L) at } 0^\circ$

$P_s = 600 \text{ MW } Q_s = 400 \text{ MVAr}$

$I_s = 793.016 \text{ A at } -33.6901^\circ, \text{ PF}_s = 0.83205 \text{ lagging}$

$V_r = 417.954 \text{ kV(L-L) at } -16.3044^\circ$

$I_r = 1002.6 \text{ A at } -52.16^\circ \text{ PF}_r = 0.810496 \text{ lagging}$

$P_r = 588.261 \text{ MW, } Q_r = 425.136 \text{ MVAr}$

$P_L = 11.7390 \text{ MW, } Q_L = -25.136 \text{ MVAr}$

Percent Voltage Regulation = 35.1383

Transmission line efficiency = 98.0435

c) Xác định các đại lượng đầu phát và vận hành đường dây khi tổng trớ phụ tải đầu nhận là  $290 \Omega$  ở  $500 \text{ kV}$ .

Chọn tùy chọn 3 của **listmenu**, kết quả như sau:

Enter receiving end line-line voltage kV = 500

Enter receiving end voltage phase angle  $^0 = 0$

Enter sending complex load impedance  $290 + j*0$

Line performance for specified load impedance

$V_r = 500 \text{ kV (L-L) at } 0^0$

$I_r = 995.431 \text{ A at } 0^0 \text{ PF}_r = 1$

$P_r = 862.069 \text{ MW}, Q_r = 0 \text{ MVAr}$

$V_s = 507.996 \text{ kV (L-L) at } 21.5037^0$

$I_s = 995.995 \text{ A at } 21.7842^0, \text{ PF}_s = 0.999988 \text{ leading}$

$P_s = 876.341 \text{ MW}, Q_s = -4.290 \text{ MVAr}$

$P_L = 14.272 \text{ MW}, Q_L = -4.290 \text{ MVAr}$

Percent Voltage Regulation = 9.30464

Transmission line efficiency = 98.3714

d) Tìm điện áp đầu nhận khi đường dây hở mạch (không tải) với  $500 \text{ kV}$  ở đầu phát.

Ngoài ra, xác định cảm kháng và công suất kháng của cuộn kháng bù ngang đặt ở đầu nhận nhằm giới hạn điện áp đầu nhận ở  $500 \text{ kV}$ .

Chọn tùy chọn 4 của **listmenu**, kết quả như sau:

Enter sending end line-line voltage kV = 500

Enter sending end voltage phase angle  $^0 = 0$

Open line and shunt reactor compensation

$V_s = 500 \text{ kV (L-L) at } 0^0$

$V_r = 537.92 \text{ kV at } -0.00327893^0$

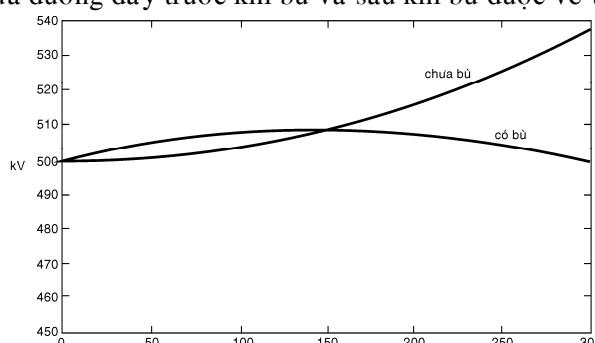
$I_s = 394.394 \text{ A at } 89.8723^0, \text{ PF}_s = 0.0022284 \text{ leading}$

Desired no load receiving end voltage =  $500 \text{ kV}$

Shunt reactor reactance =  $1519.4 \Omega$

Shunt reactor rating =  $164.538 \text{ MVAr}$

Trắc đồ điện áp của đường dây trước khi bù và sau khi bù được vẽ trong H.6.7.



Hình 6.7: Trắc đồ điện áp đường dây không tải không có bù và có bù với  $X_{L,bù \text{ ngang}} = 1519 \Omega$

e) Tìm dòng điện đầu nhận và đầu phát khi đường dây bị ngắn mạch

Tùy chọn 5 của **listmenu**, kết quả như sau:

Enter sending end line-line voltage kV = 500

Enter sending end voltage phase angle<sup>0</sup> = 0

Line short circuited at receiving end

$V_s = 500 \text{ kV (L-L) at } 0^0$

$I_r = 2692.45 \text{ A at } -87.5549^0$

$I_s = 2502.65 \text{ A at } -87.367^0$

f) Phụ tải đường dây ở trong phần a) gây ra sụt áp là 34,16%, sụt áp này lớn không chấp nhận được.

Để cải thiện chế độ vận hành, đường dây cần được bù dọc và bù ngang. Đối với chế độ tải trong (a):

(1) Xác định công suất kháng và điện dung của tụ bù ngang đặt ở đầu nhận để giữ điện áp đầu nhận bằng 500 kV khi điện áp đầu phát bằng 500 kV.

Tùy chọn 6 hiển thị **compmenu** như sau:

Capacitive compensation	
Analysis	select
Shunt capacitive compensation	1
Series capacitive compensation	2
Series and shunt capacitive compensation	3
To quit	0

Chọn tùy chọn 1 của **compmenu**, kết quả như sau:

Enter sending end line-to-line voltage kV = 500

Enter desired receiving end line-to-line voltage kV = 500

Enter receiving end voltage phase angle<sup>0</sup> = 0

Enter receiving end 3-phase power MW = 800

Enter receiving end 3-phase reactive power

(+ for lagging and- for leading power factor) MVAr = 600

Shunt capacitive compensation

$V_s = 500 \text{ kV (L-L) at } 20.2479^0$

$V_r = 500 \text{ kV (L-L) at } 0^0$

Pload = 800 MW, Qload = 600 MVAr

Load current = 1154.7 A at  $-36.8699^0$ , PF1 = 0.8 lagging

Required shunt capacitor:  $407.267 \Omega, 6.51314 \mu\text{F}, 613.849 \text{ MVAr}$

Shunt capacitor current = 708.811 A at  $90^0$

$P_r = 800.0 \text{ MW}$ ,  $Q_r = -13.849 \text{ MVar}$

$I_r = 923.899 \text{ A}$  at  $0.991732^\circ$ ,  $\text{PF}_r = 0.99985$  leading

$I_s = 940.306 \text{ A}$  at  $24.121^\circ$ ,  $\text{PF}_s = 0.997716$  leading

$P_s = 812.469 \text{ MW}$ ,  $Q_s = -55.006 \text{ MVar}$

$P_L = 12.469 \text{ MW}$ ,  $Q_L = -41.158 \text{ MVar}$

Percent Voltage Regulation = 7.58405

Transmission line efficiency = 98.4653

(2) Xác định vận hành đường dây khi đường dây được bù dọc với độ bù dọc bằng 40% với điều kiện phụ tải trong (a) ở 500 kV.

Chọn tùy chọn 2 của **compmenu** kết quả như sau:

Enter receiving end line-line voltage kV = 500

Enter receiving end voltage phase angle  $^0 = 0$

Enter receiving end 3-phase power MW = 800

Enter receiving end 3-phase reactive power

(+ for lagging and - for leading power factor) MVar = 600

Enter percent compensation for series capacitors

(recommended range 25 to 75% of the line reactance) = 40

#### ***Series capacitor compensation***

$V_r = 500 \text{ kV}$  (L-L) at  $0^\circ$

$P_r = 800 \text{ MW}$ ,  $Q_r = 600 \text{ MVar}$

Required series capacitor:  $42.8476 \Omega$ ,  $61.9074 \mu\text{F}$ ,  $47.4047 \text{ MVar}$

Subsynchronous resonant frequency = 37.9473 Hz

$I_r = 1154.7 \text{ A}$  at  $-36.8699^\circ$ ,  $\text{PF}_r = 0.8$  lagging

$V_s = 571.904 \text{ kV}$  (L-L) at  $9.9538^\circ$

$I_s = 932.258 \text{ A}$  at  $-18.044^\circ$ ,  $\text{PF}_s = 0.882961$  lagging

$P_s = 815.383 \text{ MW}$ ,  $Q_s = 433.517 \text{ MVar}$

$P_L = 15.383 \text{ MW}$ ,  $Q_L = -166.483 \text{ MVar}$

Percent voltage regulation = 19.4322

Transmission line efficiency = 98.1134

(3) Đường dây được bù dọc 40% bằng tụ bù dọc và cung cấp phụ tải trong (a). Xác định công suất kháng và điện dung của tụ bù ngang đặt ở đầu nhận để giữ điện áp đầu nhận ở 500 kV khi điện áp đặt vào đầu phát là 500 kV.

Chọn tùy chọn 1 của **compmenu**, kết quả như sau:

Enter sending end line-to-line voltage kV = 500

Enter desired receiving end line-to-line voltage kV = 500

Enter receiving end voltage phase angle  $^0 = 0$

Enter receiving end 3-phase power MW = 800

Enter receiving end 3-phase reactive power

(+ for lagging and - for leading power factor) MVar = 600

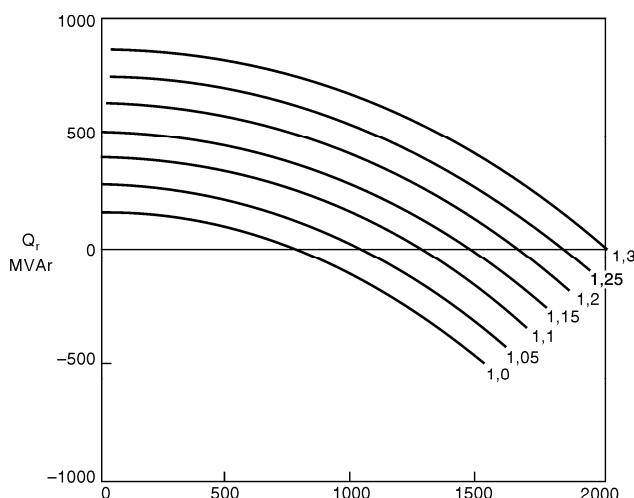
Enter percent compensation for series capacitor  
 (Recommended range 25 to 75% of line reactance) = 40  
Series and shunt capacitor compensation  
 $V_s = 500 \text{ kV (L-L) at } 12.0224^0$   
 $V_r = 500 \text{ kV (L-L) at } 0^0$   
 $P_{\text{load}} = 800 \text{ MW}, Q_{\text{load}} = 600 \text{ MVar}$   
 $\text{Load current} = 1154.7 \text{ A at } -36.8699^0, \text{PF1} = 0.8 \text{ lagging}$   
 Required shunt capacitor:  $432.736 \Omega, 6.1298 \mu\text{F}, 577.72 \text{ MVar}$   
 Shunt capacitor current =  $667.093 \text{ A at } 90^0$   
 Required series capacitor:  $42.8476 \Omega, 61.9074 \mu\text{F}, 37.7274 \text{ MVar}$   
 Subsynchonous resonant frequency =  $37.9473 \text{ Hz}$   
 $P_r = 800 \text{ MW}, Q_r = 22.2804 \text{ MVar}$   
 $I_r = 924.119 \text{ A at } -1.5953^0, \text{PFr} = 0.999612 \text{ lagging}$   
 $I_s = 951.165 \text{ A at } 21.59777^0, \text{PFs} = 0.986068 \text{ leading}$   
 $P_s = 812.257 \text{ MW}, Q_s = -137.023 \text{ MVar}$   
 $P_L = 12.257 \text{ MW}, Q_L = -159.304 \text{ MVar}$   
 Percent voltage regulation = 4.41619  
 Transmission line efficiency = 98.491

g) Xây dựng đồ thị vòng tròn công suất đầu nhận

Chọn tùy chọn 7 của **listmenu**, kết quả như sau:

Enter receiving end line-line voltage kV = 500

Đồ thị vòng tròn công suất đầu nhận được trình bày trong H.6.8.



**Hình 6.8: Đồ thị vòng tròn công suất đầu nhận với  $U_p$  thay đổi từ  $U_N$  đến  $1,3 U_N$**

h) Xác định trắc đồ điện áp trong các trường hợp sau: không tải, tải định mức, tần cùng bởi SIL, ngắn mạch đường dây.

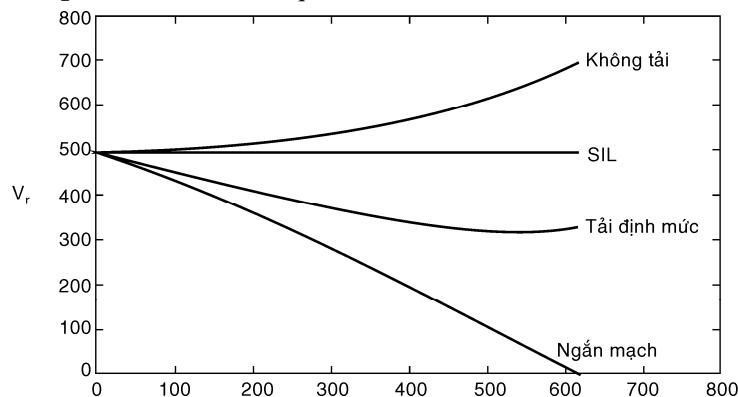
Chọn tùy chọn 8 của **listmenu**, kết quả như sau:

Voltage profile and line loadability

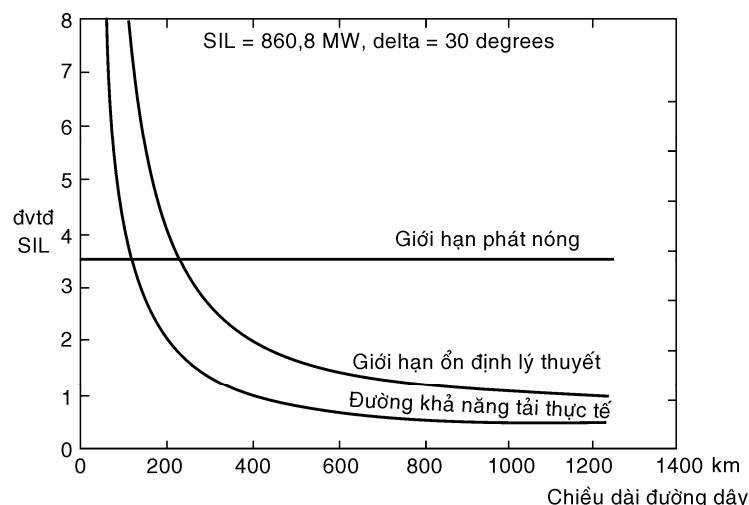
Analysis	select
Voltage profile curve	1

Line loadability curve      2  
To quit                    0

Tùy chọn 1 của **profmenu** cho kết quả như sau:



**Hình 6.9:** Trắc đồ điện áp của đường dây dài đến  $1/8$  độ dài sóng,  $Z_C = 290,5 \Omega$ .



**Hình 6.10:** Đường cong mang tải của đường dây dài đến  $\frac{1}{4}$  độ dài sóng

Enter sending end line-line voltage kV = 500

Enter rated sending end power, MVA = 1000

Enter power factor = 0.8

Kết quả vẽ trắc đồ điện áp cho trong H.6.9.

i) Vẽ đường cong khả năng tải của đường dây

Chọn tùy chọn 2 của profmenu cho kết quả như sau:

Enter sending end line-line voltage kV = 500

Enter receiving end line-line voltage kV = 500

Enter rated line-line voltage kV = 500

Enter line current -carrying capacity Amp/Phase = 3500

Đường cong khả năng tải cho trong H 6.10

## 6.7 CÁC CHƯƠNG TRÌNH PHÂN BỐ CÔNG SUẤT

Nhiều chương trình được triển khai cho phép giải phân bố công suất của hệ thống điện thực tế. Mỗi phương pháp bao gồm bốn chương trình. Chương trình đối với phương pháp Gauss–Seidel là **Ifgauss**, chương trình thực hiện trước đó là **Ifybus** và chương trình theo sau là **busout** và **lineflow**. Các chương trình **Ifybus**, **busout** và **lineflow** được thiết kế để dùng với hai chương trình phân bố công suất khác. Đó là chương trình **Ifnewton** dùng phương pháp Newton–Raphson và chương trình **decouple** dùng phương pháp phân lập nhanh. Sau đây mô tả ngắn gọn các chương trình trong phương pháp Gauss–Seidel.

- **Ifybus**: chương trình này yêu cầu thông số của đường dây, máy biến áp, đầu phân áp của máy biến áp chứa trong tập tin có tên là **linedata**. Chương trình đổi tổng trở thành tổng dẫn và thành lập ma trận tổng dẫn thanh cái  $Y_{BUS}$ . Chương trình được viết để xử lý với cả các đường dây song song.

- **Ifgauss**: Chương trình này cho lời giải phân bố công suất bằng phương pháp Gauss–Seidel và yêu cầu các tập tin có tên **busdata** và **linedata**. Nó được thiết kế để dùng trực tiếp với phụ tải và máy phát có công suất tính theo MW và MVar, điện áp thanh cái đơn vị tương đối và góc tính ra độ. Phụ tải và máy phát được đổi ra đơn vị tương đối trên công suất cơ bản MVA được chọn. Chương trình có xét đến công suất của nguồn tại các thanh cái có điều khiển điện áp theo đó công suất kháng phải ở trong giới hạn đã định. Việc vi phạm giới hạn công suất kháng có thể xảy ra nếu điện áp được qui định quá cao hay quá thấp. Sau một số lần lặp (lần lặp thứ 10 theo phương pháp Gauss–Seidel), công suất kháng tính toán ở các thanh cái của máy phát được xem xét về điều kiện giới hạn. Nếu đạt đến một giới hạn, trị số điện áp được hiệu chỉnh mỗi bước là 0,5% cho đến tối đa  $\pm 5\%$  để đưa yêu cầu về công suất kháng về giới hạn đã định.

- **busout**: chương trình cho kết quả điện áp thanh cái dưới dạng bảng. Kết quả điện áp nút dưới dạng trị số và góc pha, công suất tác dụng của máy phát và phụ tải, công suất kháng của tụ bù hay cuộn kháng bù ngang. Ngoài ra còn bao gồm tổng công suất phát và tổng phụ tải.

- **lineflow**: chương trình xuất dữ liệu về đường dây, hiển thị dòng công suất tác dụng và phản kháng đi vào ở các đầu đường dây, tổn thất đường dây cũng như công suất ở mỗi nút. Kết quả cũng bao gồm tổn thất công suất tác dụng và phản kháng của toàn hệ thống.

### 6.7.1 Chuẩn bị số liệu và phân bố công suất bằng phương pháp Gauss–Seidel

Để thực hiện phân bố công suất bằng phương pháp Gauss–Seidel trong môi trường MatLab, các biến sau đây phải được định nghĩa: công suất cơ bản MVA của hệ thống, độ chính xác về sai số công suất, hệ số tăng tốc, số lần lặp tối đa. Tên (viết chữ thường) dùng cho các biến này lần lượt là basemva, accuracy, accel và maxiter. Các giá trị tiêu biểu như sau:

```
basemva = 100 ; accuracy = 0.001 ;
accel = 1.6 ; maxiter = 80 ;
```

Bước đầu tiên của việc chuẩn bị số liệu của tập tin số liệu nhập vào là đánh số nút. Nút được đánh số liên tiếp. Mặc dù việc đánh số là liên tiếp nhưng các nút được nhập không cần nhập tuần tự. Thêm vào đó các tập tin số liệu sau đây được yêu cầu:

**Tập tin số liệu nút – busdata.** Dạng thức dùng cho nhập số liệu nút được chọn để thuận tiện cho việc nhập các số liệu của mỗi nút theo một hàng. Thông tin yêu cầu phải được bao hàm trong một ma trận gọi là ma trận **busdata**.

- Cột 1: số thứ tự nút
- Cột 2: mã nút
- Cột 3 và 4: điện áp nút trong đơn vị tương đối
- Cột 5 và 6: công suất MW và MVAr của phụ tải
- Cột 7 đến cột 10: công suất MW, MVAr, MVAr min, MVAr max của máy phát
- Cột cuối cùng là công suất kháng MVAr của tụ bù ngang.

Mã nút nhập vào ở cột 2 dùng để chỉ định nút phụ tải, nút có điều chỉnh điện áp và nút cân bằng như chỉ dẫn dưới đây:

1: Mã này dùng cho nút cân bằng. Thông tin cần thiết cho nút này là điện áp và góc pha.

0: Mã này dùng cho nút phụ tải. Phụ tải được nhập là số dương MW và MVAr. Đối với nút này, giả thiết điện áp ban đầu là 1 đối với trị số điện áp và  $0^\circ$  đối với góc pha.

2: Mã này được dùng cho nút có điều chỉnh điện áp. Đối với nút này, trị số điện áp, công suất tác dụng MW của máy phát, giới hạn min và max của công kháng MVAr yêu cầu.

*Tập tin số liệu nhánh –linedata* – Đường dây được ghi nhận bằng phương pháp cặp điểm nút – Thông tin được yêu cầu phải bao gồm trong ma trận gọi là **linedata**.

- Cột 1 và 2 là số thứ tự nút ở hai đầu đường dây.
- Cột 3 đến cột 5 bao gồm điện trở, cảm kháng và một nửa dung dẫn của đường dây trong đơn vị tương đối trên công suất cơ bản  $S_{ch}$  đã cho.
- Cột cuối dành cho đầu phân áp được chỉnh định, đối với đường dây nhập số 1 vào cột này. Đường dây có thể nhập theo bất kỳ thứ tự nào chỉ có một ràng buộc nếu là nhánh máy biến áp, số nút bên trái được giả thiết là phía có đầu phân áp.

Hệ thống 30 nút IEEE được dùng để minh họa cho việc chuẩn bị số liệu và dùng để phân bố công suất bằng phương pháp Gauss-Seidel.

### Ví dụ 6.12

Hình 6.11. trình bày sơ đồ mạng điện có 30 nút dùng để phân bố công suất bằng nhiều phương pháp khác nhau. Dùng chương trình **lfgauss** để có được lời giải bằng phương pháp Gauss-Seidel. Nút 1 được chọn làm nút cân bằng với điện áp được giữ cân bằng  $1,06 \angle 0^\circ$  đvtđ. Số liệu các nút điều khiển điện áp.

Chương trình của ví dụ này có tên CHP6EX9.

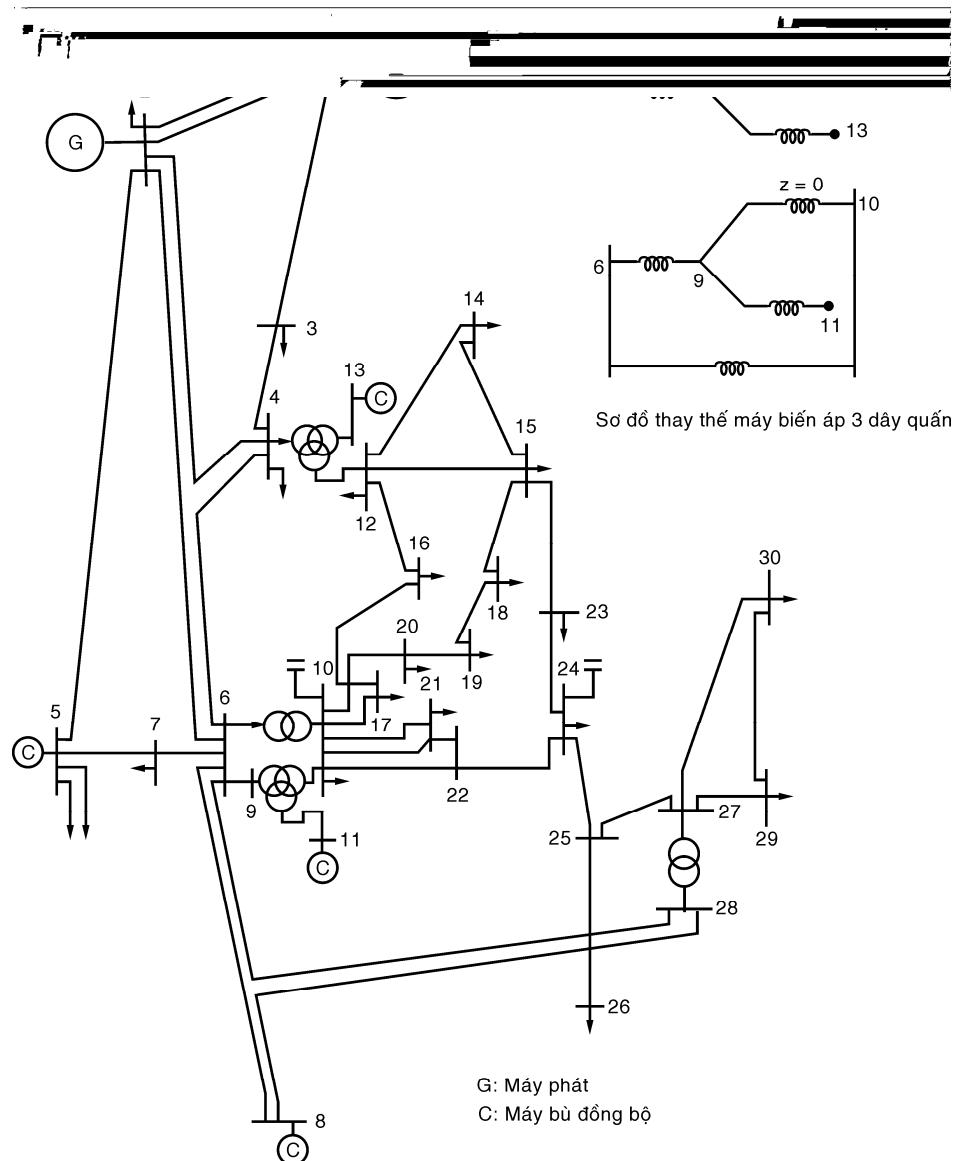
Số thứ tự nút	Điện áp	$Q_{min}$	$Q_{max}$
2	1,043	- 40	50
5	4,010	- 40	40
8	4,010	- 10	40
11	1,082	- 6	24
13	1,071	- 6	24

Đầu phân áp cho trong bảng dưới đây – nút bên trái được giả thiết là có đầu phân áp.

Nhánh máy biến áp	Chỉnh định đầu phân áp đvtđ
4 – 12	0,932
6 – 9	0,978
6 – 10	0,969
28 – 27	0,968

Số liệu về công suất kháng tụ bù ngang

Số thứ tự nút	Qc, MVar
10	19
24	4,3



Hình 6.11

Công suất máy phát và phụ tải được chuẩn bị dùng trong môi trường MatLab trong ma trận được định nghĩa là **busdata**. Mã 0, 1, 2 lần lượt được dùng cho nút phụ tải, nút cân bằng và nút có điều chỉnh điện áp. Các giá trị **basemva**, **accuracy**, **accel** và **maxiter** phải được qui định. Dữ liệu đường dây được cho trong ma trận **linedata**. Cột cuối của dữ liệu này chứa số 1 đối với đường dây và trị số chỉnh định đầu phân áp đối với máy biến áp có tỷ số vòng khác định mức. Các lệnh điều khiển bao gồm **Ifybus**, **Ifgauss** và **lineflow**. Lệnh **diary** được dùng để lưu trữ kết quả xuất ra vào một tập tin có tên đã định. Dữ liệu dùng cho phân bố công suất và các lệnh yêu cầu được trình bày như sau:

```
clear % clears all variables from workspace.
busdata = [1 1 1,06 0 0,0 0,0 0,0 0,0 0 -40 50 0
            2 2 1,043 0 21,70 12,7 40,0 0,0 0,0 -40 50 0
            3 0 1,0 0 2,4 1,2 0,0 0,0 0,0 0 0 0
            4 0 1,06 0 7,6 1,6 0,0 0,0 0,0 0 0 0
            5 2 1,01 0 94,2 19,0 0,0 0,0 0,0 -40 40 0
            6 0 1,0 0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0 0 0
            7 0 1,0 0 22,8 10,9 0,0 0,0 0,0 0 0 0
            8 2 1,01 0 30,0 30,0 0,0 0,0 0,0 -10 40 0
            9 0 1,0 0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0 0 0
            10 0 1,0 0 5,8 2,0 0,0 0,0 0,0 0 0 19
            11 2 1,082 0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 -6 24 0
            12 0 1,0 0 11,2 7,5 0 0 0 0 0 0
            13 2 1,071 0 0,0 0,0 0 0 0 -6 24 0
            14 0 1,0 0 6,2 1,6 0 0 0 0 0 0
            15 0 1,0 0 8,2 2,5 0 0 0 0 0 0
            16 0 1,0 0 3,5 1,8 0 0 0 0 0 0
            17 0 1,0 0 9,0 5,8 0 0 0 0 0 0
            18 0 1,0 0 3,2 0,9 0 0 0 0 0 0
            19 0 1,0 0 9,5 3,4 0 0 0 0 0 0
            20 0 1,0 0 2,2 0,7 0 0 0 0 0 0
            21 0 1,0 0 17,5 11,2 0 0 0 0 0 0
            22 0 1,0 0 0,0 0,0 0 0 0 0 0 0
            23 0 1,0 0 3,2 1,6 0 0 0 0 0 0
            24 0 1,0 0 8,7 6,7 0 0 0 0 0 4,3
            25 0 1,0 0 0,0 0,0 0 0 0 0 0 0
            26 0 1,0 0 3,5 2,3 0 0 0 0 0 0
            27 0 1,0 0 0,0 0,0 0 0 0 0 0 0
            28 0 1,0 0 0,0 0,0 0 0 0 0 0 0
            29 0 1,0 0 2,4 0,9 0 0 0 0 0 0
            30 0 1,0 0 10,6 1,9 0 0 0 0 0 0];
```

%	Bus	Bus	Voltge	Angle	Load		Generator			Injected	
%	No	code	Mag	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar
busdata=	[1	1	1,06	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
	2	2	1,043	0	21,70	12,7	40,0	0,0	-40	50	0
	3	0	1,0	0	2,4	1,2	0,0	0,0	0	0	0
	4	0	1,06	0	7,6	1,6	0,0	0,0	0	0	0
	5	2	1,01	0	94,2	19,0	0,0	0,0	-40	40	0
	6	0	1,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
	7	0	1,0	0	22,8	10,9	0,0	0,0	0	0	0
	8	2	1,01	0	30,0	30,0	0,0	0,0	-10	40	0
	9	0	1,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
	10	0	1,0	0	5,8	2,0	0,0	0,0	0	0	19
	11	2	1,082	0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6	24	0
	12	0	1,0	0	11,2	7,5	0	0	0	0	0
	13	2	1,071	0	0,0	0,0	0	0	-6	24	0
	14	0	1,0	0	6,2	1,6	0	0	0	0	0
	15	0	1,0	0	8,2	2,5	0	0	0	0	0
	16	0	1,0	0	3,5	1,8	0	0	0	0	0
	17	0	1,0	0	9,0	5,8	0	0	0	0	0
	18	0	1,0	0	3,2	0,9	0	0	0	0	0
	19	0	1,0	0	9,5	3,4	0	0	0	0	0
	20	0	1,0	0	2,2	0,7	0	0	0	0	0
	21	0	1,0	0	17,5	11,2	0	0	0	0	0
	22	0	1,0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
	23	0	1,0	0	3,2	1,6	0	0	0	0	0
	24	0	1,0	0	8,7	6,7	0	0	0	0	4,3
	25	0	1,0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
	26	0	1,0	0	3,5	2,3	0	0	0	0	0
	27	0	1,0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
	28	0	1,0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
	29	0	1,0	0	2,4	0,9	0	0	0	0	0
	30	0	1,0	0	10,6	1,9	0	0	0	0	0];

% Line Data

%

%	Bus	bus	R	X	1/2B	1 for Line code or tap setting value
%	nl	nr	pu	pu	pu	
linedata =	[1	2	0,0192	0,05775	0,02640	1
	1	3	0,0452	0,1852	0,02040	1
	2	4	0,0570	0,1737	0,01840	1
	3	4	0,0132	0,0379	0,00420	1
	2	5	0,0472	0,1983	0,02090	1
	2	6	0,0581	0,1763	0,01870	1
	4	6	0,0119	0,0414	0,00450	1
	5	7	0,0460	0,1160	0,01020	1
	6	7	0,0267	0,0820	0,00850	1
	6	8	0,0120	0,0420	0,00450	1
	6	9	0,0	0,2080	0,0	0,978
	6	10	0,0	0,5560	0,0	0,969
	9	11	0,0	0,2080	0,0	1
	9	10	0,0	0,1100	0,0	1
	4	12	0,0	0,2560	0,0	0,932
	12	13	0,0	0,1400	0,0	1
	12	14	0,1231	0,2559	0,0	1
	12	15	0,0662	0,1304	0,0	1
	12	16	0,0945	0,1987	0,0	1
	14	15	0,2210	0,1997	0,0	1
	16	17	0,0824	0,1923	0,0	1
	15	18	0,1073	0,2185	0,0	1
	18	19	0,0639	0,0292	0,0	1
	19	20	0,0340	0,0680	0,0	1
	10	20	0,0936	0,2090	0,0	1
	10	17	0,0324	0,0845	0,0	1
	10	21	0,0348	0,0749	0,0	1
	10	22	0,0727	0,1499	0,0	1
	21	22	0,0116	0,0236	0,0	1
	15	23	0,1000	0,2020	0,0	1
	22	24	0,1150	0,1790	0,0	1
	23	24	0,1320	0,2700	0,0	1
	24	25	0,1885	0,3292	0,0	1
	25	26	0,2544	0,3800	0,0	1
	25	27	0,1093	0,2087	0,0	1
	28	27	0,0000	0,3960	0,0	0,968
	27	29	0,2198	0,4153	0,0	1
	27	30	0,3202	0,6027	0,0	1
	29	30	0,2399	0,4533	0,0	1
	8	28	0,0636	0,2000	0,0214	1
	6	28	0,0169	0,0599	0,065	1]

Các lệnh **Ifgauss**, **busout** và **lineflow** tạo ra các bảng kết quả sau:

```
%  
lfybus % Forms the bus admittance matrix  
lfgauss % Power flow solution by Gauss-Seidel method  
busout % Prints the power flow solution on the screen  
lineflow % Computer and displays the line flow and losses
```

Power Flow Solution by Gauss-Seidel Method

Maximum Power mismatch = 0.000951884

No. of iterations = 34

Bus No.	Voltage	Angle	---Load---		---Generation---		Injected
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1,060	0,000	0,000	0,000	260,950	-17,010	0,00
2	1,043	-5,496	21,700	12,700	40,000	48,826	0,00
3	1,022	-8,002	2,400	1,200	0,000	0,000	0,00
4	1,013	-9,659	7,600	1,600	0,000	0,000	0,00
5	1,010	-14,380	94,200	19,000	0,000	35,995	0,00
6	1,012	-11,396	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
7	1,003	-13,149	22,800	10,900	0,000	0,000	0,00
8	1,010	-12,114	30,000	30,000	0,000	30,759	0,00
9	1,051	-14,432	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
10	1,044	-16,024	5,800	2,000	0,000	0,000	19,00
11	1,082	-14,432	0,000	0,000	0,000	16,113	0,00
12	1,057	-15,301	11,200	7,500	0,000	0,000	0,00
13	1,071	-15,300	0,000	0,000	0,000	10,406	0,00
14	1,043	-16,190	6,200	1,600	0,000	0,000	0,00
15	1,038	-16,276	8,200	2,500	0,000	0,000	0,00
16	1,045	-15,879	3,500	1,800	0,000	0,000	0,00
17	1,039	-16,187	9,000	5,800	0,000	0,000	0,00
18	1,028	-16,881	3,200	0,900	0,000	0,000	0,00
19	1,025	-17,049	9,500	3,400	0,000	0,000	0,00
20	1,029	-16,851	2,200	0,700	0,000	0,000	0,00
21	1,032	-16,468	17,500	11,200	0,000	0,000	0,00
22	1,033	-16,455	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
23	1,027	-16,660	3,200	1,600	0,000	0,000	0,00
24	1,022	-16,829	8,700	6,700	0,000	0,000	4,30
25	1,019	-16,423	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
26	1,001	-16,835	3,500	2,300	0,000	0,000	0,00
27	1,026	-15,913	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
28	1,011	-12,056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
29	1,006	-17,133	2,400	0,900	0,000	0,000	0,00
30	0,994	-18,016	10,600	1,900	0,000	0,000	0,00
	Total		283,400	126,200	300,950	125,089	23,30

## Line Flow and Losses

---Line---		Power at bus & line flow			---Line loss---		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		260,960	-17,010	261,504			
	2	177,743	-22,140	179,117	5,461	10,517	
	3	83,197	5,125	83,354	2,807	7,079	
2		18,300	36,126	40,497			
	1	-172,282	32,657	175,350	5,461	10,517	
	4	45,702	2,720	45,783	1,106	-0,519	
	5	82,990	1,704	83,008	2,995	8,178	
	6	61,905	-0,966	61,913	2,047	2,263	
3		-2,400	-1,200	2,683			
	1	-80,390	1,954	80,414	2,807	7,079	
	4	78,034	-3,087	78,095	0,771	1,345	
4		-7,600	-1,600	7,767			
	2	-44,596	-3,329	44,713	1,106	-0,519	
	3	-77,263	4,432	77,390	0,771	1,345	
	6	70,132	-17,624	72,313	0,605	1,181	
	12	44,131	14,627	46,492	0,000	4,686	0,932
5		-94,200	16,995	95,721			
	2	-79,995	6,474	80,256	2,995	8,178	
	7	-14,210	10,467	17,649	0,151	-1,687	
6		0,000	0,000	0,000			
	2	-59,858	3,229	59,945	2,047	2,263	
	4	-69,527	18,805	72,026	0,606	1,181	
	7	37,537	-1,915	37,586	0,368	-0,598	
	8	29,534	-3,712	29,766	0,103	-0,558	
	9	27,687	-7,318	28,638	0,000	1,593	0,978
	10	15,828	0,656	15,842	0,000	1,279	0,969
	28	18,840	-9,575	21,134	0,060	-13,085	
	7	-22,800	-10,900	25,272			
7	5	14,361	-12,154	18,814	0,151	-1,687	
	6	-37,170	1,317	37,193	0,368	-0,598	
	8	-30,000	0,759	30,010			
8	6	-29,431	3,154	29,599	0,103	-0,558	
	28	-0,570	-2,366	2,433	0,000	-4,368	
	9	0,000	0,000	0,000			
9	6	-27,687	8,911	29,086	0,000	1,593	
	11	0,003	-15,653	15,653	-0,000	0,461	

	10	27,731	6,747	28,540	0,000	0,811
10		-5,800	17,000	17,962		
	6	-15,828	0,623	15,840	0,000	1,279
	9	-27,731	-5,936	28,359	0,000	0,811
	20	9,018	3,569	9,698	0,081	0,180
	17	5,347	4,393	6,920	0,014	0,037
	21	15,723	9,846	18,551	0,110	0,236
	22	7,582	4,487	8,811	0,052	0,107
11		0,000	16,113	16,113		
	9	-0,003	16,114	16,114	-0,000	0,461
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-44,131	-9,941	45,237	0,000	4,686
	13	-0,021	-10,274	10,274	0,000	0,132
	14	7,852	2,428	8,219	0,074	0,155
	15	17,852	6,968	19,164	0,217	0,428
	16	7,206	3,370	7,955	0,053	0,112
13		0,000	10,406	10,406		
	12	0,021	10,406	10,406	0,000	0,132
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-7,778	-2,273	8,103	0,074	0,155
	15	1,592	0,708	1,742	0,006	0,006
15		-8,200	-2,500	8,573		
	12	-17,634	-6,540	18,808	0,217	0,428
	14	-1,586	-0,702	1,734	0,006	0,006
	18	6,009	1,741	6,256	0,039	0,079
	23	5,004	2,963	5,815	0,031	0,063
16		-3,500	-1,800	3,936		
	12	-7,152	-3,257	7,859	0,053	0,112
	17	3,658	1,440	3,931	0,012	0,027
17		-9,000	-5,800	10,707		
	16	-3,646	-1,413	3,910	0,012	0,027
	10	-5,332	-4,355	6,885	0,014	0,037
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-5,970	-1,661	6,197	0,039	0,079
	19	2,779	0,787	2,888	0,005	0,010
19		-9,500	-3,400	10,090		
	18	-2,774	-0,777	2,881	0,005	0,010
	20	-6,703	-2,675	7,217	0,017	0,034
20		-2,200	-0,700	2,309		

	19	6,720	2,709	7,245	0,017	0,034
	10	-8,937	-3,389	9,558	0,081	0,180
21		-17,500	-11,200	20,777		
	10	-15,613	-9,609	18,333	0,110	0,236
	22	-1,849	-1,627	2,463	0,001	0,001
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-7,531	-4,380	8,712	0,052	0,107
	21	1,850	1,628	2,464	0,001	0,001
	24	5,643	2,795	6,297	0,043	0,067
23		-3,200	-1,600	3,578		
	15	-4,972	-2,900	5,756	0,031	0,063
	24	1,771	1,282	2,186	0,006	0,012
24		-8,700	-2,400	9,025		
	22	-5,601	-2,728	6,230	0,043	0,067
	23	-1,765	-1,270	2,174	0,006	0,012
	25	-1,322	1,604	2,079	0,008	0,014
25		0,000	0,000	0,000		
	24	1,330	-1,590	2,073	0,008	0,014
	26	3,520	2,372	4,244	0,044	0,066
	27	-4,866	-0,786	4,929	0,026	0,049
26		-3,500	-2,300	4,188		
	25	-3,476	-2,306	4,171	0,044	0,066
27		0,000	0,000	0,000		
	25	4,892	0,835	4,963	0,026	0,049
	28	-18,192	-4,152	18,660	-0,000	1,310
	29	6,178	1,675	6,401	0,086	0,162
	30	7,093	1,663	7,286	0,162	0,304
28		0,000	0,000	0,000		
	27	18,192	5,463	18,994	-0,000	1,310
	8	0,570	-2,003	2,082	0,000	-4,368
	6	-18,780	-3,510	19,106	0,060	-13,085
29		-2,400	-0,900	2,563		
	27	-6,093	-1,513	6,278	0,086	0,162
	30	3,716	0,601	3,764	0,034	0,063
30		-10,600	-1,900	10,769		
	27	-6,932	-1,359	7,064	0,162	0,304
	29	-3,683	-0,537	3,722	0,034	0,063
Total loss					17,594	22,233

### 6.7.2. Phương pháp Newton – Raphson

Một chương trình có tên **lfnnewton** được triển khai đối với lời giải phân bố công suất bằng phương pháp Newton – Raphson đối với hệ thống điện thực tế. Chương trình này phải được thực hiện trước bởi chương trình **lfybus**. Các chương trình **busout** và **lineflow** có thể được dùng để in ra lời giải phân bố công suất và kết quả dòng công suất nhánh với dạng thức giống như phương pháp Gauss–Seidel. Sau đây là mô tả ngắn gọn chương trình **lfnnewton**.

**lfnnewton:** chương trình này dùng để giải phân bố công suất bằng phương pháp Newton – Raphson và đòi hỏi các tập tin **busdata** và **linedata** như đã trình bày trong mục 6.7.1 – Chương trình được thiết kế để dùng trực tiếp công suất phụ tải và máy phát trong đơn vị MW và MVar, điện áp trong đơn vị tương đối, góc tính ra độ. Công suất phụ tải và máy phát được đổi ra đơn vị tương đối trên cơ bản  $S_{ch}$  MVA đã chọn. Chương trình còn dự trù cho trường hợp duy trì công suất kháng của nút có điều chỉnh điện áp trong khoảng các giới hạn đã qui định. Sự vi phạm giới hạn công suất kháng có thể xảy ra nếu điện áp được qui định quá cao hay quá thấp. Trong lần lặp thứ hai, công suất kháng tính toán ở nút máy phát được xem xét. Nếu đạt đến giới hạn, trị số điện áp được hiệu chỉnh mỗi bước là 0,5% cho đến khi hiệu chỉnh tối đa được  $\pm 5\%$  để đưa yêu cầu về công suất kháng về giới hạn đã định.

**Ví dụ 6.13:** Tìm lời giải phân bố công suất đối với mạng điện 30 nút IEEE bằng phương pháp Newton – Raphson. Chương trình của ví dụ này có tên CHP6EX11.

#### Giải

Dữ liệu yêu cầu như trong ví dụ 6.12 với các lệnh sau:

```
clear % clears all variables from workspace
basemava = 100 ; accuracy = 0.001 ; maxiter = 12 ;
busdata = [ như trong ví dụ 6.12 ] ;
linedata = [ như trong ví dụ 6.12 ] ;
lfybus % forms the bus admittance matrix
lfnnewton % power flow solution by Newton – Raphson method
busout % prints the power flow solution on the screen
lineflow % computes and displays the line flow and losses
```

Kết quả như của lfnnewton như sau:

## PowerFlow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power mismatch = 7.54898e-07

No. of iterations = 4

Bus	Voltage	Angle	---Load---		---Generation---		Injected
No.	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1,060	0,000	0,000	0,000	260,998	-17,021	0,00
2	1,043	-5,497	21,700	12,700	40,000	48,822	0,00
3	1,022	-8,004	2,400	1,200	0,000	0,000	0,00
4	1,013	-9,661	7,600	1,600	0,000	0,000	0,00
5	1,010	-14,381	94,200	19,000	0,000	35,975	0,00
6	1,012	-11,398	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
7	1,003	-13,150	22,800	10,900	0,000	0,000	0,00
8	1,010	-12,115	30,000	30,000	0,000	30,826	0,00
9	1,051	-14,434	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
10	1,044	-16,024	5,800	2,000	0,000	0,000	19,00
11	1,082	-14,434	0,000	0,000	0,000	16,119	0,00
12	1,057	-15,302	11,200	7,500	0,000	0,000	0,00
13	1,071	-15,302	0,000	0,000	0,000	10,423	0,00
14	1,042	-16,191	6,200	1,600	0,000	0,000	0,00
15	1,038	-16,278	8,200	2,500	0,000	0,000	0,00
16	1,045	-15,880	3,500	1,800	0,000	0,000	0,00
17	1,039	-16,188	9,000	5,800	0,000	0,000	0,00
18	1,028	-16,884	3,200	0,900	0,000	0,000	0,00
19	1,025	-17,052	9,500	3,400	0,000	0,000	0,00
20	1,029	-16,852	2,200	0,700	0,000	0,000	0,00
21	1,032	-16,468	17,500	11,200	0,000	0,000	0,00
22	1,033	-16,455	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
23	1,027	-16,662	3,200	1,600	0,000	0,000	0,00
24	1,022	-16,830	8,700	6,700	0,000	0,000	4,30
25	1,019	-16,424	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
26	1,001	-16,842	3,500	2,300	0,000	0,000	0,00
27	1,026	-15,912	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
28	1,011	-12,057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
29	1,006	-17,136	2,400	0,900	0,000	0,000	0,00
30	0,995	-18,015	10,600	1,900	0,000	0,000	0,00
Total			283,400	126,200	300,998	125,144	23,30

Lệnh **lineflow** cho cùng kết quả như trong ví dụ 6.12.

### 6.7.3. Phương pháp lập nhanh

Một chương trình có tên **decouple** được dùng để giải phân bố công suất bằng phương pháp phân lập nhanh, chương trình cũng yêu cầu các tập tin số liệu **busdata**, **linedata**. Chương trình này được thực hiện trước bởi chương trình **Ifybus**. Các chương trình **busout** và **lineflow** được dùng để in kết quả phân bố công suất và dòng công suất nhánh với cùng dạng thức như trong Gauss–Seidel.

**Ví dụ 6.14:** Tìm lời giải phân bố công suất đối với mạng điện 30 nút IEEE bằng phương pháp phân lập nhanh. Chương trình viết cho ví dụ này có tên CHP6EX13.

#### Giải

Dữ liệu yêu cầu như trong ví dụ 6.12 với các lệnh sau:

```
clear % clears all variables from workspace
basemva = 100 ; accuracy = 0.001 ; maxiter = 20 ;
busdata = [ như trong ví dụ 6.12 ] ;
linedata = [ như trong ví dụ 6.12 ] ;
Ifybus % forms the bus admittance matrix
decouple % power flow solution by fast decoupled method
busout % prints the power flow solution on the screen
lineflow % computes and displays the line flow and losses
```

Kết quả như của **decouple** như sau:

Power Flow Solution by Fast Decoupled Method

Maximum Powe mismatch = 0.000919582

No. of iteration = 15

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1,060	0,000	0,000	0,000	260,998	-17,021	0,00
2	1,043	-5,497	21,700	12,700	40,000	48,822	0,00
3	1,022	-8,004	2,400	1,200	0,000	0,000	0,00
4	1,013	-9,662	7,600	1,600	0,000	0,000	0,00
5	1,010	-14,381	94,200	19,000	0,000	35,975	0,00
6	1,012	-11,398	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
7	1,003	-13,149	22,800	10,900	0,000	0,000	0,00
8	1,010	-12,115	30,000	30,000	0,000	30,828	0,00
9	1,051	-14,434	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
10	1,044	-16,024	5,800	2,000	0,000	0,000	19,00
11	1,082	-14,434	0,000	0,000	0,000	16,120	0,00
12	1,057	-15,303	11,200	7,500	0,000	0,000	0,00
13	1,071	-15,303	0,000	0,000	0,000	10,421	0,00
14	1,042	-16,198	6,200	1,600	0,000	0,000	0,00
15	1,038	-16,276	8,200	2,500	0,000	0,000	0,00
16	1,045	-15,881	3,500	1,800	0,000	0,000	0,00
17	1,039	-16,188	9,000	5,800	0,000	0,000	0,00
18	1,028	-16,882	3,200	0,900	0,000	0,000	0,00
19	1,025	-17,051	9,500	3,400	0,000	0,000	0,00
20	1,029	-16,852	2,200	0,700	0,000	0,000	0,00
21	1,032	-16,468	17,500	11,200	0,000	0,000	0,00
22	1,033	-16,454	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
23	1,027	-16,661	3,200	1,600	0,000	0,000	0,00
24	1,022	-16,829	8,700	6,700	0,000	0,000	4,30
25	1,019	-16,423	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
26	1,001	-16,840	3,500	2,300	0,000	0,000	0,00
27	1,026	-15,912	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
28	1,011	-12,057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
29	1,006	-17,136	2,400	0,900	0,000	0,000	0,00
30	0,995	-18,014	10,600	1,900	0,000	0,000	0,00
Total			283,400	126,200	300,998	125,145	23,30

Lệnh **lineflow** cho cùng kết quả như trong Ví dụ 6.12

## 6.8 CHƯƠNG TRÌNH THÀNH LẬP MA TRẬN TỔNG TRỞ THANH CÁI

Hai chương trình được triển khai để thành lập ma trận tổng trở thanh cái ZBUS.

- Chương trình có tên **Zbus = zbuild (zdata)** trong đó **zdata** là ma trận số liệu  $e \times 4$  chứa số liệu tổng trở của mạng điện có  $e$  phần tử. Cột 1 và 2 là số thứ tự nút ở hai đầu của phần tử và cột 3 và 4 lần lượt chứa điện trở và cảm kháng trong đơn vị tương đối. Nhánh điện kháng máy phát có một đầu đánh số 0, đó là điện kháng siêu quá độ, quá độ hay đồng bộ. Ngoài ra các tổng trở rẽ như tụ điện, tổng trở phụ tải đến trung tính (nút 0) có thể kể vào ma trận, trong tính toán ngắn mạch thường bỏ qua các tổng trở ấy.

- Một hàm khác dùng để thành lập ma trận tổng trở thanh cái là **zbus = zbuilpi (linedata, gendata)**, hàm này tương thích với chương trình phân bố công suất. Đối số thứ nhất **linedata** bao gồm các dữ liệu dùng cho phân bố công suất. Điện kháng máy phát không được kể vào trong **linedata** trong chương trình phân bố công suất và phải được khai báo trong đối số thứ hai **gendata**. **Gendata** là một ma trận  $ng \times 4$  trong đó mỗi hàng chứa nút 0, nút đầu cực máy phát, điện trở và điện kháng, ng là số máy phát.

- Ngoài ra, chương trình **symfault (zdata, Zbus, V)** được triển khai để khảo sát ngắn mạch ba pha đối xứng. Chương trình yêu cầu dữ liệu **zdata** và ma trận **Zbus**, đối số thứ ba **V** không bắt buộc.

Việc dùng các chương trình trên được minh họa qua các ví dụ sau:

### Ví dụ 6.15

Dùng hàm **Zbus = zbuild (zdata)** để thành lập ma trận tổng trở thanh cái của mạng điện H.6.11. Dùng chương trình CHP9EX5.

Cấu hình mạng điện bao gồm các điện trở và cảm kháng được qui định và hàm **zbuild** được dùng như sau:

```
zdata = [ 0  1  0  0.2
          0  2  0  0.4
          1  2  0  0.8
          1  3  0  0.4
          2  3  0  0.4] ;
```

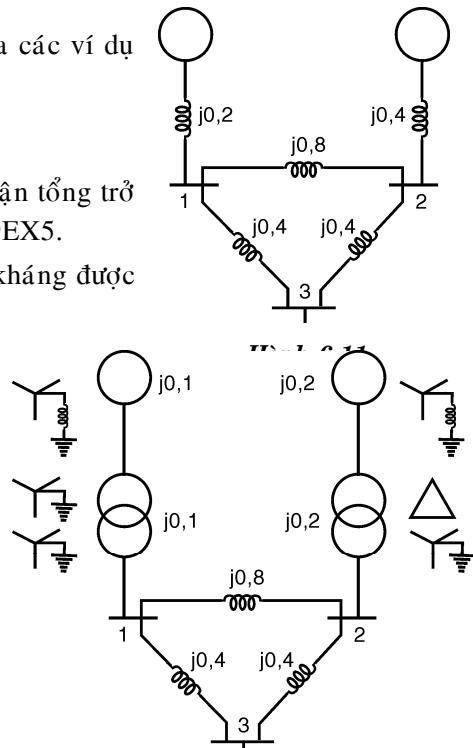
**Zbus = zbuild (zdata)**

```
Zbus =
      0 + 0.16i  0 + 0.08i  0 + 0.12i
      0 + 0.08i  0 + 0.24i  0 + 0.16i
      0 + 0.12i  0 + 0.16i  0 + 0.34i
```

### Ví dụ 6.16

Ngắn mạch ba pha với tổng trở ngắn mạch  $Z_f = j0,16$  đvtđ xảy ra tại thanh cái 3 trong mạng điện H.6.12

Dùng hàm **symfault** để tính dòng điện ngắn mạch, điện áp các thanh cái và dòng điện đường dây khi sự cố xảy ra. Chương trình có tên CHP9EX6.



Hình 6.12

**Giải**

Trong ví dụ này tất cả điện dung và phụ tải đều bỏ qua và tất cả điện áp nút trước khi sự cố bằng 1 đơn vị. Sơ đồ tổng trở trong H.6.13 được mô tả bằng biến zdata và dùng lệnh sau đây:

```
zdata = [ 0   1   0   0.2
          0   2   0   0.4
          1   2   0   0.8
          1   3   0   0.4
          2   3   0   0.4] ;
```

Zbus = zbuild(zdata)

Kết quả là:

Zbus =

$0 + 0.1600i$	$0 + 0.0800i$	$0 + 0.1200i$
$0 + 0.0800i$	$0 + 0.2400i$	$0 + 0.1600i$
$0 + 0.1200i$	$0 + 0.1600i$	$0 + 0.3400i$

Enter fault bus  $N_0 \rightarrow 3$

Enter fault impedance  $Z_f = R + j*X$  in complex form (for bolted fault enter 0)  $Z_f = j*0.16$

Balanced three-phase fault at bus No. 3

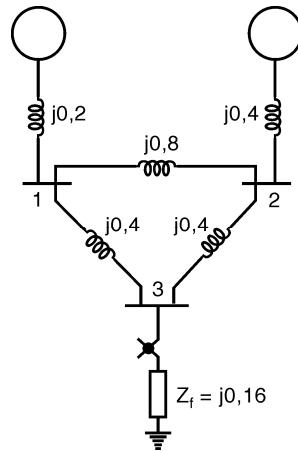
Total fault current = 2.000 per unit

Bus voltage during the fault in per unit

Bus	Voltage	Angle
No.	magnitude	degree
1	0.7600	0.000
2	0.6800	0.000
3	0.3200	0.000

Line currents for fault at bus No. 3

from	to	Current	Angle
G	1	1.2000	-90.000
1	2	0.1000	-90.000
1	3	1.1000	-90.000
G	2	0.8000	-90.000
2	3	0.9000	-90.000
3	F	2.000	-90.000



**Hình 6.13**

**Ví dụ 6.17:** Mạng điện 11 nút có sơ đồ như H.6.14,

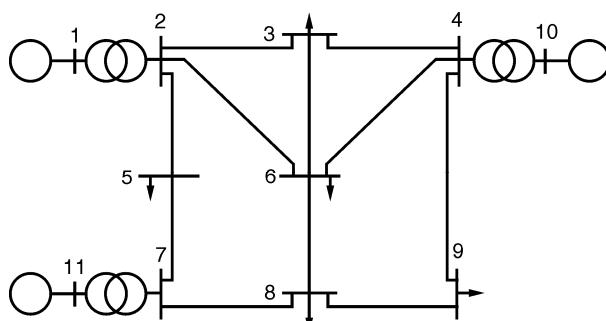
Điện kháng quá độ của các máy phát trên cơ bản 100 MVA cho dưới đây:

Điện kháng máy phát, đvtđ		
Máy phát	R <sub>a</sub>	X' <sub>d</sub>
1	0	0,20
10	0	0,15
11	0	0,25

Số liệu đường dây và máy biến áp bao gồm điện trở và cảm kháng trong đơn vị tương đối và một nửa của dung dẫn đường dây trong đơn vị tương đối trên cơ bản 100 MVA được cho trong bảng dưới đây:

Số liệu đường dây và máy biến áp

Thanh cái	Thanh cái	R	X	1/2 B
Số	Số	đvtđ	đvtđ	đvtđ
1	2	0.00	0.06	0.0000
2	3	0.08	0.30	0.0004
2	5	0.04	0.15	0.0002
2	6	0.12	0.45	0.0005
3	4	0.10	0.40	0.0005
3	6	0.04	0.40	0.0005
4	6	0.15	0.60	0.0008
4	9	0.18	0.70	0.0009
4	10	0.00	0.08	0.0000
5	7	0.05	0.43	0.0003
6	8	0.06	0.48	0.0000
7	8	0.06	0.35	0.0004
7	11	0.00	0.10	0.0000
8	9	0.052	0.48	0.0000



Hình 6.14

Bỏ qua nhánh rẽ điện dung và phụ tải, dùng hàm **zbuild(zdata)** để có được ma trận tổng trở thanh cái. Giả thiết điện áp ở tất cả các nút trước sự cố là  $1,0 \angle 0^0$  dùng hàm **symfault** để tính dòng điện ngắn mạch, điện áp nút, dòng điện đường dây đối với ngắn mạch kim loại tại nút 8.

Khi dùng hàm **zbuild**, điện kháng máy phát phải được kể đến trong số liệu tổng trở với nút 0 làm nút chuẩn. Số liệu về tổng trở và các lệnh yêu cầu như sau:

Ma trận tổng trở thanh cáp được hiển thị trên màn hình và kết quả ngắn mạch ba pha như sau:

%	Bus	Bus	R	X
%	No.	No.	pu	pu
zdata =	[0	1	0,00	0,20
	0	10	0,00	0,15
	0	11	0,00	0,25
	1	2	0,00	0,06
	2	3	0,08	0,30
	2	5	0,04	0,15
	2	6	0,12	0,45
	3	4	0,10	0,40
	3	6	0,04	0,40
	4	6	0,15	0,60
	4	9	0,18	0,70
	4	10	0,00	0,08
	5	7	0,05	0,43
	6	8	0,06	0,48
	7	8	0,06	0,35
	7	11	0,00	0,10
	8	9	0,052	0,48

```
Zbus = zbuild(zdata)
```

```
symfault(zdata, Zbus)
```

Ma trận tổng trở thanh cáp được hiển thị trên màn hình và kết quả ngắn mạch ba pha như sau:

Enter Faulted Bus No. -> 8

Enter Fault Impedance  $Z_f = R + j * X$  in

complex form (for bolted fault enter 0).  $Z_f = 0$

Balanced three-phase fault at bus No. 8

Total fault current = 3.3571 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus No.	Voltage Magnitude	Angle Degree
1	0,8876	-0,9467
2	0,8350	-2,0943
3	0,7321	-2,5619
4	0,7866	-3,1798
5	0,5148	-8,3043
6	0,5792	-2,4214
7	0,5179	-8,2563
8	0,0000	0,0000
9	0,3156	0,9877
10	0,8785	-1,7237
11	0,6631	-5,7789

## Line currents for fault at bus No. 8

From Bus	To Bus	Current Magnitude	Angle Degree
1	2	0,9219	-73,3472
2	3	0,3321	-73,7856
2	6	0,5494	-76,3804
3	6	0,3804	-87,3283
4	3	0,1336	-87,2217
4	6	0,3357	-81,1554
4	9	0,6537	-81,4818
6	8	1,1974	-85,2964
7	5	0,0073	-82,5471
7	8	1,4585	-88,5207
8	F	3,3571	-85,4214
9	8	0,6538	-82,8293
10	4	1,1787	-79,4854
11	7	1,4733	-87,0395

**Ví dụ 6.18**

Trong ví dụ 6.17 nếu xét điện dung đường dây và bỏ qua phụ tải, dùng hàm **zbuildpi** để thành lập Zbus. Giả thiết trước khi sự cố, điện áp ở tất cả các nút bằng  $1\angle0^0$ , dùng hàm **symfault** tính dòng điện ngắn mạch, điện áp nút và dòng điện đường dây khi ngắn mạch kim loại ở nút 8. Chương trình có tên CHP9EX8.

Hàm **zbuildpi (linedata, gendata)** được thiết kế để tương thích với chương trình phân bố công suất. Đối số thứ nhất **linedata** chính là dữ liệu yêu cầu đối với chương trình phân bố công suất. Điện kháng máy phát không được bao gồm trong **linedata** và phải được qui định riêng bởi **gendata**. Trong ví dụ này, phụ tải được bỏ qua. Số liệu về tổng trở và các lệnh yêu cầu như sau:

%	Bus No.	Bus No.	R pu	X pu	1/2B pu
linedata =	[1	2	0,00	0,06	0,0000
	2	3	0,08	0,30	0,0004
	2	5	0,04	0,15	0,0002
	2	6	0,12	0,45	0,0005
	3	4	0,10	0,40	0,0005
	3	6	0,04	0,40	0,0005
	4	6	0,15	0,60	0,0008
	4	9	0,18	0,70	0,0009
	4	10	0,00	0,08	0,0000
	5	7	0,05	0,43	0,0003
	6	8	0,06	0,48	0,0000
	7	8	0,06	0,35	0,0004
	7	11	0,00	0,10	0,0000
	8	9	0,052	0,48	0,0000]
gendata =	Gen [1	Ra	Xd'		
	10	0	0,20		
	11	0	0,15		
			0,25];		

Zbus = zbuildpi (linedata,gendata)

symfault (linedata, Zbus)

Ma trận tổng trở thanh cáp được hiển thị trên màn hình và kết quả ngắn mạch ba pha như sau:

Enter Faulted Bus No. -> 8

Enter Fault Impedance  $Z_f = R + j * X$  in

complex form (for bolted fault enter 0).  $Z_f = 0$

Balanced three-phase fault at bus No. 8

Total fault current = 3.3301 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus No.	Voltage Magnitude	Angle Degree
1	0,8080	-1,8188°
2	0,7506	-2,5456
3	06879	-1,5986
4	0,7489	-2,4915
5	0,7006	-2,3774
6	0,5451	-1,0185
7	0,5617	-3,8137
8	0,0000	0,0000
9	0,3005	2,4564
10	0,8361	-1,4553
11	0,6866	-2,2276

Line currents for fault at bus No. 8

From Bus	To Bus	Current Magnitude	Angle Degree
1	2	0,9704	-82,4068
2	3	0,2056	-87,7898
2	5	0,3230	-79,9386
2	6	0,4429	-81,6055
3	6	0,3556	-88,0454
4	3	0,1505	-88,2647
4	6	0,3308	-82,2823
4	9	0,6232	-81,3096
5	7	0,3228	-79,9261
6	8	11269	-83,8935
7	8	1,5818	-84,0781
8	F	3,3301	-83,5110
9	8	0,6224	-81,3606
10	4	1,1038	-82,6316
11	7	1,2604	-85,1416

## 6.9 CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỔI XỨNG

Ba hàm được triển khai để phân tích ngắn mạch không đổi xứng. Những hàm này là **lgfault(zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)**, **llfault (zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)** và **dlgfault (zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)**.

**lgfault** được thiết kế để phân tích ngắn mạch một pha chạm đất, **llfault** ngắn mạch hai pha và **dlgfault** ngắn mạch hai pha chạm đất.

**lgfault** và **dlgfault** yêu cầu ma trận tổng trở thứ tự thuận, nghịch và không: **Zbus1**, **Zbus2**, **Zbus0** và **llfault** yêu cầu ma trận tổng trở thứ tự thuận và nghịch. Đối số cuối cùng **V** không bắt buộc. Nếu không dùng đối số **V**, chương trình sẽ cho điện áp tất cả các nút trước khi sự cố xảy ra bằng  $1,0 \angle 0^\circ$ . Nếu kể thêm biến **V**, điện áp trước sự cố phải được định trong dãy **V** chứa số thứ tự nút và điện áp phức. Vectơ **V** được tự động sinh ra khi thực thi bất cứ chương trình phân bố công suất nào.

Ma trận tổng trở thanh cái có được từ lệnh **Zbus0 = zbuild(zdata0)** và **Zbus1 = zbuild(zdata1)**. Đối số **zdata1** chứa tổng trở thứ tự thuận, **zdata0** chứa tổng trở thứ tự không. Các đối số **zdata1**, **zdata2**, **zdata0** là các ma trận  $e \times 4$  chứa các số liệu của mạng điện có  $e$  phần tử. Các cột 1 và 2 chứa số thứ tự nút ở hai đầu của phần tử và các cột 3 và 4 lần lượt chứa điện trở và cảm kháng của phần tử trong đơn vị tương đối. Các tổng trở máy phát nối từ nút 0 đến nút máy phát, chúng có thể là điện kháng siêu quá độ, quá độ hay đồng bộ. Ngoài ra, các nhánh tổng trở rẽ như điện dung và tổng trở phụ tải đến nút trung tính (nút 0) có thể được kể vào trong ma trận.

Mạng điện thứ tự nghịch có cùng cấu trúc như mạng thứ tự thuận. Tổng trở thứ tự nghịch của đường dây và máy biến áp bằng với tổng trở thứ tự thuận, tuy vậy điện kháng thứ tự nghịch của máy phát khác với điện kháng thứ tự thuận. Mạng điện thứ tự không có cấu trúc khác với mạng thứ tự thuận và được xây dựng phụ thuộc vào cách đấu dây máy biến áp ngoại trừ cách mắc  $Y-Y$  nối đất phía sơ cấp và thứ cấp, các cách mắc khác đều tạo ra sự cách ly giữa sơ cấp và thứ cấp đối với mạng thứ tự không. Trong trường hợp đó, các cột điện trở và cảm kháng trong số liệu thứ tự không phải điền vào giá trị inf. Đối với cách mắc  $Y$  nối đất /  $\Delta$  phải nhập thêm nhánh biểu diễn tổng trở máy biến áp nối từ nút không với nút phía  $Y$  nối đất. Trong trường hợp trung tính nối đất qua tổng trở  $Z_n$  thì một tổng trở  $3Z_n$  phải được cộng thêm vào điện kháng của máy biến áp. Để ý rằng có sự lệch pha  $30^\circ$  qua máy biến áp  $Y-\Delta$  hay  $\Delta-Y$ .

Theo qui ước của ASA, điện áp thứ tự thuận vượt sớm  $30^\circ$  khi đi từ phía điện áp thấp về phía điện áp cao. Tương tự, điện áp thứ tự nghịch trễ đi  $30^\circ$  khi đi từ phía điện áp thấp về phía điện áp cao. Sự dịch pha qua máy biến áp  $\Delta-Y$  không có tác dụng trên điện áp và dòng điện đường dây trong phần của hệ thống ở đó sự cố xảy ra. Tuy vậy, trên phia kia của máy biến áp  $\Delta-Y$ , các điện áp và dòng điện thứ tự phải được dịch pha trước khi biến đổi thành các đại lượng pha. Chương trình ngắn mạch không đổi xứng ở đây bỏ qua sự dịch pha  $30^\circ$  qua máy biến áp  $\Delta-Y$ .

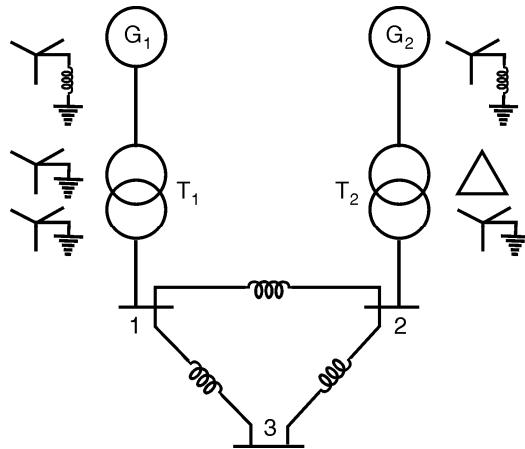
Một hàm để thành lập ma trận tổng trở thanh cái là hàm **Zbus = zbuildpi(linedata,gendata)** tương thích với chương trình phân bố công suất. Đối số thứ nhất **linedata** chính là dữ liệu yêu cầu đối với lời giải phân bố công suất. Cột 1 và 2 là số thứ tự nút cột 3 đến cột 5 bao gồm điện trở, cảm kháng và một nửa dung dẫn đường dây trong đơn vị tương đối trên cơ bản MVA đã định. Cột cuối là đầu phân áp chỉnh định đối với máy biến áp và bằng

1 đổi với đường dây. Điện kháng máy phát không bao gồm trong **linedata** đổi với chương trình phân bổ công suất và phải được qui định riêng trong đối số gendata. **gendata** là ma trận  $e_g \times 4$  trong đó mỗi hàng chứa nút 0, nút máy phát, điện trở và điện kháng. Chương trình nhắc nhở người sử dụng nhập vào số thứ tự nút xảy ra ngắn mạch và tổng trở sự cố  $Z_f$ , kết quả chương trình là dòng điện ngắn mạch, điện áp nút và dòng điện đường dây khi sự cố xảy ra. Việc dùng các hàm nói trên được minh họa qua các ví dụ sau đây.

**Ví dụ 6.19:** Dùng hàm **lgfault**, **llfault** và **dlgfault** để tính dòng điện ngắn mạch, điện áp nút và dòng điện đường dây trong mạng điện H.6.15 đổi với các sự cố sau đây:

- (a) Ngắn mạch ba pha đối xứng ở nút 3 qua tổng trở ngắn mạch  $Z_f = j0,1$  đvtđ.
- (b) Ngắn mạch một pha chạm đất ở nút 3 qua tổng trở ngắn mạch  $Z_f = j0,1$  đvtđ.
- (c) Ngắn mạch hai pha ở nút 3 qua tổng trở ngắn mạch  $Z_f = j0,1$  đvtđ.
- (d) Ngắn mạch hai pha chạm đất ở nút 3 qua tổng trở ngắn mạch  $Z_f = j0,1$  đvtđ.

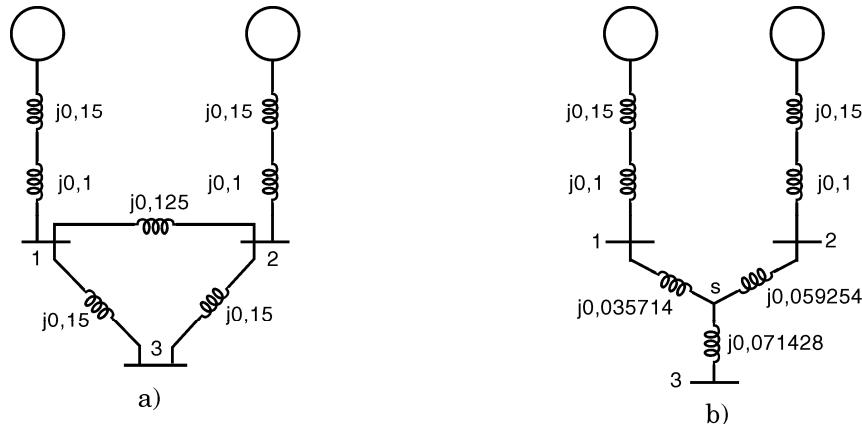
Trung tính mỗi máy phát được nối đất qua cuộn kháng hạn dòng ( $0,25/3$ ) đơn vị tương đối trên cơ bản 100 MVA. Tên chương trình: CHP10EX7.



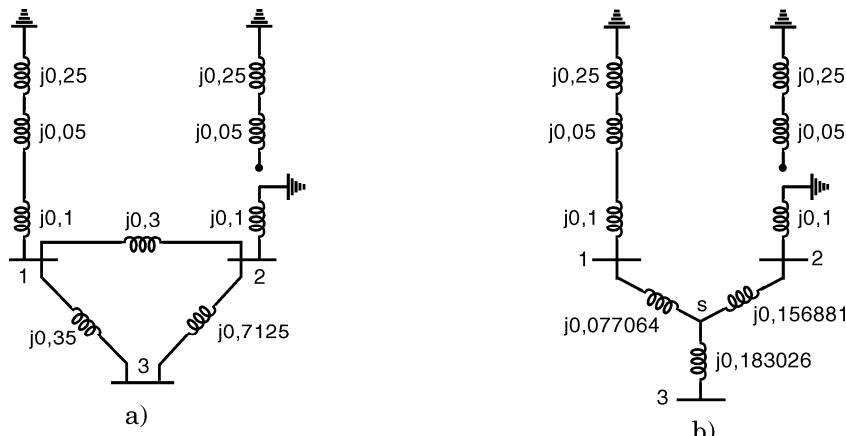
Hình 6.15

Số liệu của các phần tử

Phần tử	Công suất cơ bản (MVA)	Điện áp định mức	$x^1$	$x^2$	$x^0$
G <sub>1</sub>	100	20 kV	0,15	0,15	0,05
G <sub>2</sub>	100	20 kV	0,15	0,15	0,05
T <sub>1</sub>	100	20/220 kV	0,10	0,10	0,10
T <sub>2</sub>	100	20/220 kV	0,10	0,10	0,10
L <sub>12</sub>	100	220 kV	0,125	0,125	0,30
L <sub>13</sub>	100	220 kV	0,15	0,15	0,35
L <sub>23</sub>	100	220 kV	0,25	0,25	0,7125



Hình 6.16: Sơ đồ thay thế thứ tự thuận



Hình 6.17: Sơ đồ thay thế thứ tự không

Trong ví dụ này, tất cả điện dung đường dây và phụ tải được bỏ qua và điện áp tất cả các nút trước sự cố giả thiết bằng 1 đvtđ. Sơ đồ thứ tự thuận trong H.6.16 được mô tả bởi biến zdata1 và sơ đồ thứ tự không trong H.6.17 được mô tả bởi biến data0. Dữ liệu về mạng thứ tự nghịch được giả thiết giống như mạng thứ tự thuận. Sơ đồ H.6.16b và H.6.17b được biến đổi qua phép biến đổi  $\Delta$ –Y dùng cho tinh tay. Dùng các lệnh sau:

zdata 1 =	[0 0 1 1 2	1 2 2 3 3	0 0 0 0 0	0,25 0,25 0,125 0,15 0,25];
zdata 0 =	[0 0 1 1 2	1 2 2 3 3	0 0 0 0 0	0,40 0,10 0,30 0,35 0,7125];

```

zdata2 = zdata1;
Zbus1 = zbuild (zdata1)
Zbus0 = zbuild (zdata0)
Zbus2 = zbus1;
symfault (zdata1, Zbus1)
lgfault (zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2)
lfault (zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2)
dlgfault (zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2)

```

Kết quả là:

```

Three-phase balanced fault analysis
Enter Faulted Bus No. -> 3
Enter Fault Impedance Zf = R + j * X in
Complex form (for bolted fault enter 0) . Zf = j * 0.
Balanced three-phase fault at bus No . 3
Total fault current = 3.1250 per unit
Bus Voltages during fault in per unit

```

Bus No.	Voltage Magnitude	Angle Degree
1	0,5938	0,0000
2	0,6250	0,0000
3	0,3125	0,0000

Line currents for fault at bus No . 3

Dòng điện đường dây khi sự cố tại nút 3

For Bus	To Bus	Current Magnitude	Angle Degree
G	1	1,6250	-90,0000
1	3	1,8750	-90,0000
G	2	1,5000	-90,0000
2	1	0,2500	-90,0000
2	3	1,2500	-90,0000
3	F	3,1250	-90,0000

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote -> 'n'

Line-to-ground fault analysis

Enter Faulted Bus No. -> 3

Enter Fault Impedance Zf = R + j \* X in

complex form (for bolted fault enter 0) . Zf = j \*0.1

Single line to-ground fault at bus No. 3

Total fault current = 2. 7523 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus No.	Phase a	Phase b	Phase c
1	0,6330	1,0046	1,0046
2	0,7202	0,9757	0,9757
3	0,2752	1,0647	1,0647

## Line currents for fault at bus No. 3

From Bus	To Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	3	1,6514	0,0000	0,0000
2	1	0,3761	0,1560	0,1560
2	3	1,1009	0,0000	0,0000
3	F	2,7523	0,0000	0,0000

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote -> 'n'

Line-to-line fault analysis

Enter Faulted Bus No. -> 3

Enter Fault Impedance  $Z_f = R + j * X$  in

complex form (for bolted fault enter 0) .  $Z_f = j * 0.1$

Line-to-line fault at bus No. 3

Total fault current = 3,2075 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus No.	Phase a	Voltage Magintude Phase b	Voltage Magintude Phase c
1	1,0000	0,6720	0,6720
2	1,0000	0,6939	0,6939
3	1,0000	0,5251	0,5251

## Line currents for fault at bus No. 3

From Bus	To Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	3	0,0000	1,9245	1,9245
2	1	0,0000	0,2566	0,2566
2	3	0,0000	1,2830	1,2830
3	F	0,0000	3,2075	3,2075

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote -> 'n'

Double line-to-ground fault analysis

Enter Faulted Bus No. -> 3

Enter Fault Impedance  $Z_f = R + j * X$  in

complex form (for bolted fault enter 0) .  $Z_f = j * 0.1$

Double line to-ground fault at bus No. 3

Total fault current = 1,9737 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus No.	Phase a	Voltage Magintude Phase b	Voltage Magintude Phase c
1	1,0066	0,5088	0,5088
2	0,9638	0,5740	0,5740
3	1,0855	0,1974	0,1974

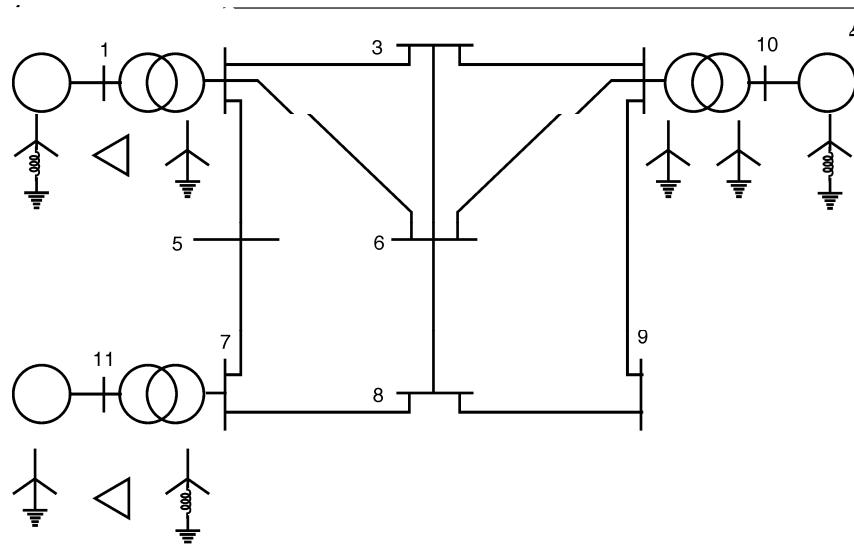
Line currents for fault at bus No. 3

From	To	Line Current Magnitude		
Bus	Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	3	0,0000	2,4350	2,4350
2	1	0,1118	0,3682	0,3682
2	3	0,0000	1,6233	1,6233
3	F	0,0000	4,0583	4,0583

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote  $\rightarrow$  'n'**Ví dụ 6.20**

Mạng điện 11 nút có sơ đồ như H.6.18.

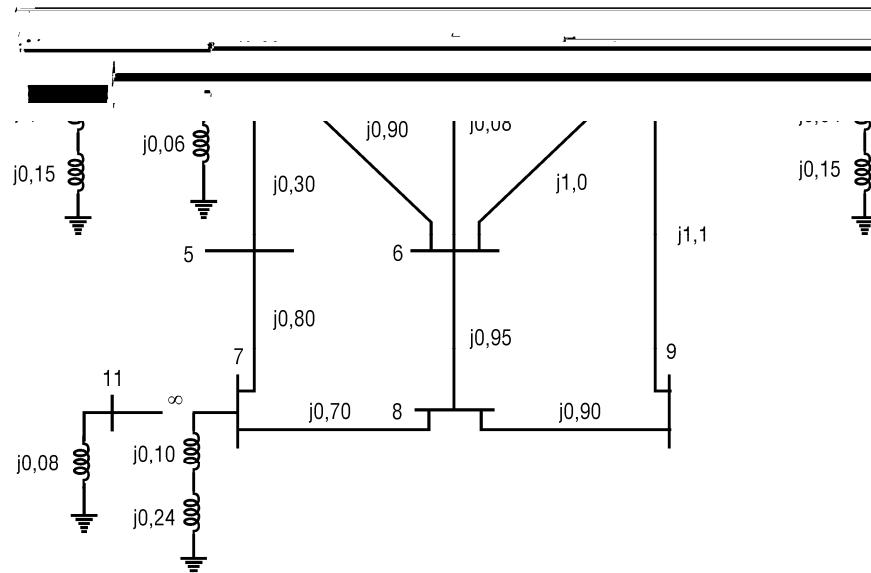
**Hình 6.18:** Sơ đồ một sợi (ví dụ 6.20)

Điện kháng quá độ máy phát dvtđ			
Máy phát số	X <sup>1</sup>	X <sup>0</sup>	X <sub>n</sub>
1	0,20	0,06	0,05
10	0,15	0,04	0,05
11	0,25	0,08	0,00

*Số liệu đường dây và máy biến áp*

Nút số	Nút số	X <sup>1</sup> dvtđ	X <sup>0</sup> dvtđ
1	2	0,06	0,06
2	3	0,30	0,60
2	5	0,15	0,30
2	6	0,45	0,90
3	4	0,40	0,80
3	6	0,40	0,80
4	6	0,60	1,00
4	9	0,70	1,10
4	10	0,08	0,08
5	7	0,43	0,80
6	8	0,48	0,95
7	8	0,35	0,70
7	11	0,10	0,10
8	9	0,48	0,90

Sơ đồ thay thế thứ tự không được xây dựng tùy theo cách đấu dây máy biến áp và được trình bày trong H.6.19.



zdata1 =	[0	1	0,00	0,20
	0	10	0,00	0,15
	0	11	0,00	0,25
	1	2	0,00	0,06
	2	3	0,00	0,30
	2	5	0,00	0,15
	2	6	0,00	0,45
	3	4	0,00	0,40
	3	6	0,00	0,40
	4	6	0,00	0,60
	4	9	0,00	0,70
	4	10	0,00	0,08
	5	7	0,00	0,43
	6	8	0,00	0,48
	7	8	0,00	0,35
	7	11	0,00	0,10
	8	9	0,00	0,48];
zdata0 =	[0	1	0,00	0,06 + 3 * 0,05
	0	10	0,00	0,04 + 3 * 0,05
	0	11	0,00	0,08
	0	2	0,00	0,06
	0	7	0,00	0,10 + 3 * 08
	1	2	inf	inf
	2	3	0,00	0,60
	2	5	0,00	0,30
	2	6	0,00	0,80
	3	4	0,00	0,80
	3	6	0,00	0,80
	4	6	0,00	1,00
	4	9	0,00	0,00
	4	10	0,00	0,08
	5	7	0,00	0,80
	6	8	0,00	0,95
	7	8	0,00	0,70
	7	11	inf	inf
	8	9	0,00	0,90];

```

zdata2 = zdata1;
Zbus0 = zbuild (zdata0)
Zbus1 = zbuild (zdata1)
Zbus2 = Zbus1;
lgfault (zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2)
llfault (zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2)
dlgfault (zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2)

```

Kết quả là:

```

Line-to-ground fault analysis
Enter Faulted Bus No. -> 8
Enter Fault Impedance Zf = R + j * X in
complex form (for bolted fault enter 0). Zf = 0
Single line to-ground fault at bus No. 8
Total fault current = 2,8135 per unit
Bus Voltages during the fault in per unit

```

Bus	Voltage Magnitude		
No.	Phase a	Phase b	Phase c
1	0,8970	0,9738	0,9738
2	08377	0,9756	0,9756
3	0,7451	0,9954	0,9954
4	0,7731	1,0063	1,0063
5	0,7824	0,9823	0,9823
6	0,5936	1,0123	1,0123
7	0,6295	0,9995	0,9995
8	0,0000	1,0898	1,0898
9	0,3299	1,0453	1,0453
10	0,8612	0,9995	0,9995
11	0,8231	09588	0,9588

Line currents for fault at bus No. 8

From	To	Line Current Magintude		
Bus	Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	2	0,5464	0,2732	0,2732
2	3	0,2113	0,0407	0,0407
2	6	0,3966	0,0207	0,0207
3	6	0,2877	0,0073	0,0073
4	3	0,0764	0,0479	0,0479
4	6	0,2540	0,0255	0,0255
4	9	0,5311	0,0023	0,0023
5	2	0,2753	0,0023	0,0023
6	8	0,9383	0,0121	0,0121
7	5	0,2753	0,0023	0,0023
7	8	1,3441	0,0098	0,0098
8	F	2,8135	0,0000	0,0000
9	8	0,5311	0,0023	0,0023
10	4	0,8615	0,0711	0,0711
11	7	0,7075	0,3538	0,3538

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote -&gt; 'n'

Line-to-line fault analysis

Enter Faulted Bus No. -&gt; 8

Enter Fault Impedance  $Z_f = R + j * X$  incomplex form (for bolted fault enter 0) .  $Z_f = 0$ 

Line-to-line fault at bus No. 8

Total fault current = 2,9060 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus	Voltage Magnitude		
No.	Phase a	Phase b	Phase c
1	1,0000	0,8576	0,8576
2	1,0000	0,8168	0,8168
3	1,0000	0,7757	0,7757
4	1,0000	0,8157	0,8157
5	1,0000	0,7838	0,7838
6	1,0000	0,6871	0,6871
7	1,0000	0,6947	0,6947
8	1,0000	0,5000	0,5000
9	1,0000	0,5646	0,5646
10	1,0000	0,8778	0,8778
11	1,0000	0,7749	0,7749

Line currents for fault at bus No. 8

From Bus	To Bus	Phase a	Phase b	Line Current Magintude	Phase c
1	2	0,0000	0,8465	0,8465	
2	3	0,0000	0,1762	0,1762	
2	5	0,0000	0,2820	0,2820	
2	6	0,0000	0,3883	0,3883	
3	6	0,0000	0,3047	0,3047	
4	3	0,0000	0,1285	0,1285	
4	6	0,0000	0,2887	0,2887	
4	9	0,0000	0,5461	0,5461	
5	7	0,0000	0,2820	0,2820	
6	8	0,0000	0,9817	0,9817	
7	8	0,0000	1,3782	1,3782	
8	F	0,0000	2,9060	2,9060	
9	8	0,0000	0,5461	0,5461	
10	4	0,0000	0,9633	0,9633	
11	7	0,0000	1,0962	1,0962	

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote -&gt; 'n'

Double line-to-ground fault analysis

Enter Faulted Bus No. -&gt; 8

Enter Fault Impedance  $Z_f = R + j * X$  in complex form (for bolted fault enter 0) .  $Z_f = 0$ 

Double line to-ground fault at bus No. 8

Total fault current = 2,4222 per unit

Bus Voltages during the fault in per unit

Bus No.	Phase a	Phase b	Phase c	Voltage Magnitude
1	0,9530	0,8441	0,8441	
2	0,9562	0,7884	0,7884	
3	0,9919	0,7122	0,7122	
4	1,0107	0,7569	0,7569	
5	0,9686	0,7365	0,7365	
6	1,0208	0,5666	0,5666	
7	0,9992	0,5907	0,5907	
8	1,1391	0,0000	0,0000	
9	1,0736	0,3151	0,3151	
10	0,9991	0,8455	0,8455	
11	0,9239	0,7509	0,7509	

Line currents for fault at bus No. 8

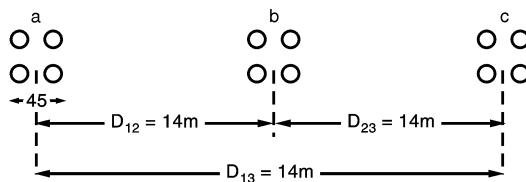
From Bus	To Bus	Phase a	Phase b	Line Current Magintude	Phase c
1	2	0,2352	0,8546	0,8546	
2	3	0,0350	0,2069	0,2069	
2	5	0,0020	0,3063	0,3063	
2	6	0,0178	0,4278	0,4278	
3	6	0,0063	0,3277	0,3277	
4	3	0,0413	0,1290	0,1290	
4	6	0,0220	0,3050	0,3050	
4	9	0,0020	0,5924	0,5924	
5	7	0,0020	0,3063	0,3063	
6	8	0,0104	1,0596	1,0596	
7	8	0,0084	1,4963	1,4963	
8	F	0,0000	3,1483	3,1483	
9	8	0,0020	0,5924	0,5924	
10	4	0,0012	1,0217	1,0217	
11	7	0,3046	1,1067	1,1067	

Another fault location?

Enter 'y' or 'n' within single quote -&gt; 'n'

## BÀI TẬP CHƯƠNG 6

- 6.1.** Một đường dây ba pha một mạch (lô đơn) có hoán vị, mỗi pha là dây chùm gồm bốn dây ACSR, 1.272.000 CM, ba pha bố trí nằm ngang như trong H.BT6.1. Khoảng cách giữa các dây con trong dây chùm là 45 cm. Dây dẫn có tên mã *pheasant*. Trong MatLab, dùng lệnh **acsr** để tìm đường kính dây và bán kính GMR của nó. Xác định điện cảm và điện dung mỗi pha trên mỗi km chiều dài đường dây. Dùng hàm **[GMD,GMRL,GMRC] = gmd** trong MatLab để kiểm tra kết quả.



Hình BT6.1

ĐS: 0,88929 mH/km; 0,012658  $\mu$ F/km

- 6.2.** Một đường dây hai mạch (lô kép) có hoán vị, mỗi pha gồm hai dây ACSR (dây chùm), 2.167.000 CM, 72/7 tên mã *Kiwi*, ba pha bố trí thẳng đứng như trong H.BT6.2. Dây dẫn có đường kính 4,4069 cm và bán kính GMR là 1,7374 cm. Khoảng cách giữa hai dây trong chùm là 45 cm. Cách bố trí hai mạch  $a_1b_1c_1$ ,  $c_2b_2a_2$ . Tìm điện cảm và điện dung mỗi pha mỗi km chiều dài đường dây. Tìm lại những giá trị này khi bố trí hai mạch theo  $a_1b_1c_1$ ,  $a_2b_2c_2$ . Dùng hàm **[GMD,GMRL,GMRC] = gmd** trong MATLAB để kiểm tra kết quả.

ĐS: 0,4752 mH/km, 0,0240035  $\mu$ F/km 0,517453 mH/km, 0,0219974  $\mu$ F/km

- 6.3.** Một đường dây truyền tải ngắn ba pha 69 kV dài 16 km. Đường dây có tổng trở nối tiếp trên mỗi pha  $0,125 + j0,4375 \Omega/km$ . Xác định điện áp đầu phát, phần trăm sụt áp, công suất đầu phát, hiệu suất truyền tải khi đường dây cung cấp:

70 MVA, hệ số công suất 0,8 trễ ở 64 kV

120 MW, hệ số công suất bằng 2 ở 64 kV.

Dùng chương trình **lineperf** để kiểm chứng kết quả.

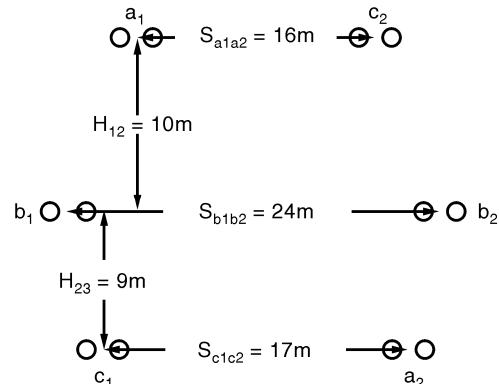
ĐS: a) 70,508 kV ; 10,17% ;  $58,39 + j50,37$  MVA ; 95,9%

b) 69 kV ; 7,83% ;  $127 + j24,61$  MVA ; 94,465%

- 6.4.** Làm lại các bài tập từ 3.9 đến 3.17 dùng chương trình **lineperf**.

- 6.5.** Đường dây truyền tải trong bài tập 3.13 có điện trở  $0.011 \Omega/km$ . Dùng chương trình **lineperf**:

a) Xác định các đại lượng đầu phát khi cho biết các đại lượng đầu nhận:  $735\angle0^0$  kV, 1600 MW và 1200 MVar.



Hình BT6.2

- b) Xác định các đại lượng đầu nhận khi cho biết các đại lượng đầu phát:  $756\angle0^0$  kV, 1920 MW và 600 MVAr.
- c) Xác định các đại lượng đầu phát khi cho biết tổng trở phụ tải ở đầu nhận  $282,38 \Omega$  ở 735 kV.
- d) Tìm điện áp đầu nhận khi đường dây hở mạch ở đầu nhận (không tải) và điện áp đầu phát là 765 kV. Xác định điện kháng và công suất kháng của cuộn kháng bù ngang đặt ở đầu nhận để giới hạn điện áp đầu nhận ở 765 kV. Vẽ trắc đồ điện áp đối với đường dây có bù và không bù.
- e) Tìm dòng điện đầu nhận và đầu phát khi đường dây bị ngắn mạch ba pha ở đầu nhận.
- f) Đối với đường dây mang tải như trong a), xác định điện dung và công suất kháng của tụ bù ngang đặt ở đầu nhận để giữ điện áp đầu nhận ở 735 kV khi điện áp đầu phát là 765 kV. Cho biết các đặc tính vận hành của đường dây sau khi bù.
- g) Xác định tình trạng vận hành của đường dây khi đường dây được bù dọc với độ bù dọc là 40% và với phụ tải như trong a) ở 735 kV.
- h) Đường dây đã bù dọc 40% và cung cấp cho tải như trong a). Xác định điện dung và công suất kháng của tụ bù ngang đặt ở đầu nhận để giữ điện áp đầu nhận ở 735 kV khi điện áp đầu phát là 765 kV.
- i) Vẽ đồ thị vòng tròn.
- j) Vẽ trắc đồ điện áp khi điện áp đầu phát là 765 kV.
- k) Vẽ đường cong khả năng tải khi điện áp đầu phát là 765 kV, điện áp đầu nhận là 735 kV. Dòng điện cho phép của dây dẫn là 5000 A/phা.

**6.6.** Khảo sát một hệ thống hiện hữu cho thấy cần phải tải 2400 MW trên một khoảng cách 400 km. Cấp điện áp được xét gồm các cấp 345 kV, 500kV và 765 kV. Đối với thiết kế sơ bộ trên khả năng tải của đường dây thực tế, có thể giả thiết các tổng trở sóng như sau:

$$345 \text{ kV } Z_C = 320 \Omega$$

$$500 \text{ kV } Z_C = 290 \Omega$$

$$765 \text{ kV } Z_C = 265 \Omega$$

Độ dài sóng của đường dây giả thiết 5000 km (60 Hz). Khả năng tải thực tế của đường dây căn cứ vào góc truyền tải  $\delta = 35^0$ . Giả thiết  $|U_{Pl}| = 1,0$  đvtđ và  $|U_N| = 0,9$  đvtđ. Xác định số mạch tải điện ba pha (số lô song song) đối với mỗi cấp điện áp. Mỗi trụ điện có thể treo tối đa hai mạch. Để giới hạn tổn hao vầng quang, đường dây 500 kV phải dùng dây chùm có ít nhất hai dây mỗi pha và dây chùm 765 kV phải có ít nhất bốn dây mỗi pha. Khoảng cách giữa các dây con trong dây chùm là 45 cm. Cỡ dây phải được chọn có khả năng tải dòng điện ứng với công suất ít nhất là 5000 MVA. Dùng lệnh **acsr** trong MatLab để tìm cỡ dây thích hợp. Sau đây là khoảng cách tối thiểu giữa các pha kế cận khi bố trí trên mặt phẳng ngang ứng ở các cấp điện áp:

Cấp điện áp (kV)	Khoảng cách hai pha kế cận (mét)
435	7,0
500	9,0
765	12,5

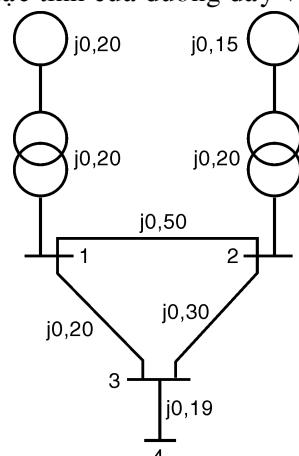
a) Chọn cấp điện áp thích hợp, cỡ dây, cấu trúc trụ. Dùng chương trình **lineperf** và tùy chọn số 1 để có được phần trăm sụt áp và hiệu suất truyền tải khi công suất đầu nhận là 3000 MVA, hệ số công suất 0,8 trễ ở điện áp định mức đã chọn. Bổ sung cho thiết kế và chọn cỡ dây sao cho hiệu suất truyền tải ít nhất bằng 94% đối với phụ tải nói trên.

b) Tìm tình trạng vận hành của đường dây bao gồm trong các tùy chọn 4–8 của chương trình **lineperf** đối với phương án thiết kế sau cùng. Tóm tắt các đặc tính của đường dây và chế độ bù yêu cầu.

- 6.7.** Cho mạng điện có bốn nút trong H.BT6.7. Mỗi máy phát điện được biểu diễn bằng sức điện động đặt sau điện kháng quá độ. Tất cả điện kháng cho trong đơn vị tương đối trên cùng một công suất cơ bản. Bỏ qua điện trở và điện dung đường dây. Thành lập ma trận  $Z_{bus}$  với nút trung tính làm chuẩn và kiểm tra bằng chương trình **Zbuild**.

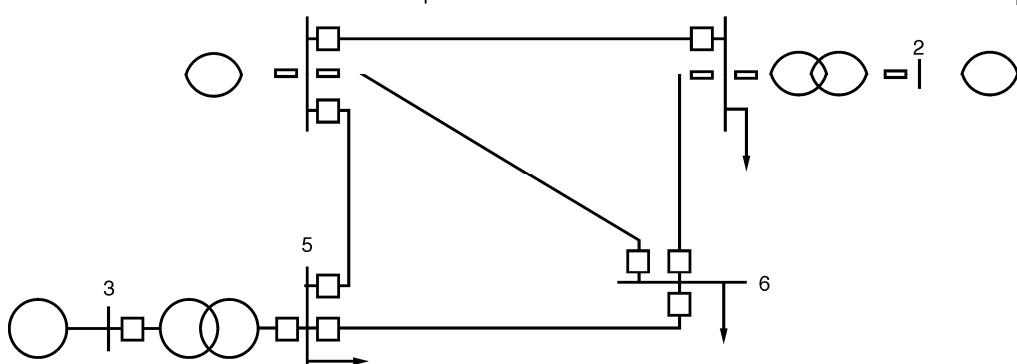
ĐS:

$$Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0,240 & 0,140 & 0,200 & 0,200 \\ 0,140 & 0,2275 & 0,175 & 0,175 \\ 0,200 & 0,175 & 0,310 & 0,310 \\ 0,200 & 0,175 & 0,310 & 0,500 \end{bmatrix}$$



Hình BT6.7

- 6.8.** Cho mạng điện sáu nút trong H.BT6.8. Số liệu đường dây và máy biến áp gồm điện trở và điện kháng nối tiếp trong đơn vị tương đối và một nửa dung dẫn của toàn đường dây trong đơn vị tương đối trên cơ bản 100 MVA và được lập bảng.



Hình BT6.8

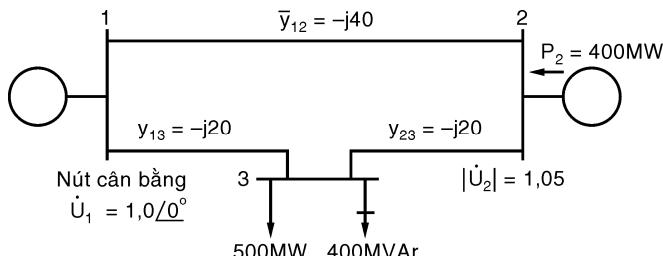
Số liệu đường dây và máy biến áp				
Nút số	Nút số	R đvtđ	X đvtđ	½ B đvtđ
1	4	0,035	0,225	0,0065
1	5	0,025	0,105	0,0045
1	6	0,040	0,215	0,0055
2	4	0,000	0,035	0,0000
3	5	0,000	0,042	0,0000
4	6	0,028	0,125	0,0035
5	6	0,026	0,175	0,0300

Tổng trở quá độ của máy phát trên cơ bản 100 MVA:

Tổng trở quá độ máy phát, đvtđ		
Máy phát số	R <sub>a</sub>	X <sub>d</sub>
1	0	0,20
2	0	0,15
3	0	0,25

Bỏ qua điện dung đường dây và phụ tải, dùng hàm **Zbus = zbuild(zdata)** để thành lập ma trận tổng trở thanh cáp Z<sub>bus</sub>. Khi dùng hàm **Zbus = zbuild(zdata)**, điện kháng máy phát phải được kề vào mảng **zdata** với nút 0 làm chuẩn.

- 6.9.** Trong bài tập 6.8 kề thêm điện dung đường dây và bỏ qua phụ tải, dùng hàm **zbuildpi(linedata,gendata,yload)** để thành lập Z<sub>bus</sub>.
- 6.10.** H.BT6.10 là sơ đồ một sợi của một hệ thống ba nút với máy phát ở nút 1 và 2. Điện áp nút 1 là U = 1,0∠0° đvtđ. Điện áp nút 2 được giữ cố định ở 1,05 đvtđ với công suất tác dụng phát lên lưới là 400 MW. Phụ tải ở nút 3 có công suất 500 MW và 400 MVAr. Tổng dẫn đường dây trong đvtđ trên cơ bản 100 MVA. Dùng cho mục đích tính tay, điện trở và điện dung đường dây được bỏ qua.



**Hình BT6.10**

a) Chứng tỏ biểu thức công suất tác dụng ở nút 2 và công suất tác dụng và phản kháng ở nút 3 cho bởi:

$$P_2 = 40 |U_2| |U_1| \cos(90^\circ - \delta_2 + \delta_1) + 20 |U_2| |U_3| \cos(90^\circ - \delta_2 + \delta_3)$$

$$P_3 = 20 |U_3| |U_1| \cos(90^\circ - \delta_3 + \delta_1) + 20 |U_3| |U_2| \cos(90^\circ - \delta_3 + \delta_2)$$

$$Q_3 = -20 |U_3| |U_1| \sin(90^\circ - \delta_3 + \delta_1) - 20 |U_3| |U_2| \sin(90^\circ - \delta_3 + \delta_2) + 40 |U_3|^2$$

b) Dùng phương pháp Newton–Raphson, bắt đầu với U<sub>2</sub><sup>(0)</sup> = 1,0 + j0 và U<sub>3</sub><sup>(0)</sup> = 1,0 + j0 và giữ cho |U<sub>2</sub>| = 1,05 đvtđ, xác định các điện áp U<sub>2</sub> và U<sub>3</sub>. Thực hiện hai lần lặp.

c) Kiểm tra kết quả dùng chương trình **Ifnewton** hay các chương trình phân bố công suất khác. Giả thiết công suất kháng tại thanh cáp có điều chỉnh điện áp (nút 2) được giữ trong giới hạn giữa 0 và 600 MVAr.

ĐS:

Ma trận tổng dẫn thanh cáp viết theo số phức dạng cực:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} 60\angle-\pi/2 & 40\angle\pi/2 & 20\angle\pi/2 \\ 40\angle\pi/2 & 60\angle-\pi/2 & 20\angle\pi/2 \\ 20\angle\pi/2 & 20\angle\pi/2 & 40\angle-\pi/2 \end{bmatrix}$$

b) δ<sub>2</sub><sup>(1)</sup> = 0,0275 rad = 1,5782° ; δ<sub>3</sub><sup>(1)</sup> = -0,1078 rad = -6,179°

$$\delta_2^{(2)} = 0,0285 \text{ rad} = 1,6327^0 ; \delta_3^{(2)} = -0,1189 \text{ rad} = -6,816^0$$

$$|U_3^{(1)}| = 0,9231 \text{ đvtđ} ; |U_3^{(2)}| = 0,9072 \text{ đvtđ}$$

**6.11.** Với số liệu của bài tập 6.10.

- a) Dùng thuật toán phân lập nhanh để phân bổ công suất. Thực hiện hai lần lặp.  
 b) Kiểm tra kết quả bằng cách dùng chương trình **decouple** hay các chương trình khác. Giả thiết giới hạn công suất kháng ở nút 2 trong khoảng từ 0 đến 600 MVAr.

ĐS: a)  $\delta_2^{(1)} = 0,0262 \text{ rad} = 1,5006^0 ; \delta_3^{(1)} = -0,1119 \text{ rad} = -6,412^0$

$$\delta_2^{(2)} = 0,0277 \text{ rad} = 1,5863^0 ; \delta_3^{(2)} = -0,1182 \text{ rad} = -6,772^0$$

$$|\bar{U}_3^{(1)}| = 0,9250 \text{ đvtđ} ; |\bar{U}_3^{(2)}| = 0,9072 \text{ đvtđ}$$

**6.12.** Cho hệ thống ba nút có sơ đồ trong H.BT6.12. Thanh cái 1 là thanh cái máy phát. Điện áp nút 1 là  $\dot{U}_1 = 1,0 \angle 0^0$  đvtđ. Phụ tải ở các nút 2 và 3 có công suất ghi trên sơ đồ. Tổng trở đường dây cho trong đvtđ trên cơ bản 100 MVA. Dùng cho mục đích tính tay, bỏ qua điện trở và điện dung đường dây.

- a) Dùng phương pháp Gass–Seidel với các trị số ban đầu  $\bar{U}_2^{(0)} = 1,0 + j0$  và  $\bar{U}_3^{(0)} = 1,0 + j0$ , xác định  $\bar{U}_2$  và  $\bar{U}_3$ . Thực hiện hai lần lặp.

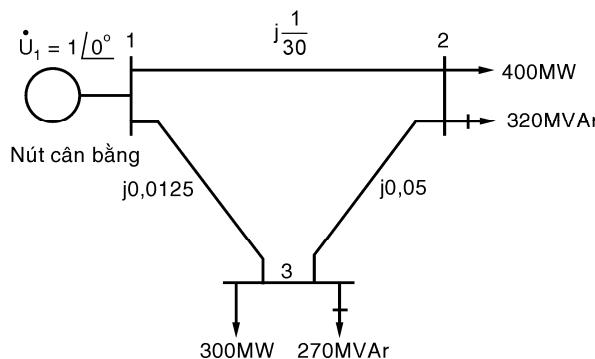
b) Nếu sau một số lần lặp, điện áp các nút hội tụ về các trị số:

$$\bar{U}_2 = 0,90 - j0,10 \text{ đvtđ}$$

$$\bar{U}_3 = 0,95 - j0,05 \text{ đvtđ}$$

Xác định dòng công suất trên đường dây và tổn thất công suất, công suất tác dụng và phản kháng của nút cân bằng. Vẽ chiều của dòng công suất trên đường dây.

- c) Kiểm tra lời giải bằng cách dùng chương trình **Ifgauss** hay các chương trình khác. Dùng độ chính xác 0,00001 và thửa số tăng tốc 1,0.



**Hình BT6.12**

ĐS:

a)  $\bar{U}_2^{(1)} = 0,9360 - j0,0800 \quad \bar{U}_3^{(1)} = 0,9602 - j0,0460$

$$\bar{U}_2^{(2)} = 0,9089 - j0,0974 \quad \bar{U}_3^{(2)} = 0,9522 - j0,0493$$

c)  $S_{12} = 300 \text{ MW} + j300 \text{ MVAr}$

$$\boxed{S_{21}} = -300 \text{ MW} - j240 \text{ MVar}$$

$$\Delta \boxed{S_{12}} = 0 \text{ MW} + j60 \text{ MVar}$$

$$\boxed{S_{13}} = 400 \text{ MW} + j400 \text{ MVar}$$

$$\boxed{S_{31}} = -400 \text{ MW} - j360 \text{ MVar}$$

$$\Delta \boxed{S_{13}} = 0 \text{ MW} + j40 \text{ MVar}$$

$$\boxed{S_{23}} = -100 \text{ MW} - j80 \text{ MVar}$$

$$\boxed{S_{32}} = 100 \text{ MW} + j90 \text{ MVar}$$

$$\Delta \boxed{S_{23}} = 0 \text{ MW} + j10 \text{ MVar}$$

$$\boxed{S_1} = 700 \text{ MW} + j700 \text{ MVar}$$

**6.13.** Cho hệ thống ba nút có sơ đồ trong H.BT6.13. với nút 1 và 3 là các thanh cái máy phát. Điện áp nút 1 là  $\dot{U}_1 = 1,025\angle 0^\circ$ . Điện áp ở nút 3 được giữ cố định ở  $1,03$  đvtđ với công suất tác dụng phát lên hệ thống là  $300 \text{ MW}$ . Phụ tải có công suất  $400 \text{ MW}$  và  $200 \text{ MVar}$  lấy ra từ nút 2. Tổng trở đường dây cho trong đơn vị tương đối trên cơ bản  $100 \text{ MVA}$ . Dùng cho mục đích tính tay, bỏ qua điện trở và điện dung đường dây.

a) Dùng phương pháp Gauss-Seidel với các trị số ban đầu  $\boxed{\dot{U}_2^{(0)}} = 1,0 + j0$  và  $\boxed{\dot{U}_3^{(0)}} = 1,03 + j0$  và giữ  $|\dot{U}_3| = 1,03$  đvtđ, xác định các điện áp  $\dot{U}_2$  và  $\dot{U}_3$ . Thực hiện hai lần lặp.

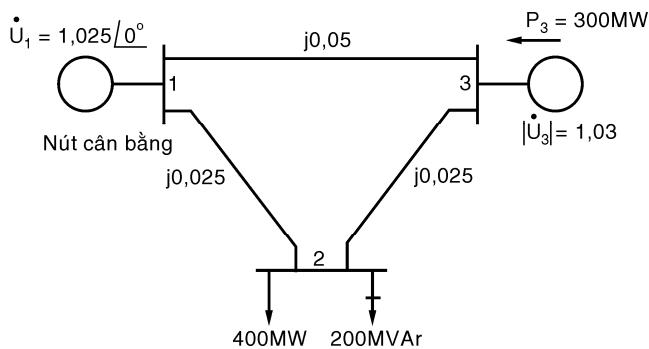
b) Nếu sau một số lần lặp, điện áp các nút hội tụ về các trị số:

$$\boxed{\dot{U}_2} = 1,001243\angle -2,1^\circ = 1,000571 - j0,0366898 \text{ đvtđ}$$

$$\boxed{\dot{U}_3} = 1,03\angle 1,36851^\circ = 1,029706 + j0,0246 \text{ đvtđ}$$

Xác định dòng công suất và tổn thất trên các nhánh và công suất tác dụng và phản kháng của nút cân bằng. Vẽ chiều công suất trên các nhánh.

Kiểm tra lời giải dùng chương trình **lfgauss**.



**Hình BT6.13**

ĐS: a)  $\boxed{\dot{U}_2^{(1)}} = 1,0025 - j0,0500 \quad Q_3^{(1)} = 1,2360$

$$\boxed{\dot{U}_3^{(1)}} = 1,0299 + j0,0152$$

$$\boxed{\dot{U}_2^{(2)}} = 1,0051 - j0,0434 \quad Q_3^{(2)} = 1,1628$$

$$\boxed{\dot{U}_3^{(2)}} = 1,0298 + j0,02107$$

b)  $\bar{S}_{12} = 150,428 \text{ MW} + j100,159 \text{ MVAr}$   
 $\bar{S}_{21} = -150,428 \text{ MW} - j92,387 \text{ MVAr}$   
 $\Delta \bar{S}_{12} = 0 \text{ MW} + j7,772 \text{ MVAr}$   
 $\bar{S}_{13} = -50,428 \text{ MW} - j9,648 \text{ MVAr}$   
 $\bar{S}_{31} = 50,428 \text{ MW} + j10,902 \text{ MVAr}$   
 $\Delta \bar{S}_{13} = 0 \text{ MW} + j1,255 \text{ MVAr}$   
 $\bar{S}_{23} = -249,572 \text{ MW} - j107,613 \text{ MVAr}$   
 $\bar{S}_{32} = 249,572 \text{ MW} + j126,034 \text{ MVAr}$   
 $\Delta \bar{S}_{23} = 0 \text{ MW} + j18,421 \text{ MVAr}$   
 $\bar{S}_1 = 100 \text{ MW} + j90,51 \text{ MVAr}$

6.14. Một hệ thống 26 nút cho trong H.BT6.14. Tìm lời giải phân bố công suất bằng các phương pháp:

- a) Gauss–Seidel;
- b) Newton–Raphson;
- c) Phân lập nhanh.

Số liệu phụ tải cho trong bảng:

Số liệu phụ tải					
STT	Phụ tải		STT	Phụ tải	
nút	MW	MVAr	nút	MW	MVAr
1	51,0	41,0	14	24,0	12,0
2	22,0	15,0	15	70,0	31,0
3	64,0	50,0	16	55,0	27,0
4	25,0	10,0	17	78,0	38,0
5	50,0	30,0	18	153,0	67,0
6	76,0	29,0	19	75,0	15,0
7	0,0	0,0	20	48,0	27,0
8	0,0	0,0	21	46,0	23,0
9	89,0	50,0	22	45,0	22,0
10	0,0	0,0	23	25,0	12,0
11	25,0	15,0	24	54,0	27,0
12	89,0	48,0	25	28,0	13,0
13	31,0	15,0	26	40,0	20,0

Độ lớn điện áp, công suất huy động máy phát, giới hạn công suất kháng đối với nút có điều chỉnh điện áp cho trong bảng dưới đây. Nút 1 có điện áp định trước  $U_1 = 1,025\angle 0^\circ$  được chọn làm nút cân bằng.

STT nút	Số liệu máy phát			
	Điện áp	Công suất phát	Giới hạn MVar	
		MW	Min.	Max.
1	1,025			
2	1,020	79,0	40,0	250,0
3	1,025	20,0	40,0	150,0
4	1,050	100,0	40,0	80,0
5	1,045	300,0	40,0	160,0
26	1,015	60,0	15,0	50,0

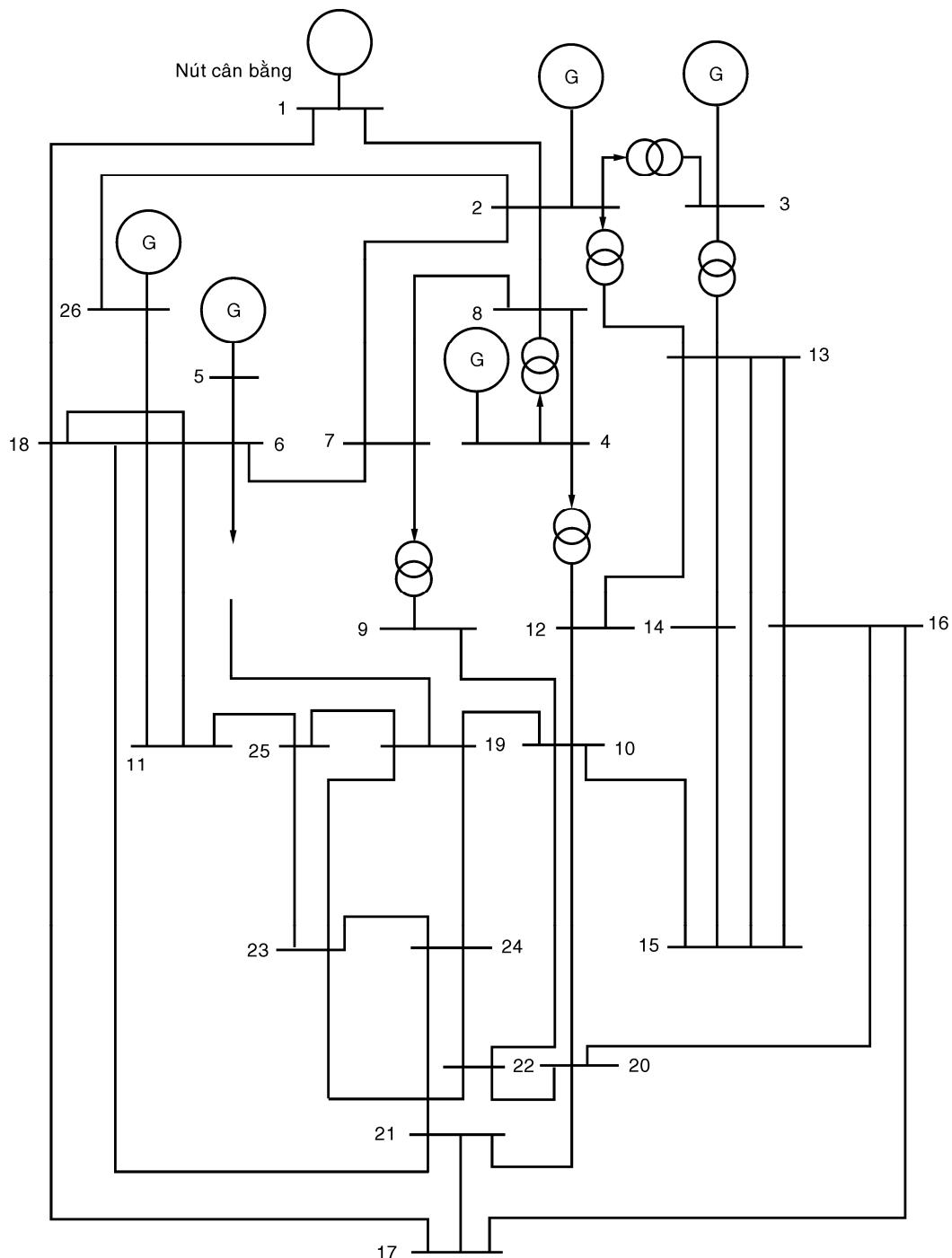
Công suất kháng của tụ bù ngang đặt tại các trạm và đầu phân áp chỉnh định cho trong bảng dưới đây:

Tụ bù ngang		Đầu phân áp	
STT nút	MVar	Nhánh	Đầu phân áp chỉnh định
1	4,0	2 - 3	0,960
4	2,0	2 - 13	0,960
5	5,0	3 - 13	1,017
6	2,0	4 - 8	1,050
11	1,5	4 - 12	1,050
12	2,0	6- 19	0,950
15	0,5	7 - 9	0,950
19	5,0		

Số liệu đường dây và máy biến áp gồm điện trở và cảm kháng nối tiếp trong đvtđ và một nửa ( $\bar{Y}/2$ ) của dung dẫn toàn đường dây trong đvtđ trên cơ bản 100 MVA cho trong bảng dưới đây:

Số liệu đường dây và máy biến áp									
STT nút	STT nút	R, pu	X, pu	1/2 B, pu	STT nút	STT nút	R, pu	X, pu	1/2 B, pu
1	2	0,0005	0,0048	0,0300	10	22	0,0069	0,0298	0,005
1	18	0,0013	0,0110	0,0600	11	25	0,0960	0,2700	0,010
2	3	0,0014	0,0513	0,0500	11	26	0,0165	0,0970	0,004
2	7	0,0103	0,0586	0,0180	12	14	0,0327	0,0802	0,000
2	8	0,0074	0,0321	0,0390	12	15	0,0180	0,0598	0,000
2	13	0,0035	0,0967	0,0250	13	14	0,0046	0,0271	0,001
2	26	0,0323	0,1967	0,0000	13	15	0,0116	0,0610	0,000
3	13	0,0007	0,0054	0,0005	13	16	0,0179	0,0888	0,001
4	8	0,0008	0,0240	0,0001	14	15	0,0069	0,0382	0,000
4	12	0,0016	0,0207	0,0150	15	16	0,0209	0,0512	0,000
5	6	0,0069	0,0300	0,0990	16	17	0,0990	0,0600	0,000
6	7	0,0053	0,0306	0,0010	16	20	0,0239	0,0585	0,000
6	11	0,0097	0,0570	0,0001	17	18	0,0032	0,0600	0,038
6	18	0,0037	0,0222	0,0012	17	21	0,2290	0,4450	0,000
6	19	0,0035	0,0660	0,0450	19	23	0,0300	0,1310	0,000
6	21	0,0050	0,0900	0,0226	19	24	0,0300	0,1250	0,002
7	8	0,0012	0,0069	0,0001	19	25	0,1190	0,2249	0,004
7	9	0,0009	0,0429	0,0250	20	21	0,0657	0,1570	0,000
8	12	0,0020	0,0180	0,0200	20	22	0,0150	0,0366	0,000
9	10	0,0010	0,0493	0,0010	21	24	0,0476	0,1510	0,000
10	12	0,0024	0,0132	0,0100	22	23	0,0290	0,0990	0,000
10	19	0,0547	0,2360	0,0000	22	24	0,0310	0,0880	0,000
10	20	0,0066	0,0160	0,0010	23	25	0,0987	0,1168	0,000

Sơ đồ một sợi của hệ thống:



## Chương 7

### TÍNH TOÁN MẠNG PHÂN PHỐI

#### 7.1 MỞ ĐẦU

- Điện năng được tải từ phía thứ cấp trạm biến áp phân phối của cấp truyền tải phụ hay trạm biến áp trung gian của cấp truyền tải đến các máy biến áp phân phối qua phát tuyến sơ cấp điện áp từ 10 đến 22 kV. Máy biến áp phân phối giảm áp để cung cấp cho mạng phân phối thứ cấp (hạ áp) điện áp từ 110 V đến 660 V. Về cấu trúc sơ đồ xem các mục từ 1.2 đến 1.6 của chương 1.

- Mạng phân phối sơ cấp và thứ cấp phải phân phối đến tận nơi tiêu thụ nên tổng chiều dài lớn hơn mạng truyền tải.

- Mạng phân phối có cấu trúc hình tia, mạch vòng kín (thường vận hành hở) và phức tạp hơn là cấu trúc lưới hay cấu trúc mạng phân phối sơ và thứ cấp khi vùng cung cấp lớn với nhiều loại phụ tải và yêu cầu tính liên tục cung cấp điện.

- Trong mạng phân phối, vấn đề chất lượng điện áp phải đảm bảo, do đó khi thiết kế đường dây phải đảm bảo độ sụt áp cho phép.

- Trong tính toán mạng phân phối, cần đưa ra một số giả thiết sau:

+ Do điện áp thấp so với điện áp truyền tải, chiều dài từng đường dây ngắn không xét ảnh hưởng của điện dung đường dây. Tuy vậy, đối với cáp ngầm có chiều dài lớn thì có thể công suất kháng do điện dung phát ra là khá lớn cũng cần phải xét đến.

+ Bỏ qua thành phần vuông góc  $\frac{PX - QR}{U}$  trong công thức tính sụt áp vì thành phần này sẽ không đáng kể khi điện trở lớn và hệ số công suất thấp.

+ Dùng điện áp định mức  $U_{dm}$  trong công thức tính sụt áp và tổn thất công suất.

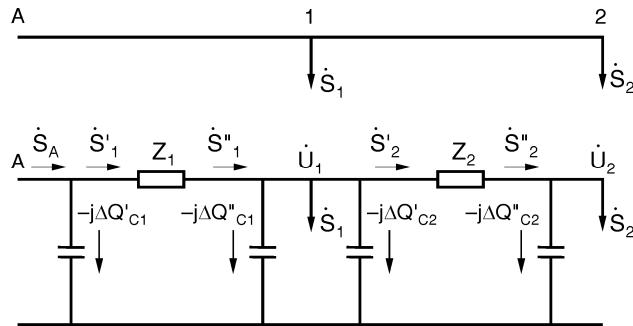
#### 7.2 TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN HỞ VÀ MẠNG ĐIỆN KÍN ĐƠN GIẢN

##### 7.2.1 Tính toán mạng điện hở cấp truyền tải:

Mục này ôn lại cách tính toán mạng hở cấp truyền tải theo phương pháp từng bước đã được đề cập ở mục 3.10 chương 3.

Mạng điện hở có một số phụ tải còn gọi là mạng liên thông. Sơ đồ thay thế của mạng điện có được bằng cách ghép nối tiếp sơ đồ thay thế từng đoạn đường dây. Đối với đường dây truyền tải cao áp có chiều dài trung bình, sơ đồ thay thế là sơ đồ hình  $\pi$ (chuẩn) hoặc hình  $\pi$  tương đương có kẽ đến điện dung đường dây. Đối với đường dây ngắn mạng phân phối, đường dây được thay thế bằng tổng trớ nối tiếp, bỏ qua điện dung đường dây.

Sau đây là ví dụ một đường dây liên thông nối một nguồn đến hai phụ tải và sơ đồ thay thế tương đương một pha (H.7.1.):



Hình 7.1

Có hai bài toán đặt ra:

1 – Biết điện áp cuối đường dây  $U_2$  tính điện áp ngược về nguồn tìm  $U_1$  và  $U_A$ .

2 – Biết điện áp đầu nguồn  $U_A$ , tìm điện áp  $U_1$  và  $U_2$ .

**Bài toán 1:** Đây là trường hợp đơn giản, ở đây chỉ cần căn cứ vào điện áp và công suất ở điểm cuối tính ngược về nguồn sẽ xác định được các thông số tại các điểm nút của mạng điện. Trong quá trình tính còn xác định được tổn thất điện áp và tổn thất công suất trên từng đoạn đường dây.

Ví dụ, trước tiên tính cho đoạn đường dây thứ hai. Theo dõi dòng công suất trên sơ đồ thay thế, ta được:

Công suất ở cuối tổng trở nối tiếp đoạn 2:

$$\begin{aligned} \overset{\square}{S}_2 &= \overset{\square}{S}_2 - j\Delta Q''_{C_2} = (P_2 + jQ_2) - j\frac{b_{02}l_2}{2}U_2^2 \\ \overset{\square}{S}_2 &= P_2'' + jQ_2'' \end{aligned} \quad (7.1)$$

trong đó  $\frac{b_{02}l_2}{2}$  là dung dẫn tập trung ở cuối đoạn 2.

Tổn thất công suất trên đoạn 2:

$$\Delta \overset{\square}{S}_2 = \frac{P_2''^2 + Q_2''^2}{U_2^2} (R_2 + jX_2) = \Delta P_2 + j\Delta Q_2 \quad (7.2)$$

Công suất ở đầu tổng trở nối tiếp  $Z_2$ :

$$\overset{\square}{S}'_2 = \overset{\square}{S}_2 + \Delta \overset{\square}{S}_2 \quad (7.3)$$

Tổn thất điện áp trên đoạn 2:

$$\Delta \overset{\square}{U}_2 = \frac{P_2''R_2 + Q_2''X_2}{U_2} + j \frac{P_2''X_2 - Q_2''R_2}{U_2} \quad (7.4)$$

Điện áp ở đầu đường dây 2 tức là  $U_1$ :

$$\overset{\square}{U}_1 = U_2 \angle 0^\circ + \Delta \overset{\square}{U}_2 \quad (7.5)$$

Đối với đường dây cấp điện áp 110 kV có thể bỏ qua phần ảo của  $\Delta \overset{\square}{U}_2$ . Góc lệch pha giữa  $U_1$  và  $U_2$  coi như không đáng kể.

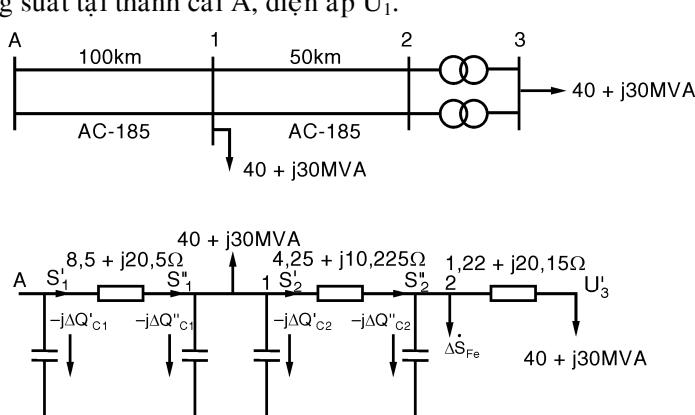
Tương tự tính toán cho đoạn 1, bắt đầu với công suất ở cuối tổng trở  $Z_1$  của đoạn này:

$$\overset{\square}{S}'_1 = \overset{\square}{S}_2 - j\Delta Q'_{C_2} + \overset{\square}{S}_1 - j\Delta Q''_{C_1}$$

với

$$\Delta Q'_{C_2} = \frac{b_{02}l_2}{2} U_1^2 \quad \text{và} \quad \Delta Q''_{C_1} = \frac{b_{01}l_1}{2} U_1^2$$

**Ví dụ 7.1:** Mạng điện 110 kV trong H.7.2. Dây dẫn AC-185 đặt trên ba đỉnh tam giác đều cạnh  $D = 5$  m thông số của một lô đơn  $r_0 = 0,17\Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 0,409\Omega/\text{km}$ , dung dẫn  $b_0 = 2,82 \times 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$ . Máy biến áp 110/11 kV,  $S_{dm} = 31500 \text{ kVA}$ . Biết  $U_3 = 10 \text{ kV}$ . Hãy xác định điện áp và công suất tại thanh cái A, điện áp  $U_1$ .



Hình 7.2

### Giải

Máy biến áp 110/11 kV,  $S_{dm} = 31500 \text{ kVA}$  có các số liệu:

$$\Delta P_0 = 96 \text{ kW} ; \quad \Delta P_N = 200 \text{ kW}$$

$$i_0\% = 2,7\% ; \quad U_N\% = 10,5\%$$

$$\text{Từ đó tính được: } R_B = \frac{\Delta P_N \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}^2} \cdot 10^3 = \frac{200 \cdot 110^2}{31500^2} \cdot 10^3 = 2,44 \Omega, \quad X_B = \frac{U_N \% \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot 10 = 40,3 \Omega$$

$$\bar{Z}_B = 2,44 + j40,3 \Omega \quad (\text{qui đổi về } 110 \text{ kV})$$

$$\Delta Q_0 = \frac{i_0 \%}{100} \cdot S_{dm} = \frac{2,7}{100} \cdot 31500 = 850 \text{ kVar}$$

$$\Delta Q_{cu dm} = \frac{U \%}{100} \cdot S_{dm} = \frac{10,5}{100} \cdot 31500 = 3307 \text{ kVar}$$

Với trạm hai máy biến áp song song:

$$\bar{Z}_{BA} = 1,22 + j20,15 \Omega$$

$$\Delta \bar{S}_{Fe} = \Delta \bar{S}_o = 2 \times (96 + j850) = 192 + j1700 \text{ kVA}$$

$$\text{Tổng trở đường dây đơn } \bar{z} = 0,17 + j0,409 \Omega/\text{km}$$

$$\text{Tổng trở đường dây kép A-1 với dây AC-185 dài 100 km:}$$

$$\bar{Z}_{A1} = 8,5 + j20,45 \Omega$$

$$\text{Đường dây kép 1-2 với dây AC-185 dài 50 km:}$$

$$\bar{Z}_{12} = 4,25 + j10,225 \Omega$$

$$\text{Dung dẫn mỗi km của đường dây đơn:}$$

$$b_0 = 2,82 \times 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}.$$

Công suất kháng do mõi điện dung tập trung ở đầu và cuối đoạn 2:

$$\Delta Q'_{C_2} \approx \Delta Q''_{C_2} = 2 \cdot \left( \frac{b_0 l_2}{2} \right) \cdot U^2 \quad \text{với } U \approx 110 \text{ kV}$$

$$\Delta Q'_{C_2} = 2 \cdot \frac{2,82 \times 10^{-6} \times 50}{2} \cdot 110^2 = 1,7 \text{ MVAr}$$

(nhân cho 2 vì đường dây kép song song)

Tương tự, công suất kháng do điện dung đường dây của đoạn 1, gần đúng cho  $U \approx 110$  kV:

$$\Delta Q'_{C_1} \approx \Delta Q''_{C_1} = 3,4 \text{ MVAr}$$

Điện áp nút 3 qui về phía 110 kV:

$$U'_3 = U_3 \cdot \frac{110}{11} = 100 \text{ kV}$$

Tổn thất điện áp trong trạm biến áp:

$$\Delta U_B = \frac{40 \times 1,22 + 30 \times 20,15}{100} = 6,533 \text{ kV}$$

Điện áp tại thanh cái cao áp trạm biến áp:

$$U_2 = U'_3 + \Delta U_B = 100 + 6,53 = 106,53 \text{ kV}$$

Tổn thất công suất trong trạm biến áp:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{S}_B &= \Delta \bar{S}_{Fe} + \Delta \bar{S}_{cu} = (192 + j1700) + \frac{40^2 + 30^2}{100^2} (1,22 + j20,15) \cdot 10^3 \\ &= (192 + j1700) + (305 + j5037,5) = 497 + j6737,5 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Công suất cuối tổng trở đường dây 2:

$$\begin{aligned} \bar{S}'_2 &= \bar{S}_3 + \Delta \bar{S}_B - j\Delta Q'_{C_2} = (40 + j30) + (0,497 + j6,738) - j1,7 \\ &= 40,497 + j35,04 \text{ (MVA)} \approx 40,5 + j35,04 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Tổn thất điện áp trên đường dây 2:

$$\Delta U_2 = \frac{40,5 \times 4,25 + 35,04 \times 10,225}{106,53} = 4,98 \text{ (kV)}$$

Điện áp nút 1:

$$U_1 = U_2 + \Delta U_2 = 106,53 + 4,98 = 111,51 \text{ (kV)}$$

Tổn thất công suất trên đường dây 2:

$$\Delta \bar{S}_2 = \frac{(40,5)^2 + (35,04)^2}{(106,53)^2} (4,25 + j10,225) = 1,074 + j2,584 \text{ (MVA)}$$

Công suất cuối tổng trở đường dây 1:

$$\begin{aligned} \bar{S}'_1 &= \bar{S}'_2 + \Delta \bar{S}_2 - j\Delta Q'_{C_2} - j\Delta Q''_{C_1} + \bar{S}_1 \\ &= (40,5 + j35,04) + (1,074 + j2,584) - j1,7 - j3,4 + (40 + j30) \\ &= 81,57 + j62,52 \text{ (MVA)} \end{aligned}$$

Tổn thất điện áp trên đường dây 1:

$$\Delta U_1 = \frac{81,57 \times 8,5 + 62,52 \times 20,45}{111,51} = 17,68 \text{ (kV)}$$

Điện áp thanh cái cao áp nguồn A:

$$U_A = U_1 + \Delta U_1 = 111,51 + 17,68 = 129,2 \text{ (kV)}$$

Tổn thất công suất trên đường dây 1:

$$\Delta S_1 = \frac{(81,57)^2 + (62,52)^2}{(111,51)^2} \cdot (8,5 + j20,45) = 7,22 + j17,37 \text{ (MVA)}$$

Công suất đầu thanh cát A:

$$\begin{aligned} S_A &= S_1 + \Delta S_1 - j\Delta Q_{C_1} \\ &= (81,57 + j62,52) + (7,22 + j17,37) - j3,4 \\ &= 88,79 + j76,49 \text{ (MVA)} \end{aligned}$$

**Bài toán 2:** Trường hợp biết điện áp nguồn  $U_A$ , tìm điện áp  $U_1$  và  $U_2$ . Trong trường hợp này áp dụng phương pháp tính gần đúng, thực chất là phép tính lặp với điện áp giả thiết ban đầu  $U_1 = U_2 = U_{dm}$ . Với điện áp giả thiết và trị số phụ tải đã biết, tính ngược từ cuối đường dây để tìm công suất đầu nguồn, không cần tính sụt áp mà chỉ tính tổn thất công suất trên từng đoạn đường dây (trong biểu thức  $\Delta S$  dùng  $U_{dm}$  để tính toán). Sau đó, chuyển sang lần tính toán thứ hai từ công suất và điện áp nguồn  $U_A$ , xác định điện áp tại các nút.

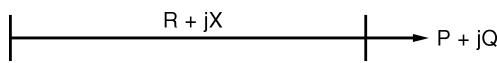
*Ghi chú:* Trong trường hợp mạng điện ba pha, các công thức trên được áp dụng với  $U$  là điện áp dây và công suất  $P, Q, S$  là công suất ba pha mặc dù sơ đồ thay thế là sơ đồ tổng trở tương đương một pha của mạng ba pha cân bằng.

### 7.2.2 Tính toán mạng hở cấp phân phối

Đối với mạng điện phân phối, giả thiết bỏ qua điện dung của đường dây, ngoài ra trong quá trình tính toán lấy điện áp tại mỗi nút bằng điện áp định mức và bước đầu tính toán có thể bỏ qua tổn thất công suất trong mạng điện.

#### a) Trường hợp đường dây hình tia

Cho đường dây hình tia có điện áp định mức  $U_{dm}$ , chiều dài  $l$  km, điện trở  $r_0 \Omega/km$ , cảm kháng  $x_0 \Omega/km$ , phụ tải  $P$  kW (hoặc dòng điện phụ tải  $I$  ampe hay công suất biểu kiến  $S$  kVA), hệ số công suất  $\cos\phi$



Hình 7.3

- Đối với đường dây ba pha

Tổn thất điện áp:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{dm}} \quad (7.7)$$

Phần trăm sụt áp:

$$\Delta U \% = \frac{PR + QX}{U_{dm}^2 \cdot 1000} \cdot 100 \% = \frac{PR + QX}{U_{dm}^2 \cdot 10} \% \quad (7.8)$$

trong đó:  $R = r_0 \cdot l$  ;  $X = x_0 \cdot l$  ( $\Omega$ )

$P$  (kW),  $Q = Ptg\phi = Scos\phi$  (kVAr),  $S$  (kVA),  $U_{dm}$  (kV),  $\Delta U$  (V)

Có thể viết:

$$\Delta U\% = \frac{S(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)l}{U_{dm}^2 \cdot 10} . \% \quad (7.9)$$

Đặt:

$$K\% = \frac{(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)l}{U_{dm}^2 \cdot 10} . \% /kVA.km \quad (7.10)$$

K% là hằng số sụt áp, được định nghĩa là phần trăm sụt áp cho mỗi kVA công suất, mỗi km chiều dài đường dây với hệ số công suất, cõi dây, cách bố trí dây và điện áp định mức cho trước. Có thể lập bảng tính trước hằng số sụt áp và từ đó tính nhanh chóng phần trăm sụt áp đường dây:

$$\Delta U\% = K\% \cdot S \cdot l \quad (7.11)$$

trong đó S (kVA), l (km)

Nếu tính theo dòng điện (ampere) thì sụt áp đường dây cho bởi:

$$\Delta U = \sqrt{3} I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \sqrt{3} I \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \quad (7.12)$$

- Tốn thất công suất tác dụng:

$$\Delta P = 3RI^2 = \frac{P^2 + Q^2}{U_{dm}^2} R = \frac{S^2}{U_{dm}^2} R \quad (7.13)$$

trong đó: P (kW), Q (kVAr), S (kVA), U<sub>dm</sub> (kV), ΔP (W)

hay: P (MW), Q (MVAr), S (MVA), U<sub>dm</sub> (kV), ΔP (MW)

- Tốn thất công suất phản kháng:

$$\Delta Q = 3XI^2 = \frac{P^2 + Q^2}{U_{dm}^2} X = \frac{S^2}{U_{dm}^2} X \quad (7.14)$$

trong đó: P (kW), Q (kVAr), S (kVA), U<sub>dm</sub> (kV), ΔQ (VAr)

hay: P (MW), Q (MVAr), S (MVA), U<sub>dm</sub> (kV), ΔQ (MVAr)

- Đối với đường dây một pha hai dây:

Công thức tính sụt áp và tốn thất công suất tương tự như đường dây ba pha với U<sub>dm</sub> là điện áp định mức giữa hai dây cụ thể như sau:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{dm}} \text{ với } R = 2r_0l ; X = 2x_0l \quad (7.15)$$

$$\Delta U = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) = I \cdot 2l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \quad (7.16)$$

$$\Delta P = RI^2 = \frac{P^2 + Q^2}{U_{dm}^2} R = \frac{S^2}{U_{dm}^2} R \quad (7.17)$$

$$\Delta Q = XI^2 = \frac{P^2 + Q^2}{U_{dm}^2} X = \frac{S^2}{U_{dm}^2} X \quad (7.18)$$

*Ghi chú:* R và X là điện trở và cảm kháng của cả hai dây đi và về.

### b) Trường hợp đường dây liên thông

Xét một mạng điện phân phối dạng liên thông có sơ đồ trong H.7.4.:

Các ký hiệu:

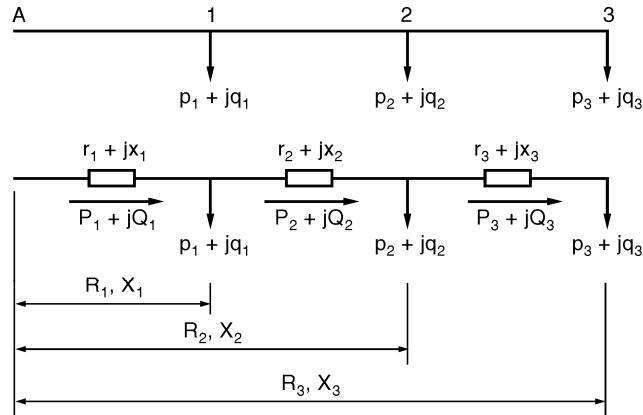
p<sub>i</sub>, q<sub>i</sub>: công suất phụ tải i;

P<sub>i</sub>, Q<sub>i</sub>: công suất đi trên đoạn đường dây i;

$r_i, x_i$ : điện trở, cảm kháng đoạn  $i$ ;

$R_i, X_i$ : điện trở, cảm kháng tính từ đầu nguồn A đến nút  $i$ .

Do bù qua tổn thất công suất, dễ dàng xác định công suất đi trên mỗi đoạn:



**Hình 7.4**

$$S_3 = P_3 + jQ_3 = p_3 + jq_3$$

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = (p_2 + p_3) + j(q_2 + q_3)$$

$$S_1 = P_1 + jQ_1 = (p_1 + p_2 + p_3) + j(q_1 + q_2 + q_3)$$

$$R_3 = r_1 + r_2 + r_3$$

$$X_3 = x_1 + x_2 + x_3$$

$$R_2 = r_1 + r_2$$

$$X_2 = x_1 + x_2$$

$$R_1 = r_1$$

$$X_1 = x_1$$

Công suất đi trên đoạn  $i$ :

$$S_i = P_i + jQ_i = \sum_{m=i}^n p_m + j \sum_{m=i}^n q_m \quad (7.19)$$

( $m$ : chỉ số nút)

Tổn thất điện áp trên đoạn đường dây  $i$ :

$$\Delta U_i = \frac{P_i r_i + Q_i x_i}{U_{dm}} \quad (7.20)$$

Sụt áp từ đầu nguồn A đến phụ tải cuối đường dây:

$$\Delta U = \frac{P_1 r_1 + Q_1 x_1}{U_{dm}} + \frac{P_2 r_2 + Q_2 x_2}{U_{dm}} + \frac{P_3 r_3 + Q_3 x_3}{U_{dm}} \quad (7.21)$$

Tổng quát, sụt áp từ đầu nguồn đến phụ tải  $n$  cuối đường dây:

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i r_i + Q_i x_i)$$

(7.22)

( $i$ : chỉ số đoạn)

Mặt khác:  $P_i = \sum_{m=i}^n p_m$  và  $Q_i = \sum_{m=i}^n q_m$

Thay vào biểu thức  $\Delta U$  và biến đổi để có biểu thức tương đương:

$$\boxed{\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \cdot \sum_{i=1}^n (p_i R_i + q_i X_i)} \quad (7.23)$$

(i: chỉ số nút)

Trường hợp đường dây có cùng tiết diện và cùng cách bố trí dây dẫn trên trụ, nghĩa là có cùng thông số  $r_0, x_0$  trên mỗi km chiều dài đường dây, ta có thể viết:

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \cdot \left( r_0 \sum_{i=1}^n P_i l_i + x_0 \sum_{i=1}^n Q_i l_i \right) \quad (7.24)$$

( $l_i$ : chiều dài đoạn i)

hay:

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \cdot \left( r_0 \sum_{i=1}^n p_i L_i + x_0 \sum_{i=1}^n q_i L_i \right) \quad (7.25)$$

( $L_i$ : khoảng cách từ đầu đường dây đến nút i)

Nếu biết điện áp  $U_A$  ở đầu đường dây thì điện áp  $U_n$  ở cuối đường dây cho bởi:

$$U_n = U_A - \Delta U \quad (7.26)$$

$U_n$  là điện áp thấp nhất trong mạng điện.

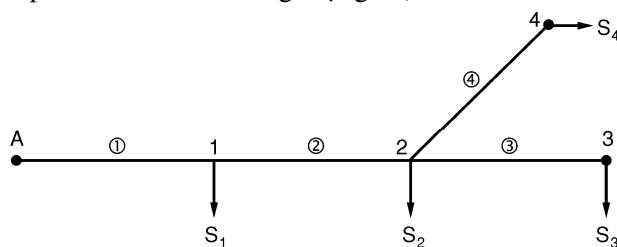
Phản trặc sụt áp:

$$\Delta U \% = \frac{U_A - U_n}{U_n} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta U}{U_{dm}} \cdot 100\% \quad (7.27)$$

Độ lệch điện áp ở cuối đường dây:

$$\delta U \% = \frac{U_n - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100\% \quad (7.28)$$

Đối với mạng điện phân nhánh như trong mạng điện H.7.5



Hình 7.5

Tổn thất điện áp lớn nhất trong mạng điện có thể là  $\Delta U_{A3}$  hoặc  $\Delta U_{A4}$  tùy theo trị số tính được là lớn hơn.

Để dàng tính được sụt áp trên từng đoạn đường dây và sụt áp từ đầu nguồn đến các tải ở cuối đường dây. Các công thức được viết như sau:

$$\begin{aligned} \Delta U_{A3} &= \Delta U_{A1} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} \\ \Delta U_{A4} &= \Delta U_{A1} + \Delta U_{12} + \Delta U_{24} \end{aligned}$$

và:

$$\begin{aligned} U_4 &= U_A - \Delta U_{A4} \\ U_3 &= U_A - \Delta U_{A3} \end{aligned}$$

Khi cần tính tổn thất công suất trong mạng điện phân phối, có thể dùng công thức đơn giản sau đây:

$$\Delta S = \frac{1}{U_{dm}^2} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) (r_i + jx_i) \quad (7.29)$$

với  $i = 1, n$  là chỉ số đoạn.

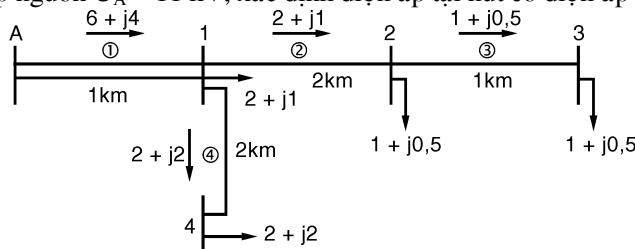
Tổn thất công suất tác dụng:

$$\Delta P = \frac{1}{U_{dm}^2} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) r_i \quad (7.30)$$

Tổn thất công suất phản kháng:

$$\Delta Q = \frac{1}{U_{dm}^2} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) x_i \quad (7.31)$$

**Ví dụ 7.2:** Mạng điện công nghiệp 10 kV, toàn bộ đường dây dùng dây A-95 với khoảng cách trung bình  $D_{tb} = 1$  m. Phụ tải đơn vị MVA. Xác định tổn thất điện áp lớn nhất và tổn thất công suất trong mạng điện. Nếu điện áp nguồn  $U_A = 11$  kV, xác định điện áp tại nút có điện áp thấp nhất.



Hình 7.6: Mạng điện Ví dụ 7.2

Thông số đường dây  $\bar{z}_0 = r_0 + jx_0 = 0,33 + j0,332 \Omega/km$

Tổng trở mỗi đoạn đường dây:

$$\bar{Z}_1 = 0,165 + j0,166 \Omega \text{ (lộ kép)}$$

$$\bar{Z}_2 = 0,66 + j0,664 \Omega = \bar{Z}_4$$

$$\bar{Z}_3 = 0,33 + j0,332 \Omega$$

Công suất chạy trên từng đoạn đường dây:

$$\boxed{S_4 = 2+j2 \text{ (MVA)}}$$

$$\boxed{S_3 = 1+j0,5 \text{ (MVA)}}$$

$$\boxed{S_2 = 2+j1 \text{ (MVA)}}$$

$$\boxed{S_1 = 6+j4 \text{ (MVA)}}$$

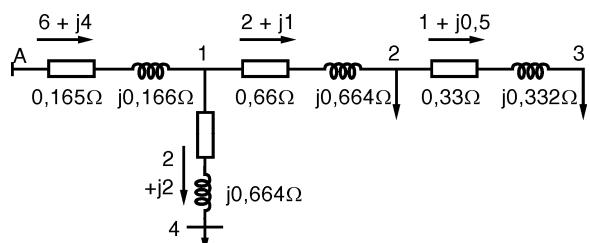
Tổn thất công suất trên toàn mạng điện:

$$\Delta \boxed{S} = \frac{1}{10^2} \cdot \left[ (6^2 + 4^2)(0,165 + j0,166) + (2^2 + 1^2)(0,66 + j0,664) \right]$$

$$+ (1^2 + 0,5^2)(0,33 + j0,332) + (2^2 + 2^2)(0,66 + j0,664) \right]$$

$$\Delta \boxed{S} = 0,175 + j0,180 \text{ (MVA)}$$

Tổn thất công suất tác dụng và phản kháng tính theo phần trăm:



Hình 7.6bis: Sơ đồ thay thế mạng điện Ví dụ 7.2

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P}{\sum p_i} \cdot 100\% = \frac{0,175}{6} \cdot 100\% = 2.92\%$$

$$\Delta Q\% = \frac{\Delta Q}{\sum q_i} \cdot 100\% = \frac{0,180}{4} \cdot 100\% = 4.5\%$$

Tổn thất điện áp từ A đến phụ tải 3:

$$\Delta U_{A3} = \frac{1}{10} \cdot [ (6 \times 0,165 + 2 \times 0,66 + 1 \times 0,33) + (4 \times 0,166 + 1 \times 0,664 + 0,5 \times 0,332) ] \\ = 0,413 \text{ (kV)}$$

Tổn thất điện áp từ A đến phụ tải 4:

$$\Delta U_{A4} = \frac{1}{10} \cdot [ (6 \times 0,165 + 2 \times 0,66) + (4 \times 0,166 + 2 \times 0,664) ] \\ = 0,43 \text{ (kV)}$$

Như vậy, tổn thất điện áp lớn nhất  $\Delta U_{A4} = 0,43 \text{ kV}$  và điểm 4 có điện áp thấp nhất:

$$U_4 = U_A - \Delta U_{A4} = 11 - 0,43 = 10,57 \text{ (kV)}$$

### 7.2.3 Tính toán mạng điện có hai cấp điện áp

Xét một mạng điện có sơ đồ H.7.7. gồm đường dây cao áp  $L_1$ , máy biến áp giảm áp  $B$  và đường dây hạ áp  $L_2$ . Mạng điện được tính toán theo hai bước:

*Bước 1:* Tính toán công suất ngược về nguồn

- Tổn thất công suất công suất trên đoạn  $L_2$
- Công suất ở đầu đoạn  $L_2$
- Công suất ở thanh cái hạ áp của máy biến áp
- Tổn thất công suất trong máy biến áp
- Tổn thất công suất trên đoạn  $L_1$  và công suất kháng do điện dung phát lên của đường dây cao áp
- Công suất ở đầu đường dây  $L_1$ .

Khi tính toán cho đường  $L_2$ , dùng điện áp định mức  $U_{dm2}$  và khi tính toán cho đường  $L_1$  dùng điện áp  $U_{dm1}$ .

*Bước 2:* Tính sụt áp và tìm điện áp cuối đường dây bắt đầu từ điện áp  $U_A$  đã cho trước. Lần lượt tính:

- Sụt áp trên đường  $L_1$
- Tính điện áp  $U_b$  ở cuối đường  $L_1$
- Sụt áp qua máy biến áp
- Điện áp  $U'_c$  của điểm  $c$  qui về cao áp
- Suy ra điện áp  $U_c$  ở đầu đường  $L_2$  qua tỷ số biến áp  $k$ :

$$k = \frac{U_{pa,cao}}{U_{kt,hap}}$$

trong đó  $U_{pa,cao}$ : điện áp của đầu phân áp phía cao áp

$U_{kt,hq}$ : điện áp không tải phía hạ áp.

Nếu không cần chính xác có thể tính:

$$k \approx \frac{U_{dm1}}{U_{dm2}}$$

trong đó  $U_{dm1}$ : điện áp định mức phía cao áp

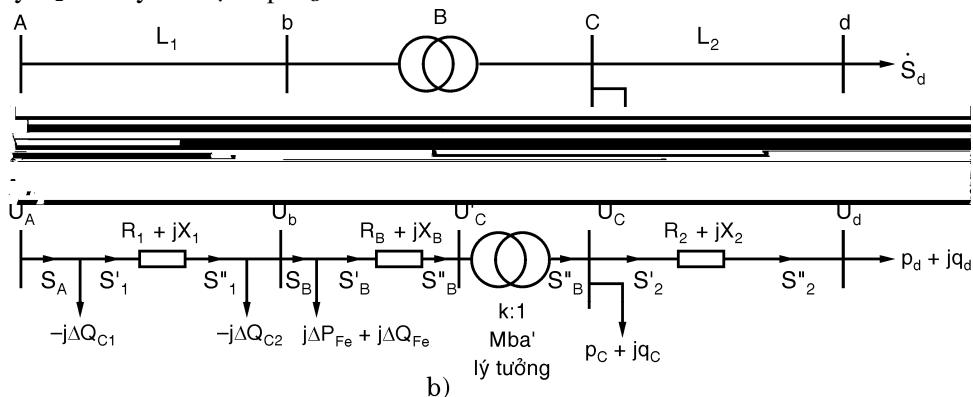
$U_{dm2}$ : điện áp định mức phía hạ áp.

Từ đó:

$$U_c = \frac{U_c'}{k}$$

Trong H.7.7b, máy biến áp B được thay thế bằng tổng trở  $Z_B$  nối tiếp với máy biến áp lý tưởng có tỷ số biến áp  $k:1$ .

- Tiếp tục tính toán điện áp cho đường dây hạ áp. Bắt đầu với điện áp  $U_c$ , tính sụt áp trên đường dây  $L_2$  và suy ra điện áp  $U_d$ .



Hình 7.7

**Ví dụ 7.3:** Cho mạng điện có hai cấp điện áp có sơ đồ H.7.7. Phụ tải  $S_c = 10 + j5$  MVA và  $S_d = 3 + j2$  MVA. Đường dây  $L_1$  dài 30 km, 110 kV, dây dẫn AC-70 có  $r_0 = 0,46 \Omega/km$ ,  $x_0 = 0,41 \Omega/km$ , dung dẫn  $b_0 = 2,6 \cdot 10^{-6} 1/\Omega \cdot km$ .

Trạm giảm áp dùng máy biến áp 20000 kVA, 110/23 kV có  $\Delta P_0 = 60$  kW,  $\Delta P_N = 160$  kW,  $U_N\% = 10,5\%$ ,  $i_0\% = 3\%$ , điện áp không tải phía thứ cấp  $U_{kt,hq} = 23$  kV, dùng đầu phân áp phía cao áp có điện áp  $U_{pa,cao} = 110$  kV.

Đường dây  $L_2$  cấp điện áp 22 kV, dài 8 km, dây AC-185 có  $r_0 = 0,17 \Omega/km$ ,  $x_0 = 0,38 \Omega/km$ .

Điện áp đầu đường dây cao áp  $U_A = 115$  kV.

Xác định công suất đầu đường dây cao áp và điện áp tại phụ tải c và phụ tải d.

**Giải**

Sơ đồ thay thế của mạng điện vẽ trong H.7.7b.

Thông số đường dây  $L_1$ :

$$R_1 = 0,46 \times 30 = 13,8 \Omega$$

$$X_1 = 0,41 \times 30 = 12,3 \Omega$$

$$Y = b_0 \cdot l = 2,6 \times 10^{-6} \times 30 = 78 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\Omega$$

Thông số máy biến áp:

$$R_B = \frac{\Delta P_N \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}^2} 10^3 = \frac{160 \times 110^2}{20000^2} 10^3 = 4,84 \text{ } \Omega$$

$$X_B = \frac{U_N \% \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}} 10 = \frac{10,5 \times 110^2}{20000} 10 = 63,53 \text{ } \Omega$$

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 = 60 \text{ kW} = 0,06 \text{ MW}$$

$$\Delta Q_{Fe} = \frac{i_0 \%}{100} S_{dm} = \frac{3}{100} 20 = 0,6 \text{ MVAr}$$

$$\Delta P_{Cu,dm} = \Delta P_N = 160 \text{ kW} = 0,16 \text{ MW}$$

$$\Delta Q_{Cu,dm} = \frac{U_N \%}{100} S_{dm} = \frac{10,5}{100} 20 = 2,1 \text{ MVAr}$$

Thông số đường dây L<sub>2</sub>

$$R_2 = 0,17 \times 8 = 1,36 \text{ } \Omega$$

$$X_2 = 0,38 \times 8 = 3,04 \text{ } \Omega$$

Bước 1: Tính tổn thất công suất và công suất trên các đoạn (quá trình tính ngược)

- Công suất cuối đường dây L<sub>2</sub>

$$\overset{\square}{S}_2 = \overset{\square}{S}_d = 3 + j2 \text{ MVA} = P_2'' + jQ_2''$$

- Tổn thất công suất trên đường L<sub>2</sub>

$$\overset{\square}{\Delta S}_2 = \frac{P_2''^2 + Q_2''^2}{U_{dm2}^2} (R_2 + jX_2) = \frac{3^2 + 2^2}{22^2} (1,36 + j3,04) = 0,037 + j0,082 \text{ MVA}$$

- Công suất đầu đường dây L<sub>2</sub>

$$\overset{\square}{S}_2 = \overset{\square}{S}_2 + \overset{\square}{\Delta S}_2 = (3 + j2) + (0,037 + j0,082) = 3,037 + j2,082 \text{ MVA}$$

- Công suất phía thứ cấp của máy biến áp

$$\overset{\square}{S}_B = \overset{\square}{S}_2 + \overset{\square}{S}_c = (3,037 + j2,082) + (10 + j5) = 13,037 + j7,082 \text{ MVA}$$

$$|\overset{\square}{S}_B| = 14,84 \text{ MVA}$$

- Tổn thất công suất qua tổng trở của máy biến áp (tỷ lệ với bình phương công suất qua máy biến áp).

$$\Delta P_B = \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{\overset{\square}{S}_B}{S_{dm}} \right)^2 = 0,16 \left( \frac{14,84}{20} \right)^2 = \frac{13,037^2 + 7,082^2}{110^2} \times 4,84 = 0,088 \text{ MW}$$

$$\Delta Q_B = \Delta Q_{Cu,dm} \left( \frac{\overset{\square}{S}_B}{S_{dm}} \right)^2 = 2,1 \left( \frac{14,84}{20} \right)^2 = \frac{13,037^2 + 7,082^2}{110^2} \times 63,53 = 1,16 \text{ MVAr}$$

- Công suất ở đầu tổng trở của máy biến áp

$$\overset{\square}{S}_B = \overset{\square}{S}_B + \overset{\square}{\Delta S}_B = (13,037 + j7,082) + (0,088 + j1,16) = 13,125 + j8,242 \text{ MVA}$$

$$= P_B + jQ_B$$

- Công suất phía sơ cấp máy biến áp

$$\dot{S}_B = \dot{S}_B + \Delta \dot{S}_{Fe} = (13,125 + j8,242) + (0,06 + j0,6) = 13,185 + j8,842 \text{ MVA}$$

- Công suất kháng do điện dung ở cuối đường dây L<sub>1</sub> phát lên

$$\Delta Q_{C2} = \frac{Y}{2} U_{dm1}^2 = \frac{78 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 110^2 = 0,472 \text{ MVAr}$$

- Công suất ở ngay cuối tổng trở của đường dây L<sub>1</sub>

$$\dot{S}'_1 = \dot{S}_B - j\Delta Q_{C2} = (13,185 + j8,842) - j0,472 = 13,185 + j8,37 \text{ MVA} = P'_1 + jQ'_1$$

- Tổn thất công suất trên tổng trở nối tiếp của đường dây L<sub>1</sub>

$$\Delta \dot{S}_1 = \frac{P'^2_1 + Q'^2_1}{U_{dm1}^2} (R_1 + jX_1) = \frac{13,185^2 + 8,37^2}{110^2} (13,8 + j12,3) = 0,278 + j0,248 \text{ MVA}$$

- Công suất ở đầu tổng trở của đường dây L<sub>1</sub>

$$\begin{aligned} \dot{S}'_1 &= \dot{S}_1 + \Delta \dot{S}_1 = (13,185 + j8,37) + (0,278 + j0,248) = 13,463 + j8,618 \text{ MVA} \\ &= P'_1 + jQ'_1 \end{aligned}$$

- Công suất kháng do điện dung ở đầu đường dây L<sub>1</sub> phát lên

$$\Delta Q_{C1} = \frac{Y}{2} U_A^2 = \frac{78 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 115^2 = 0,516 \text{ MVAr}$$

- Công suất đầu đường dây L<sub>1</sub>

$$\dot{S}_A = \dot{S}'_1 - j\Delta Q_{C1} = (13,463 + j8,618) - j0,516 = 13,46 + j8,102 \text{ MVA}$$

Bước 2: Tính tổn thất điện áp và điện áp tại các nút (quá trình tính thuận)

- Sụt áp trên đường dây L<sub>1</sub>

$$\Delta U_1 = \frac{P'_1 R_1 + Q'_1 X_1}{U_A} = \frac{13,463 \times 13,8 + 8,618 \times 12,3}{115} = 2,537 \text{ kV}$$

- Điện áp tại nút b

$$U_b = U_A - \Delta U_1 = 115 - 2,537 = 112,463 \text{ kV}$$

- Sụt áp qua máy biến áp

$$\Delta U_B = \frac{P'_1 R_B + Q'_1 X_B}{U_b} = \frac{13,125 \times 4,84 + 8,242 \times 63,53}{112,463} = 5,22 \text{ kV}$$

- Điện áp nút c qui về phía cao áp

$$U_c = U_b - \Delta U_B = 112,463 - 5,22 = 107,243 \text{ kV}$$

- Suy ra điện áp nút c U<sub>c</sub> qua tỷ số biến áp k =  $\frac{U_{pa,cao}}{U_{kt,ha}} = \frac{110}{23} = 4,783$

$$U_c = \frac{U_c}{k} = \frac{107,243}{4,783} = 22,42 \text{ kV}$$

- Sụt áp trên đường dây L<sub>2</sub>

$$\Delta U_2 = \frac{P'_2 R_2 + Q'_2 X_2}{U_c} = \frac{3,037 \times 1,36 + 2,082 \times 3,04}{22,42} = 0,466 \text{ kV}$$

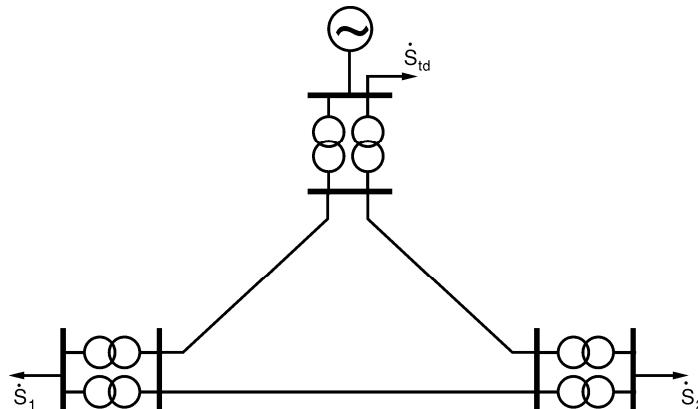
- Điện áp nút d

$$U_d = U_c - \Delta U_2 = 22,42 - 0,466 = 21,95 \text{ kV}$$

#### 7.2.4 Tính toán mạng điện kín đơn giản

Mạng điện kín đơn giản gồm một nguồn và nhiều phụ tải nối theo mạch vòng kín, cũng có thể là mạng điện hai nguồn cung cấp cho nhiều phụ tải bằng đường dây nối giữa hai nguồn. Điện áp của hai nguồn được xem như bằng nhau (về modul và góc pha).

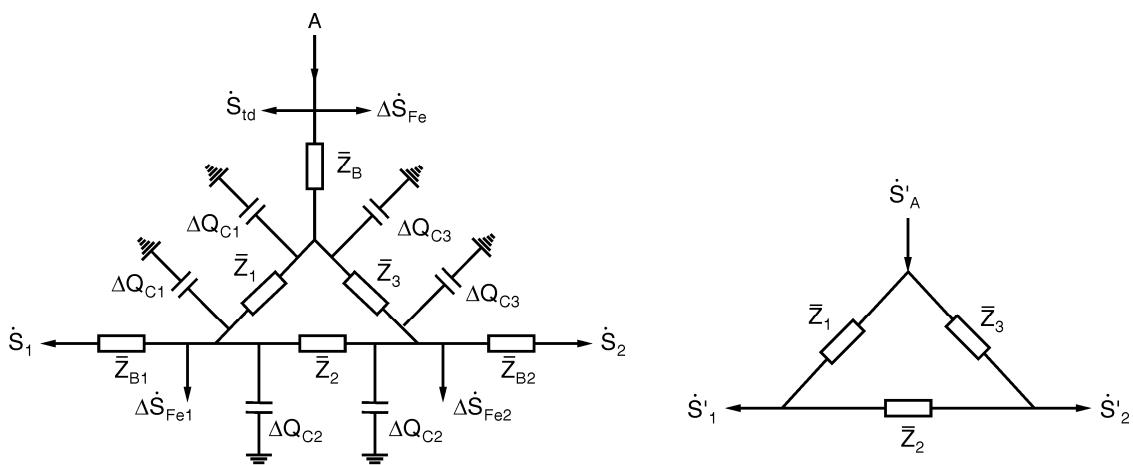
Xét mạng điện một nguồn và hai phụ tải có sơ đồ trong H.7.8



Hình 7.8: Mạng điện kín cung cấp từ một nguồn

Để đơn giản sơ đồ tính toán mạng điện kín cần đưa ra khái niệm về phụ tải tính toán và công suất tính toán của nhà máy điện.

Sơ đồ thay thế của mạng điện (H.7.9)



Hình 7.9

Hình 7.10: Sơ đồ thay thế đơn giản

Sơ đồ thay thế đơn giản trong đó phụ tải là phụ tải tính toán và công suất nguồn là công suất tính toán (H.7.10.)

So sánh sơ đồ thay thế đầy đủ và sơ đồ thay thế đơn giản, công suất tính toán của phụ tải  $S'_1$  và  $S'_2$  được viết như sau:

$$\overset{\square}{S'_1} = S_1 + \Delta S_{B1} - j\Delta Q_{C1} - j\Delta Q_{C2}$$

$$\overset{\square}{S'_2} = S_2 + \Delta S_{B2} - j\Delta Q_{C2} - j\Delta Q_{C3}$$

trong đó  $\Delta S_{B1}$  và  $\Delta S_{B2}$  là tổn thất công suất trong máy biến áp  $B_1$  và  $B_2$

Công suất tính toán của nguồn:

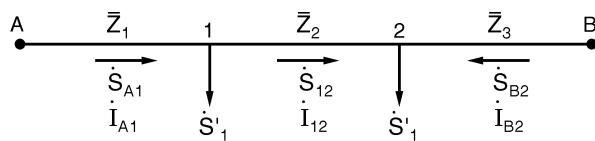
$$\dot{S}'_A = \dot{S}_A - \dot{S}_{td} - \Delta \dot{S}_B + j\Delta Q_{C1} + j\Delta Q_{C3}$$

$\dot{S}_{td}$ : công suất tự dùng.

Sơ đồ thay thế đơn giản chỉ còn lại các tổng trở nối tiếp của các đường dây trên mạng vòng kín. Thường biết trước điện áp nguồn cung cấp và công suất của phụ tải, để tính toán chế độ mạng điện kín phải dùng phương pháp gần đúng liên tiếp.

**Bước thứ nhất:** Xác định phân bố dòng trong mạng điện với giả thiết điện áp lấy bằng trị số định mức và bỏ qua tổn thất công suất trên các đoạn đường dây.

Giả thiết tách đầu nguồn A làm hai đầu nguồn cung cấp có điện áp bằng nhau về trị số và góc pha (H.7.11.).



Hình 7.11: Mạng điện cung cấp từ hai đầu có điện áp bằng nhau

Qui ước chiều công suất trên đường dây như hình vẽ, theo định luật Kirchoff, viết được phương trình cân bằng điện áp:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A1} \bar{Z}_1 + \dot{I}_{12} \bar{Z}_2 - \dot{I}_{B2} \bar{Z}_3 &= 0 \\ \frac{\dot{S}_{A1}^*}{\sqrt{3}U_{dm}} \bar{Z}_1 + \frac{\dot{S}_{12}^*}{\sqrt{3}U_{dm}} \bar{Z}_2 - \frac{\dot{S}_{B2}^*}{\sqrt{3}U_{dm}} \bar{Z}_3 &= 0 \end{aligned}$$

hay:

$$\dot{S}_{A1}^* \bar{Z}_1 + \dot{S}_{12}^* \bar{Z}_2 - \dot{S}_{B2}^* \bar{Z}_3 = 0 \quad (\text{dấu } * \text{ chỉ số phức liên hợp})$$

Vì bỏ qua tổn thất công suất nên:

$$\dot{S}_{A1} + \dot{S}_{B2} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2$$

Để đơn giản bỏ dấu phẩy ở công suất tính toán:

$$\dot{S}_{A1} + \dot{S}_{B2} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2$$

Suy ra:

$$\dot{S}_{B2} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 - \dot{S}_{A1}$$

và phương trình cân bằng dòng tại nút 1:

$$\dot{S}_{A1} = \dot{S}_1 + \dot{S}_{12}$$

Suy ra:

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_{A1} - \dot{S}_1$$

Thay những đại lượng viết cho  $\dot{S}_{B2}$  và  $\dot{S}_{12}$  vào phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{S}_{A1}^* \bar{Z}_1 + \left( \dot{S}_{A1}^* - \dot{S}_1^* \right) \bar{Z}_2 - \left( \dot{S}_1^* + \dot{S}_2^* - \dot{S}_{A1}^* \right) \bar{Z}_3 = 0$$

Sắp xếp lại:

$$\dot{S}_{A1}^* (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) - \dot{S}_1^* (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) - \dot{S}_2^* \bar{Z}_3 = 0$$

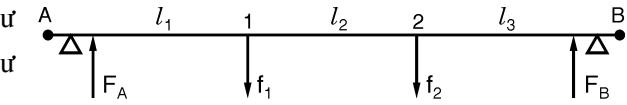
Suy ra:

$$\boxed{S_{A1}^* = \frac{\bar{S}_1^*(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) + \bar{S}_2^*\bar{Z}_3}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} = P_{A1} - jQ_{A1}} \quad (7.32)$$

Tương tự có được:

$$\boxed{S_{B2}^* = \frac{\bar{S}_1^*\bar{Z}_1 + \bar{S}_2^*(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} = P_{B2} - jQ_{B2}} \quad (7.33)$$

Các biểu thức  $\boxed{S_{A1}}$  và  $\boxed{S_{B2}}$  tương tự như các biểu thức về cân bằng moment lực như trong H.7.12, phản lực ở A và ở B cho bởi:



**Hình 7.12**

$$F_A = \frac{f_1(l_2 + l_3) + f_2 l_3}{l_1 + l_2 + l_3}; \quad F_B = \frac{f_1 l_1 + f_2 (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 + l_3} \quad (7.34)$$

Đối với mạng điện đồng nhất có tỷ số  $\frac{X_m}{R_m}$  không đổi trên tất cả các đoạn đường dây:

$$\bar{Z}_m = R_m + jX_m = R_m \left(1 + j \frac{X_m}{R_m}\right) = \text{hằng } \times R_m$$

Như vậy, thay vì phân bố công suất theo tổng trở, có thể phân bố theo điện trở:

$$\boxed{S_{A1} = \frac{\bar{S}_1(R_2 + R_3) + \bar{S}_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}} \quad (7.35)$$

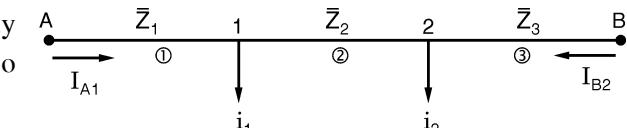
$$\boxed{S_{B2} = \frac{\bar{S}_1 R_1 + \bar{S}_2 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}} \quad (7.36)$$

Nếu trong mạng đồng nhất, tất cả đoạn đường dây dùng cùng một tiết điện và cùng cách bố trí dây ( $r_0 + jx_0 = \text{const}$ ) thì có phân bố công suất theo chiều dài:

$$\boxed{S_{A1} = \frac{\bar{S}_1(l_2 + l_3) + \bar{S}_2 l_3}{l_1 + l_2 + l_3}} \quad (7.37)$$

$$\boxed{S_{B2} = \frac{\bar{S}_1 l_1 + \bar{S}_2 (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 + l_3}} \quad (7.38)$$

Trường hợp cho phụ tải dòng điện thay vì phụ tải công suất, phân bố dòng điện theo công thức:



**Hình 7.13: Phụ tải dòng điện**

$$\boxed{I_{A1} = \frac{i_1(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) + i_2 \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3}} \quad (7.39)$$

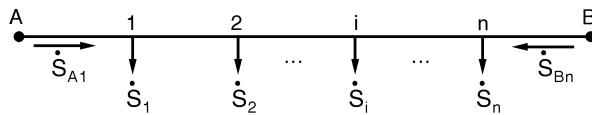
$$\dot{I}_{B2} = \frac{i_1 \bar{Z}_1 + i_i (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} \quad (7.40)$$

Với công thức phân bố công suất theo tổng trở:

$$\dot{S}_{A1}^* = \frac{\dot{S}_1^* (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) + \dot{S}_2^* \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i^* \bar{Z}_{iB}}{\bar{Z}_{AB}} \quad (7.41)$$

$$\dot{S}_{B2}^* = \frac{\dot{S}_1^* \bar{Z}_1 + \dot{S}_2^* (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i^* \bar{Z}_{iA}}{\bar{Z}_{AB}} \quad (7.42)$$

Biểu thức có dấu  $\Sigma$  viết cho trường hợp tổng quát có  $n$  phụ tải,  $Z_{iB}$  là tổng trở tính từ nút  $i$  đến đầu nguồn B và  $Z_{iA}$  tổng trở tính từ nút  $i$  đến đầu nguồn A. Công thức trên tính bằng số phức. Có thể khai triển để có được các biểu thức tính theo số thực. Cụ thể là:



**Hình 7.13bis**

$$\dot{S}_{A1}^* = P_{A1} + jQ_{A1}$$

với:  $P_{A1} = G_{AB} \sum (p_i R_{iB} + q_i X_{iB}) + B_{AB} \sum (p_i X_{iB} - q_i R_{iB})$  (7.43)

$$Q_{A1} = -G_{AB} \sum (p_i X_{iB} - q_i R_{iB}) + B_{AB} \sum (p_i R_{iB} + q_i X_{iB})$$

trong đó:  $\bar{Y}_{AB} = \frac{1}{\bar{Z}_{AB}} = G_{AB} - jB_{AB}$ ,  $\bar{Z}_{iB} = R_{iB} + jX_{iB}$ ,  $\dot{S}_i = p_i + jq_i$

Tương tự cho  $\dot{S}_{Bn}^* = P_{Bn} + jQ_{Bn}$  công suất từ đầu nguồn B về phía phụ tải  $n$  trong đó thay ký hiệu  $iB$  bằng  $iA$ .

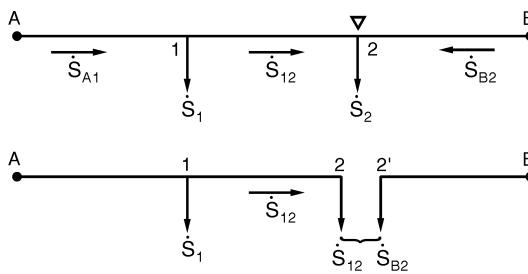
Biết được công suất ở hai đầu nguồn có thể tính được công suất trên các nhánh. Để kiểm tra kết quả tính toán, cần kiểm tra đẳng thức sau đây:

$$\dot{S}_{A1}^* + \dot{S}_{Bn}^* = \sum_{i=1}^n \dot{S}_i^* \quad (7.44)$$

(tổng công suất nguồn bằng tổng công suất phụ tải)

Nút có công suất đi đến từ hai phía gọi là điểm phân công suất, ký hiệu  $\nabla$ . Điểm này có điện áp thấp nhất trên đường dây. Công suất tác dụng và phản kháng đi vào điểm này từ hai phía.

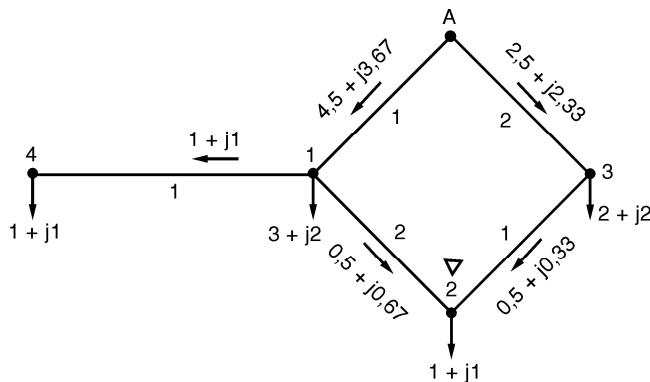
**Bước thứ hai:** Sau khi xác định được điểm phân công suất, bước tiếp theo là tách mạng điện kín thành hai mạng hở độc lập nhau. Ví dụ nút 2 là điểm phân công suất (H.7.14.).



**Hình 7.14:** Tách mạng kín thành hai mạng hở

Tách mạng điện hở ra tại nút 2 với hai phụ tải thành phần là  $S_{12}$  và  $S_{B2}$ . Đến đây hoàn toàn có thể áp dụng phương pháp tính toán cho mạng hở để tính điện áp ở các nút và tổn thất công suất trên đường dây đối với mạng hở truyền tải hay phân phối.

**Ví dụ 7.4:** Mạng điện 10 kV cung cấp điện từ nguồn A cho 4 phụ tải (tính bằng MVA), chiều dài km. Toàn bộ mạng điện dùng dây A-95 có  $D_{tb} = 1\text{m}$ . Tính sụt áp lớn nhất trong mạng điện lúc bình thường và sự cố ( $\Delta U\%$ )



Hình 7.15

### Giải

Tổng trở mỗi km đường dây:

$$\bar{z}_0 = 0,33 + j0,332 \quad \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Đây là mạng điện cùng tiết diện, phân bố công suất theo chiều dài với phụ tải 4 tập trung về nút 1:

$$\begin{aligned} \bar{S}_{A1} &= \frac{(4+j3)(2+1+2)+(1+j1)(1+2)+(2+j2)(2)}{1+2+1+2} \\ &= 4,5 + j3,67 \quad \text{MVA} \\ \bar{S}_{A3} &= \frac{(2+j2)(1+2+1)+(1+j1)(2+1)+(4+j3)(1)}{1+2+1+2} \\ &= 2,5 + j2,33 \quad \text{MVA} \end{aligned}$$

$$\text{Thử lại: } \bar{S}_{A1} + \bar{S}_{A3} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3 + \bar{S}_4 = 7 + j6 \quad \text{MVA}$$

Từ đó suy ra công suất đi trên các đoạn còn lại. Kết quả tính toán ghi trên hình vẽ. Nút 1 là điểm phân công suất (vừa tác dụng vừa phản kháng) nên nút 1 có điện áp thấp nhất trong mạch vòng và nút 4 có điện áp thấp nhất trong toàn mạng.

Tổn thất điện áp trên đoạn A-1:

$$\Delta U_{A1}\% = \frac{4,5 \times 0,33 + 3,67 \times 0,332}{10^2} \cdot 100\% = 2,7\%$$

$$\text{Tổn thất điện áp trên đoạn 1-2: } \Delta U_{12}\% = \frac{0,5 \times 0,33 \times 2 + 0,67 \times 0,332 \times 2}{10^2} \cdot 100\% = 0,77\%$$

Tổn thất điện áp trên đoạn 1-4:

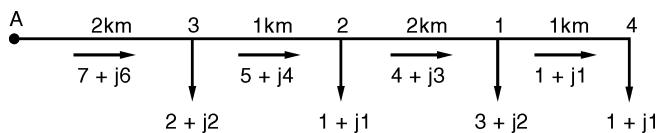
$$\Delta U_{14}\% = \frac{1 \times 0,33 + 1 \times 0,332}{10^2} \cdot 100\% = 0,66\%$$

Tổn thất điện áp lớn nhất trong toàn mạng:

$$\Delta U_{A2} \% = 2,7\% + 0,77\% = 3,47\%$$

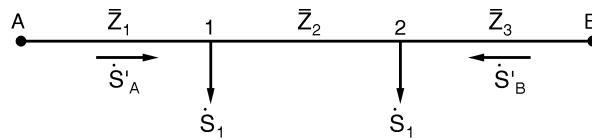
Trường hợp sự cố, sụt áp lớn nhất xảy ra khi đứt đoạn đường dây A1 (H.7.16), mạng trở thành hở cung cấp theo đường A-3-2-1-4, trong đó nút 4 có điện áp thấp nhất:

$$\begin{aligned}\Delta U_{A4} \% &= \left( \frac{(7 \times 0,33 \times 2 + 5 \times 0,33 + 4 \times 0,33 \times 2 + 1 \times 0,33)}{10^2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(6 \times 0,332 \times 2 + 4 \times 0,332 + 3 \times 0,332 \times 2 + 1 \times 0,332)}{10^2} \right) \cdot 100\% \\ &= 16,8\%\end{aligned}$$



**Hình 7.16**

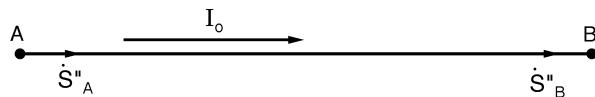
Trường hợp điện áp hai đầu nguồn khác nhau (H.7.17.), bài toán được giải bằng nguyên lý chồng chất.



**Hình 7.17:** Đường dây hai đầu cung cấp điện với  $U_A \neq U_B$

Trước hết, giả thiết điện áp hai đầu nguồn bằng nhau, tính công suất từ hai đầu nguồn theo các công thức đã biết.

Tình trạng thứ hai ứng với đường dây không tải (H.7.18.) và điện áp  $U_A \neq U_B$ , khi đó có dòng điện cân bằng  $I_0$ , giả sử theo chiều từ A đến B với  $U_A > U_B$ .



**Hình 7.18**

$$\boxed{I_0 = \frac{\boxed{U_A} - \boxed{U_B}}{\sqrt{3} \bar{Z}_{AB}}} \quad (7.45)$$

Công suất cân bằng:

$$\text{Tính theo } U_A: \quad \boxed{S''_A} = \sqrt{3} \cdot \boxed{U_A} \cdot \boxed{I_0} \quad (7.46)$$

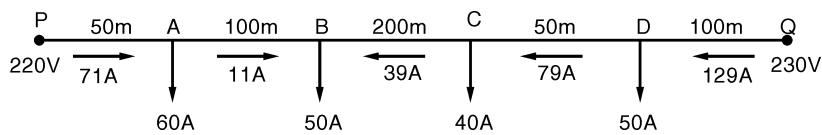
$$\text{Tính theo } U_B: \quad \boxed{S''_B} = \sqrt{3} \cdot \boxed{U_B} \cdot \boxed{I_0} \quad (7.47)$$

Xếp chồng hai tình trạng để có lời giải cuối cùng:

$$\begin{aligned}\boxed{S_A} &= \boxed{S'_A} + \boxed{S''_A} = \sqrt{3} \cdot \boxed{U_A} \cdot \boxed{I_0} + \frac{\boxed{S_1} (\bar{Z}_2^* + \bar{Z}_3^*) + S_2 Z_3^*}{Z_{AB}^*} \\ S_B &= \boxed{S'_B} - \boxed{S''_B} = -\sqrt{3} \cdot U_B \cdot I_0^* + \frac{S_1 Z_1^* + S_2 (Z_1^* + Z_2^*)}{Z_{AB}^*}\end{aligned} \quad (7.48)$$

**Ví dụ 7.5:** Một đường dây một pha hai dây PQ dài 500 m được cung cấp từ đầu P 220 V và đầu Q 230 V. Điện trở mỗi dây dẫn là  $0,0005 \Omega/m$  đối với cả hai dây đi và về (điện trở tổng của 1 m dây đi và về). Phụ tải dòng điện và khoảng cách ghi trên H.7.19.

Xác định điện áp tại điểm có điện áp thấp nhất.



Hình 7.19

**Giải:** Giả sử điện áp hai đầu cung cấp bằng nhau. Dòng điện hai đầu nguồn được tính như sau:

$$I_P = \frac{(50 \times 100) + 40 \times (50 + 100) + 50 \times (200 + 50 + 100) + 60 \times (100 + 200 + 50 + 100)}{500}$$

$$= 111 \text{ A}$$

Tương tự:

$$I'_Q = \frac{(60 \times 50) + 50 \times (100 + 50) + 40 \times (200 + 100 + 50) + 50 \times (50 + 200 + 100 + 50)}{500}$$

$$= 89 \text{ A}$$

Thử lại:

$$89 + 111 = 60 + 50 + 40 + 50$$

Chồng chất với dòng điện cân bằng  $I_0$  theo chiềuQP:

$$I_0 = \frac{230 - 220}{500 \times 0,0005} = \frac{10}{0,25} = 40 \text{ A}$$

Suy ra:

$$I_P = I'_P - I_0 = 111 - 40 = 71 \text{ A}$$

$$I_Q = I'_Q + I_0 = 89 + 40 = 129 \text{ A}$$

Kết quả phân bố dòng điện được ghi trên hình vẽ. Điểm B là điểm phân dòng điện và như vậy có điện áp thấp nhất:

$$U_B = 220 - 71 \times 0,0005 \times 50 - 11 \times 0,0005 \times 100$$

$$= 217,675 \text{ V}$$

### 7.3 ĐƯỜNG DÂY CÓ PHỤ TẢI PHÂN BỐ ĐỀU

#### 7.3.1 Tính sụt áp trên đường dây

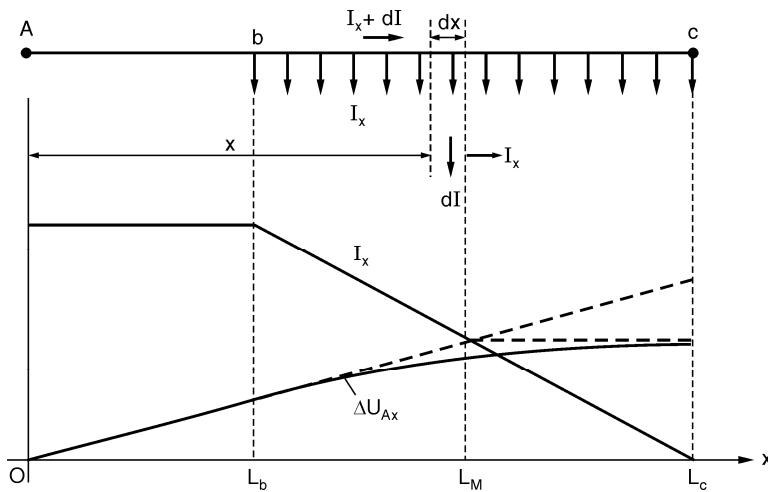
Xét đường dây có phụ tải phân bố đều với mật độ phụ tải công suất là  $s$  (kVA/km) hay mật độ phụ tải dòng điện là  $i$  (A/km) phân bố đều trên suốt chiều dài đường dây hay trên một đoạn đường dây.

Để đơn giản, chỉ xét mật độ phụ tải  $s$  trên một pha của đường dây (giả thiết có sự phân bố đối xứng trên ba pha) hay của đường dây một pha hai dây. Điện áp định mức là điện áp pha và sụt áp trên đường dây là sụt áp pha.

Mật độ dòng điện:  $i = \frac{s}{U_{dm}}$  với  $U_{dm}$  là điện áp pha định mức.

Hệ số công suất  $\cos\phi$  của phụ tải giả thiết không đổi và bằng trị số trung bình của  $\cos\phi$  thực tế.

Hình 7.20 trình bày đường dây một pha cung cấp cho mạng sinh hoạt có phụ tải phân bố đều từ b đến c.



**Hình 7.20**

Dòng điện phụ tải lấy điểm từ một đoạn  $dx$  của đường dây là:

$$dI = i \cdot dx$$

Như vậy dòng điện tổng  $I_x$  ở cách nguồn một đoạn  $x$  trong khoảng  $L_b$  và  $L_c$  là:

$$I_x = \int_x^{L_c} i \cdot dx = i(L_c - x) \quad (7.49)$$

Nếu chọn điện áp làm gốc thì  $\bar{I}_x = I_x \angle -\varphi$

Dòng điện trên đường dây thay đổi tuyến tính theo  $x$  (với  $x$  thay đổi từ  $L_b$  đến  $L_c$ ).

Sụt áp  $d\Delta U$  ngang qua đoạn vi cấp  $dx$  ở khoảng cách  $x$  kể từ nguồn:

$$d\Delta U = \bar{I}_x \bar{z}_0 dx = I_x z_0 \angle (\psi - \varphi) dx = i(L_c - x) z_0 \angle (\psi - \varphi) dx$$

với  $z_0$ : tổng trở mỗi km chiều dài đường dây;

$\bar{z}_0 = z_0 \angle \psi$  (kể cả đoạn dây đi và về trên đường dây một pha hai dây).

Góc lệch pha ( $\psi - \varphi$ ) của  $d\Delta U$  là so với điện áp tại điểm đang xét.

Dòng điện trên đoạn Ab:

$$I = I_x \Big|_{x=L_b} = i(L_c - L_b)$$

Sụt áp trên đoạn Ab:

$$\Delta U_{Ab} = \bar{Z}_{Ab} \cdot \bar{I} = z_0 L_b \cdot i \angle (\psi - \varphi) \cdot (L_c - L_b) \quad (7.50)$$

Sụt áp từ A đến x, với x ở trong khoảng bc:

$$\begin{aligned}
\Delta \bar{U}_{Ax} &= \Delta U_{Ab} + \Delta U_{bx} = \Delta U_{Ab} + \int_{L_b}^x d\Delta U \\
&= z_0 L_b i \angle(\psi - \varphi) (L_c - L_b) + z_0 i \angle(\psi - \varphi) \int_{L_b}^x (L_c - x) dx \\
&= z_0 L_b i \angle(\psi - \varphi) (L_c - L_b) + z_0 i \angle(\psi - \varphi) [L_c(x - L_b) - \frac{x^2}{2} + \frac{L_b^2}{2}] \\
\Delta \bar{U}_{Ax} &= z_0 i \angle(\psi - \varphi) \left( L_b L_c - L_b^2 + L_c x - L_c L_b - \frac{x^2}{2} + \frac{L_b^2}{2} \right) \\
\Delta \bar{U}_{Ax} &= z_0 i \angle(\psi - \varphi) \left( L_c x - \frac{x^2}{2} - \frac{L_b^2}{2} \right)
\end{aligned}$$

với  $L_b \leq x \leq L_c$

$$\begin{aligned}
\text{Khi } x = L_b: \quad \Delta \bar{U}_{Ab} &= z_0 i \angle(\psi - \varphi) (L_c L_b - L_b^2) \\
&= z_0 L_b i \angle(\psi - \varphi) (L_c - L_b)
\end{aligned} \tag{7.51}$$

$$\text{Khi } x = L_c: \quad \Delta \bar{U}_{Ac} = z_0 i \angle(\psi - \varphi) \frac{L_c^2 - L_b^2}{2} \tag{7.52}$$

Đồ thị  $\Delta U_{Ax}$  là đường thẳng khi  $0 \leq x \leq L_b$ , và là parabol khi  $L_b \leq x \leq L_c$ .

Về sụt áp  $\Delta U_{Ac}$  đến cuối đường dây có thể biến đổi tiếp như sau:

$$\Delta \bar{U}_{Ac} = z_0 i \angle(\psi - \varphi) \cdot (L_c - L_b) \frac{L_c + L_b}{2} \tag{7.53}$$

với  $i \cdot (L_b - L_c) = I$  là tổng dòng điện phụ tải;

$\frac{L_c + L_b}{2}$  là khoảng cách AM từ A đến trung điểm đoạn bc.

$$\Delta \bar{U}_{Ac} = z_0 \cdot AM \cdot I \angle(\psi - \varphi) = Z_{AM} I \angle(\psi - \varphi) \tag{7.54}$$

Như vậy, sụt áp đến cuối đường dây có phụ tải phân bố đều tương đương với sụt áp trên đường dây có phụ tải tập trung tại điểm giữa của đoạn có phụ tải phân bố. Phụ tải tập trung đó bằng tổng phụ tải trên đường dây phân bố đều.

Có thể tính phần trăm sụt áp theo hằng số sụt áp:

$$\Delta U \% = K \% \cdot S \cdot l_{td} \tag{7.55}$$

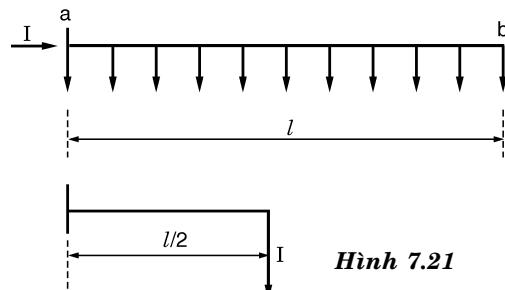
trong đó: S là tổng phụ tải kVA trên đoạn phân bố;

$$l_{td}: \text{chiều dài tương đương} = \frac{L_c + L_b}{2};$$

K%: hằng số sụt áp %/kVA.km

Tóm lại đối với một đoạn đường dây có phụ tải phân bố đều trên suốt đoạn đó thì mạch tương đương để tính sụt áp như sau (H.7.21.).

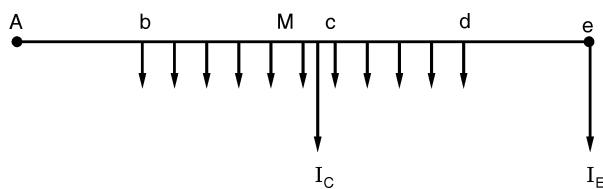
Ngoài ra, khi có một số phụ tải tập trung khác cũng lấy điện từ đường dây phụ tải phân bố đều thì sụt áp đến cuối đường dây có thể giải bằng phương



Hình 7.21

pháp chồng chất.

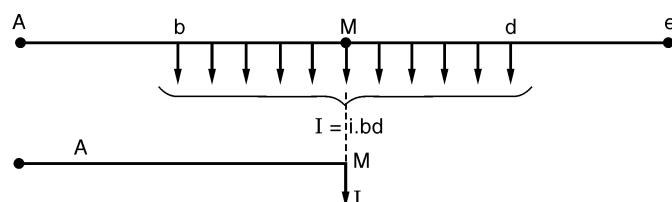
Hình 7.22. sau đây là một đường dây có phụ tải hỗn hợp vừa phân bố đều, vừa tập trung.



**Hình 7.22**

Tính toán sụt áp  $\Delta U_{Ae}$  trong hai tình trạng:

1. Chỉ có phụ tải phân bố đều (H.7.23.):

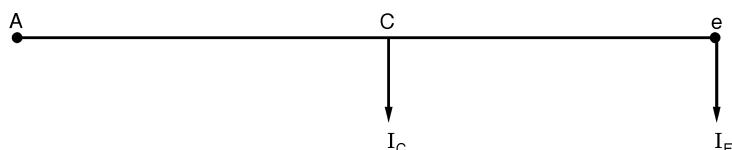


**Hình 7.23**

với  $i$ : mật độ phụ tải  $A/m$ , tổng phụ tải phân bố trên đoạn  $bd$ :  $I = i(bd)$

Tính  $\Delta U'_{Ae} = \Delta U_{AM}$  với tải  $I$  tập trung tại điểm giữa  $M$  của  $bd$ .

2. Chỉ cho phụ tải tập trung (H.7.24.):

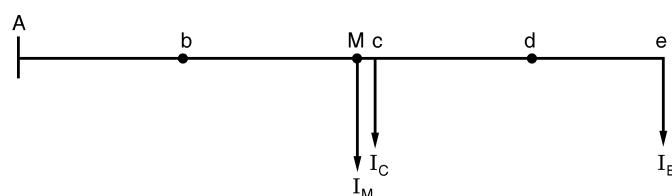


**Hình 7.24**

Tính  $\Delta U''_{Ae}$  với hai tải tập trung  $I_C$  và  $I_E$ . Chồng chất hai tình trạng 1 và 2 để có sụt áp thực tế:

$$\Delta U_{Ae} = \Delta U'_{Ae} + \Delta U''_{Ae} \quad (7.56)$$

Có thể không cần tính theo chồng chất và tính trực tiếp từ sơ đồ thay thế phụ tải tập trung như trong H.7.25.:



**Hình 7.25**

Dùng các công thức của đường dây liên thông có phụ tải tập trung để tính sụt áp.

**Ví dụ 7.6:** Một đường dây một pha hai dây dài 250m được cung cấp từ một đầu đường dây. Phụ tải phân bố đều trên suốt chiều dài đường dây với mật độ phụ tải 1,6 A/m. Điện trở mỗi mét dây là 0,0002  $\Omega/m$ . Tìm điện áp đầu nguồn để giữ điện áp 250 V ở hai trường hợp:

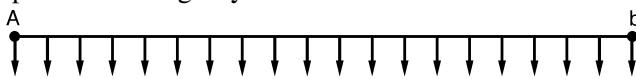
a) Cuối đường dây;

b) Giữa đường dây.

Giả thiết phụ tải có  $\cos\phi = 1$ , bỏ qua cảm kháng của đường dây.

**Giải**

a) Giữ điện áp ở cuối đường dây là 250 V.



Hình 7.26: Đường dây ví dụ 7.6

Sụt áp từ A đến b của đường dây phụ tải phân bố đều  $\Delta U_{Ab}$  cho bởi:

$$\Delta U_{Ab} = \frac{1}{2} I R$$

Tổng dòng điện phụ tải:

$$I = 1,6 \times 250 = 400 \text{ A}$$

Điện trở của đường dây gồm hai dây:

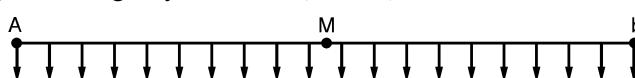
$$R = 250 \times 2 \times 0,0002 = 0,1 \Omega$$

Suy ra:  $\Delta U_{Ab} = \frac{1}{2} \times 400 \times 0,1 = 20 \text{ V}$

Điện áp đầu nguồn:

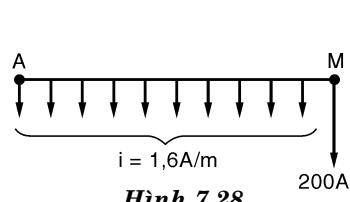
$$U_A = U_b + \Delta U_{Ab} = 250 + 20 = 270 \text{ V}$$

b) Giữ điện áp ở giữa đường dây là 250 V (H.7.27)



Hình 7.27

Sụt áp đến điểm giữa đường dây là sụt áp do phụ tải phân bố đều từ đầu A đến M cộng với sụt áp do dòng điện cung cấp cho nửa đường dây sau, giả thiết tập trung ở tại điểm giữa đường dây (H.7.28).



Hình 7.28

Áp dụng nguyên lý chồng chất:

- Chỉ có phân bố đều (H.7.29)



Hình 7.29

$$\begin{aligned} \Delta U'_{AM} &= \frac{1}{2} R_{AM} (i \cdot AM) = \frac{1}{2} \cdot \frac{0.1}{2} \cdot (1,6 \times 125) \\ &= \frac{1}{2} \times 0,05 \times 200 = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

- Chỉ có phụ tải tập trung (H.7.30).

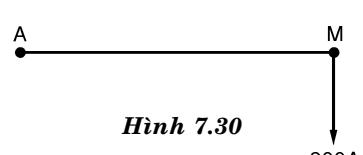
$$\Delta U''_{AM} = 0,05 \times 200 = 10 \text{ V}$$

Sụt áp tổng:

$$\Delta U_{AM} = \Delta U'_{AM} + \Delta U''_{AM} = 5 + 10 = 15 \text{ V}$$

Suy ra điện áp đầu A:

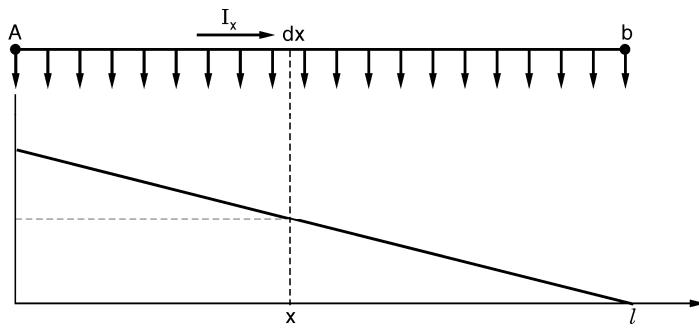
$$U_A = U_M + \Delta U_{AM} = 250 + 15 = 265 \text{ V}$$



Hình 7.30

### 7.3.2 Tính tổn thất công suất trên đường dây phụ tải phân bố đều

Đối với đường dây phân phối có các phụ tải lấy điện cách khoảng gần như bằng nhau qua các máy biến áp phân phối có công suất bằng nhau, do đó có thể xem như là phụ tải phân bố đều.



Điều. Dòng điện biến thiên theo phương trình bậc nhất dọc theo dây dẫn (H.7.31).

**Hình 7.31**

Dòng điện  $I_x$  trên đường dây cách đầu nguồn A một khoảng cách x:

$$I_x = i(l - x)$$

với  $i$  là mật độ phụ tải dòng điện trên một đơn vị chiều dài đường dây.

Xét một đoạn vi cấp  $dx$  của đường dây có điện trở  $r_0 dx$ ,  $r_0$  là điện trở mỗi đơn vị chiều dài đường dây.

Dòng  $I_x$  đi qua đoạn  $dx$  gây ra tổn thất công suất tác dụng trên ba pha:

$$d\Delta P = 3r_0 dx I_x^2$$

Suy ra tổn thất công suất trên toàn đường dây:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \int_0^l d\Delta P = \int_0^l 3r_0 I_x^2 dx \\ \Delta P &= \int_0^l 3r_0 i^2 (l - x)^2 dx\end{aligned}$$

Đặt  $u = l - x$ ,  $dx = -du$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 3r_0 i^2 \int_l^0 u^2 (-du) = 3r_0 i^2 \int_0^l u^2 du \\ \Delta P &= r_0 i^2 l^3 = r_0 l (i.l)^2 = RI^2\end{aligned}\tag{7.57}$$

với  $r_0 l = R$ : điện trở của toàn đường dây;

$i.l = I$  : dòng điện của phụ tải tổng.

Trong khi đó, nếu cũng phụ tải tổng là  $I$  nhưng tập trung ở cuối đường dây thì tổn thất công suất là:

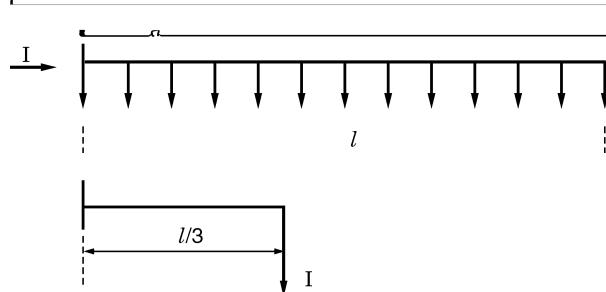
$$\Delta P = 3RI^2$$

Như vậy:

$$\boxed{\Delta P_{tập trung} = 3\Delta P_{phân bố đều}}\tag{7.58}$$

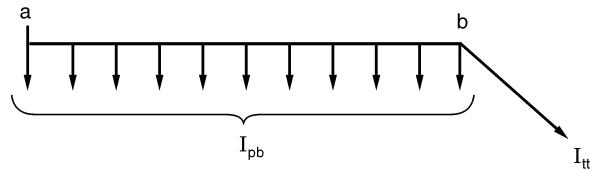
Tóm lại mạch tương đương để tính tổn thất trên đoạn đường dây chỉ có phụ tải phân bố đều

(H.7.32):



Hình 7.32

### 7.3.3 Tính tổn thất trên đoạn đường dây vừa có phụ tải tập trung ở cuối vừa có phụ tải phân bố đều



Hình 7.33

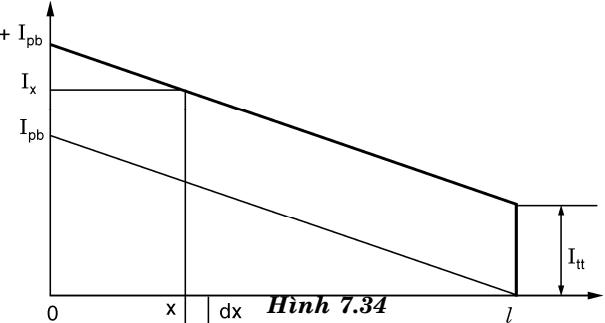
Hình 7.33 trình bày một đoạn đường dây ab vừa có phụ tải tập trung vừa có phụ tải phân bố đều. Gọi  $I_{pb}$  dòng điện tổng của phụ tải phân bố đều,  $I_{tt}$  là dòng điện tập trung ở cuối và giả thiết các phụ tải có cùng hệ số công suất. Đồ thị phân bố dòng điện dọc đường dây được vẽ trong H.7.34.

Dòng điện trên đường dây tại vị trí cách đầu đường dây một khoảng cách x:

$$I_x = I_{tt} + I_{pb} \cdot \frac{l-x}{l}$$

Tổn thất công suất trên một pha đoạn vi cấp quanh x:

$$\begin{aligned} d(\Delta P) &= I_x^2 r_0 dx = (I_{tt} + I_{pb} \frac{l-x}{l})^2 r_0 dx \\ &= I_{tt}^2 r_0 dx + I_{pb}^2 \left( \frac{l-x}{l} \right)^2 r_0 dx + 2I_{tt} I_{pb} \frac{l-x}{l} r_0 dx \end{aligned}$$



Hình 7.34

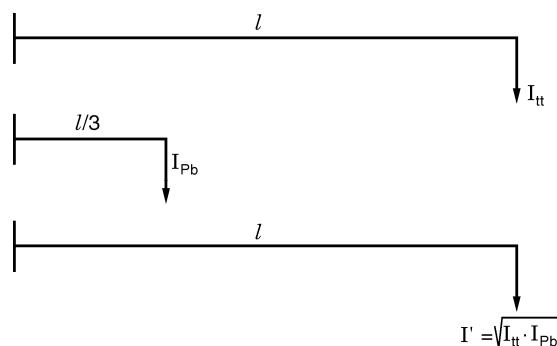
Suy ra tổn thất công suất trên toàn đường dây:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \int_0^l I_{tt}^2 r_0 dx + \int_0^l I_{pb}^2 \left( \frac{l-x}{l} \right)^2 r_0 dx + \int_0^l 2I_{tt} I_{pb} \frac{l-x}{l} r_0 dx \\ \Delta P &= (r_0 l) I_{tt}^2 + \left( \frac{r_0 l}{3} \right) I_{pb}^2 + (r_0 l) I^2 \end{aligned} \quad (7.59)$$

với  $r_0$ : điện trở một đơn vị chiều dài đường dây

$$I' = \sqrt{I_{tt} \cdot I_{pb}} \quad (7.60)$$

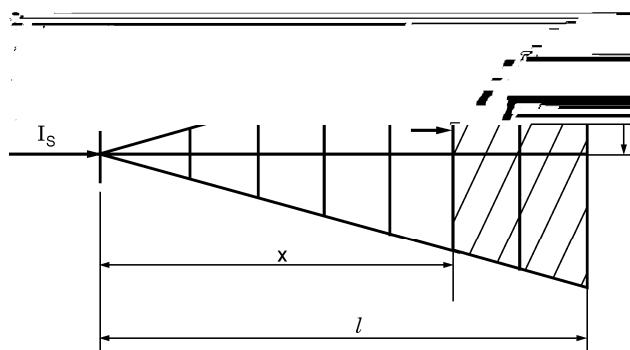
Từ biểu thức của  $\Delta P$  có thể tính tổn thất công suất bằng tổng tổn thất của ba mạch tương đương như sau (H.7.35):



Hình 7.35

#### 7.4 ĐƯỜNG DÂY CÓ PHỤ TẢI PHÂN BỐ TĂNG DẦN

Cho đoạn đường dây ba pha có phụ tải phân bố tăng dần theo H.7.36:



Hình 7.36

Gọi  $I_s$  là dòng điện tổng cung cấp từ đầu phát tuyến.

Diện tích vùng phụ tải:  $A = h \cdot l (\text{km}^2)$

Mật độ phụ tải (ampe trên một đơn vị diện tích):  $D_l = \frac{I_s}{A} = \frac{I_s}{h \cdot l} (\text{A}/\text{km}^2)$

Xét phụ tải trong vùng gạch chéo từ vị trí cách đầu đường dây khoảng cách  $x$  đến cuối đường dây, vùng này có diện tích:

$$A_x = (h + \frac{hx}{l})(l-x) = \frac{h}{l}(l+x)(l-x) = \frac{h}{l}(l^2 - x^2)$$

Dòng điện trên đường dây tại vị trí  $x$ :

$$I_x = D_l \cdot A_x = \frac{I_s}{h \cdot l} \cdot \frac{h}{l} (l^2 - x^2) = I_s \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)$$

Xét một đoạn vi cáp quanh vị trí  $x$ , dòng điện vi cáp gây ra sụt áp vi cáp (sụt áp pha):

$$d(\Delta U) = I_x |z_0| dx = I_s \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) |z_0| dx$$

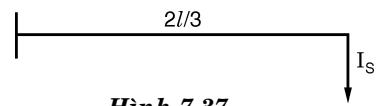
với  $|z_0|$ : tổng trở một km chiều dài đường dây.

Suy ra

$$\begin{aligned}\Delta U &= \int_0^l d(\Delta U) = |z_0| \cdot I_s \int_0^l \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) dx = |z_0| \cdot I_s \left(x - \frac{x^3}{3l^2}\right) \Big|_0^l \\ &= |z_0| \cdot I_s \cdot \left[l - \frac{l}{3}\right] = \frac{2}{3} |z_0| \cdot l \cdot I_s = \frac{2}{3} |\bar{Z}| \cdot I_s\end{aligned}\quad (7.61)$$

với  $|\bar{Z}|$  là tổng trở đường dây.

Kết quả cho thấy sụt áp tương đương với sụt áp gây ra bởi phụ tải tập trung tại điểm cách đầu đường dây một đoạn bằng  $2/3$  chiều dài đường dây. Mạch tương đương để tính sụt áp như sau (H.7.37).



Hình 7.37

Tương tự, tổn thất công suất một pha trên đoạn vi cáp  $dx$  quanh vị trí  $x$ , có dòng  $I_x$  đi qua:

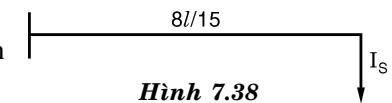
$$d(\Delta P) = I_x^2 \cdot r_0 dx = I_s^2 \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)^2 \cdot r_0 dx$$

với  $r_0$  là điện trở trên một km chiều dài đường dây.

$$\text{Suy ra: } \Delta P = \int_0^l d(\Delta P) = I_s^2 r_0 \int_0^l \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)^2 dx = \frac{8}{15} I_s^2 r_0 l = \frac{8}{15} I_s^2 R \quad (7.62)$$

với  $R = r_0 \cdot l$ : điện trở toàn đường dây.

Từ kết quả của  $\Delta P$  có thể vẽ mạch tương đương để tính tổn thất công suất (H.7.38).



Hình 7.38

## 7.5 CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA ĐỒ THỊ PHỤ TẢI

### 7.5.1 Đồ thị phụ tải

Phụ tải luôn luôn thay đổi theo thời gian. Đường cong biểu diễn nhu cầu phụ tải theo thời gian gọi là *đồ thị phụ tải*. Nếu được vẽ trong 24 giờ thì gọi là *đồ thị phụ tải ngày*. Nếu xét trong một năm thì có *đồ thị phụ tải năm*. Đồ thị năm tiện lợi trong việc dự báo yêu cầu về điện năng trong năm, sự xuất hiện của phụ tải vào những giờ và ngày khác nhau trong năm và về hiệu quả kinh tế trong cung cấp điện. Khi phụ tải thay đổi, phụ tải chỉ đạt *cực đại* trong một khoảng thời gian nào đó và giảm thấp trong khoảng thời gian còn lại, dạng của đồ thị phụ thuộc vào cách sử dụng điện của hộ tiêu thụ. Đồ thị phụ tải có thể biểu diễn sự biến thiên của phụ tải theo thời gian hay theo thời khoảng. Diện tích bên dưới đồ thị biểu diễn cho điện năng tiêu thụ. *Phụ tải trung bình* trong 24 giờ hay trong một khoảng thời gian định trước nhỏ hơn phụ tải cực đại.

*Hệ số phụ tải* (hay *hệ số điện kính phụ tải*)

Tỷ số giữa phụ tải trung bình và phụ tải cực đại gọi là *hệ số phụ tải*,  $K_{pt}$ .

$$K_{pt} = \frac{P_{tb}}{P_{max}} \quad (7.63)$$

Diện tích bên dưới đồ thị phụ tải biểu diễn cho số kWh điện năng A tiêu thụ trong thời gian khảo sát. Từ đó hệ số phụ tải cho bởi:

$$K_{pt} = \frac{\text{Điện năng A tiêu thụ trong 24 giờ}}{P_{max} \cdot 24 \text{ giờ}} \quad (7.64)$$

**Ví dụ 7.7:** Một phụ tải sinh hoạt có 15 bóng đèn, mỗi bóng có công suất định mức 40 W. Các đèn được thắp sáng hàng ngày như sau:

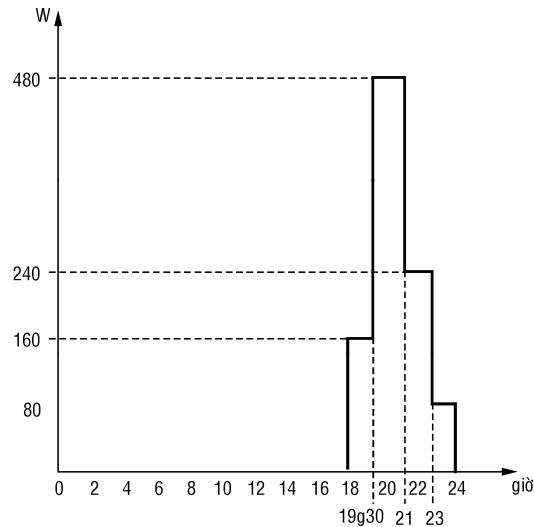
- a) 4 đèn từ 18 giờ đến 19 giờ 30;
- b) 12 đèn từ 19 giờ 30 đến 21 giờ;
- c) 6 đèn từ 21 giờ đến 23 giờ;
- d) 2 đèn từ 23 giờ đến 24 giờ.

Hãy vẽ đồ thị phụ tải ngày và tính hệ số phụ tải hàng ngày.

**Giải**

Điện năng tiêu thụ hàng ngày:

- a)  $4 \times 40 \times 1,5 = 240$  Wh;
- b)  $12 \times 40 \times 1,5 = 720$  Wh;
- c)  $6 \times 40 \times 2 = 480$  Wh;
- d)  $2 \times 40 \times 1 = \frac{80}{1520}$  Wh;



**Hình 7.39:** Đồ thị phụ tải của  
ví dụ 7.7

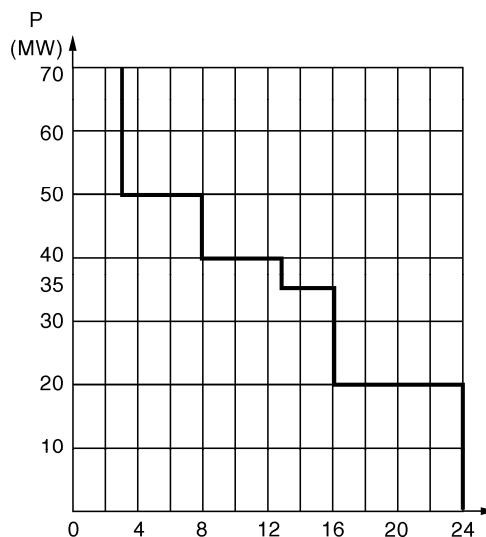
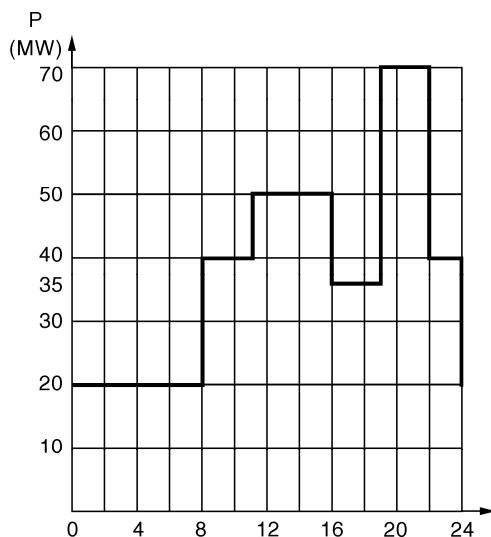
Công suất cực đại:  $P_{\max} = 40 \times 12 = 480$  W

Hệ số phụ tải:  $K_{pt} = \frac{P_{tb}}{P_{\max}} = \frac{P_{tb} \cdot T}{P_{\max} \cdot T} = \frac{1520}{480 \cdot 24} = 0,132$  (với  $T = 24$  giờ).

**Ví dụ 7.8:** Một phụ tải tiêu thụ có đồ thị phụ tải ngày như sau:

Giờ	6 – 8	8 – 11	11 – 16	16 – 19	19 – 22	22 – 24	24 – 6
P (kW)	20.000	40.000	50.000	35.000	70.000	40.000	20.000

Vẽ đồ thị phụ tải và đồ thị phụ tải theo thời khoảng và tính hệ số phụ tải.



**Giải**

**Hình 7.40:** a) Đồ thị phụ tải

b) Đồ thị phụ tải theo thời khoảng

Điện năng phát ra trong ngày (kWh):

	kWh
$20.000 \text{ kW} \times 8\text{h}$	$160 \times 10^3$
$35.000 \text{ kW} \times 3\text{h}$	$105 \times 10^3$
$40.000 \text{ kW} \times 5\text{h}$	$200 \times 10^3$
$50.000 \text{ kW} \times 5\text{h}$	$250 \times 10^3$
$\underline{70.000 \text{ kW} \times 3\text{h}}$	$\underline{210 \times 10^3}$
$24\text{h}$	$925 \times 10^3$

Công suất trung bình:

$$P_{tb} = \frac{A}{T} = \frac{925}{24} = 38,54 \text{ MW.}$$

Công suất cực đại  $P_{max} = 70 \text{ MW}$

Hệ số phụ tải:

$$K_{pt} = \frac{P_{tb}}{P_{max}} = \frac{38,54}{70} = 0,5506.$$

### 7.5.2 Các đặc trưng của đồ thị phụ tải

Giả sử có được đồ thị phụ tải theo thời khoảng có dạng đơn giản gồm hai bậc.

Đồ thị có trục tung là công suất tác dụng (tương tự có thể vẽ đồ thị phụ tải phản kháng  $Q$  hay đồ thị phụ tải theo công suất biểu kiến  $S$ ).

Diện tích của đồ thị phụ tải biểu diễn cho lượng điện năng tiêu thụ (hoặc phát).

Theo H.7.41 điện năng  $A$  cho bởi:

$$A = P_1 t_1 + P_2 t_2 \quad (7.65)$$

Đồ thị phụ tải thực tế luôn biến đổi và có thể gần đúng thành đồ thị nhiều bậc để tính điện năng, điện năng còn được đo đếm bằng điện năng kế.

Để đánh giá mức độ tiêu thụ điện năng, chọn lựa thiết bị như dây dẫn, máy biến áp, ước lượng tổn thất điện năng cần đưa ra một số các đặc trưng của đồ thị phụ tải.

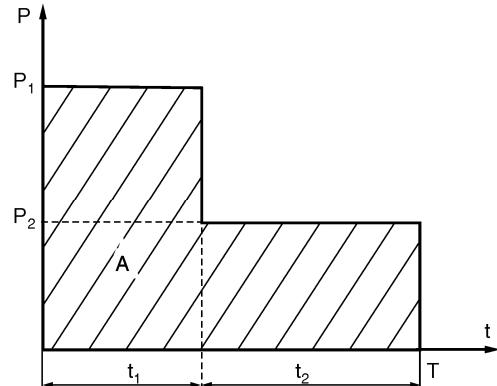
#### a) Thời gian sử dụng công suất cực đại ( $T_{max}$ )

Với đồ thị phụ tải hai cấp (H.7.42.)  $T_{max}$  thỏa mãn phương trình:

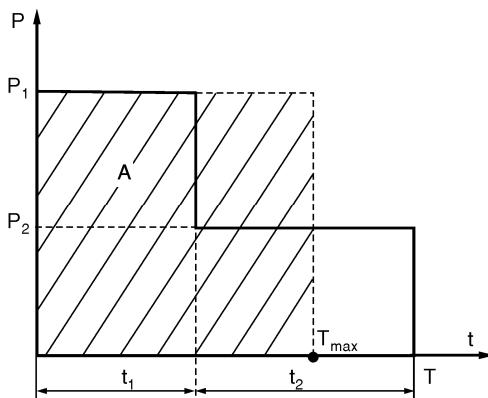
$$A = P_1 t_1 + P_2 t_2 = P_1 T_{max} = P_{max} T_{max} \quad (P_{max} = P_1) \quad (7.66)$$

Suy ra:  $T_{max} = \frac{\sum P_i t_i}{P_{max}} = \frac{A}{P_{max}}$  hay  $T_{max} = \frac{\sum S_i t_i}{S_{max}}$  nếu  $\cos \varphi$  không đổi (7.67)

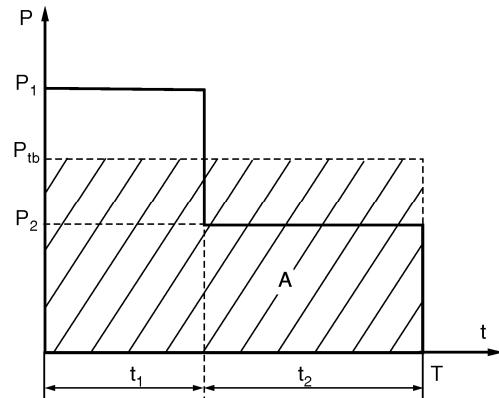
Vậy  $T_{max}$  là một khoảng thời gian lý thuyết mà, nếu sử dụng công suất  $P_{max}$  không đổi thì trong khoảng thời gian  $T_{max}$  lượng điện năng  $A$  bằng đúng lượng điện năng thực tế. Nếu thời gian  $t_1$  càng kéo dài hơn  $t_2$  thì  $T_{max}$  càng lớn, trường hợp  $t_1 = T$  thì  $T_{max}$  cũng bằng  $T$ .  $T_{max}$  phụ thuộc vào tính chất của phụ tải, qui trình của các xí nghiệp công nghiệp và có thể tham khảo từ các sổ tay cung cấp điện.



Hình 7.41



Hình 7.42



Hình 7.43

**b) Công suất trung bình ( $P_{tb}$ )**

Cũng với đồ thị phụ tải hai cấp (H.7.43.),  $P_{tb}$  thỏa mãn phương trình sau đây:

$$A = P_1 t_1 + P_2 t_2 = P_{tb} T \quad (7.68)$$

hay

$$P_{tb} = \frac{A}{T} \quad (7.69)$$

với  $T = t_1 + t_2$

Như vậy, nếu sử dụng  $P_{tb}$  không đổi trong suốt thời gian  $T$  thì lượng điện năng tính toán (hình chữ nhật  $P_{tb} \cdot T$ ) cũng bằng đúng điện năng thực tế. Để ý rằng, nếu đồ thị phụ tải càng bằng phẳng thì công suất trung bình càng cao (gần với  $P_1$  hơn). Hình dáng của đồ thị phụ tải phụ thuộc mức độ sử dụng điện theo thời gian và có ảnh hưởng đến  $P_{tb}$ .

**c) Hệ số phụ tải  $K_{pt}$** 

Hệ số phụ tải được định nghĩa:

$$K_{pt} = \frac{P_{tb}}{P_{max}} \quad (7.70)$$

Hệ số phụ tải  $K_{pt}$  còn ký hiệu là  $F_{LD}$  (*load factor*)

Hệ số phụ tải nói lên mức độ sử dụng điện, mức độ khai thác công suất của các thiết bị điện. Đồ thị phụ tải càng bằng phẳng,  $K_{pt}$  càng gần về 1;  $K_{pt}$  nói lên độ bằng phẳng của đồ thị nên còn gọi là *hệ số điện kín phụ tải*.

**d) Đồ thị tổn thất công suất tác dụng  $\Delta P$** 

Xét một đường dây cung cấp cho phụ tải ở cuối đường dây, tổng trở đường dây là  $R + jX$ :

Tổn thất công suất tác dụng trên đường dây:

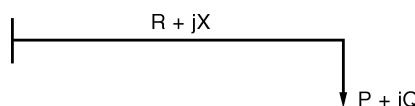
$$\Delta P = 3RI^2 = R \left( \frac{S}{U} \right)^2 = R \cdot \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \phi} \quad (7.71)$$

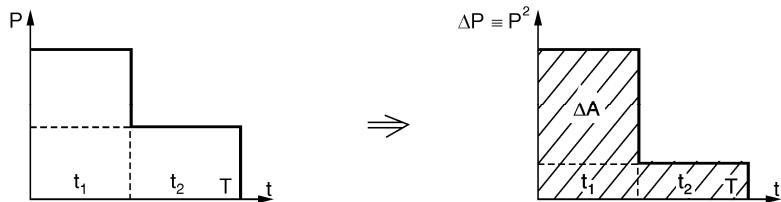
với  $P$ : công suất tác dụng ba pha

$U$ : điện áp dây ( $U \approx U_{dm}$ )

Giả thiết  $\cos\phi$  không đổi,  $U \approx U_{dm}$ ,  $\Delta P$  tỷ lệ với  $P^2$ .

Đồ thị  $\Delta P(t)$  đồng dạng với đồ thị  $P^2(t)$ .





Hình 7.44

Tổn thất công suất tác dụng  $\Delta P$  tương đương với một phụ tải, phụ tải “mất mát” mà nguồn phải cung cấp để bù vào tổn thất trên đường dây. Diện tích của đồ thị  $\Delta P(t)$  biểu diễn cho tổn thất điện năng  $\Delta A$  trên đường dây.

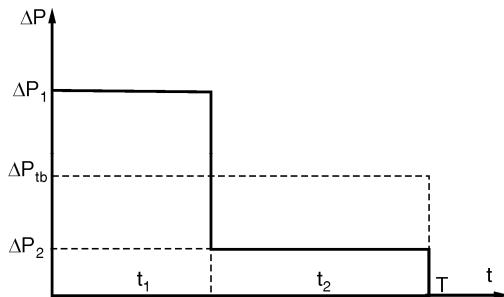
#### e) Tổn thất công suất trung bình ( $\Delta P_{tb}$ )

Với đồ thị tổn thất công suất giả thiết hai cấp (H.7.45). Tổn thất công suất trung bình thỏa mãn phương trình:

$$\Delta A = \Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 = \Delta P_{tb} T \quad (7.72)$$

hay

$$\Delta P_{tb} = \frac{\Delta A}{T} \quad (7.73)$$



Hình 7.45

#### f) Hệ số tổn thất

Nếu coi tổn thất như một phụ tải thì hệ số phụ tải của phụ tải “tổn thất” này gọi là hệ số tổn thất:

$$K_{tl} = \frac{\Delta P_{tb}}{\Delta P_{max}} \quad (7.74)$$

Hệ số  $K_{tl}$  còn có ký hiệu là  $F_{LS}$  (loss factor).

Nếu có đồ thị phụ tải và theo (7.71) thì hệ số tổn thất của đường dây cung cấp cho phụ tải cho bởi:

$$K_{tl} = \frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{P_{max}^2 \cdot T} \quad (7.74a)$$

Với một phụ tải đã cho, hệ số tổn thất là một giá trị ở khoảng giữa của hệ số phụ tải và bình phương hệ của hệ số phụ tải:

$$(K_{pt})^2 \leq K_{tl} \leq K_{pt} \quad (7.75)$$

Phương trình thường được dùng để xác định  $K_{tl}$  của hệ thống có dạng:

$$K_{tl} = a \cdot K_{pt} + (1 - a) K_{pt}^2$$

Các biểu thức gần đúng của hệ số tổn thất:

$$K_{tt} = 0,3K_{pt} + 0,7K_{pt}^2 \quad (7.76)$$

hay  $K_{tt} = 0,2K_{pt} + 0,8K_{pt}^2 \quad (7.77)$

Trong phần lớn các tổn thất, việc dùng hệ số tổn thất thường là đủ. Đôi khi, việc dùng số giờ tương đương của tổn thất cũng có thể xác định được tổn thất điện năng. Số giờ tương đương  $\tau$  của tổn thất trong một thời kỳ bằng tổn thất điện năng trong thời kỳ đó chia cho tổn thất công suất lúc phụ tải cực đại. Số giờ tương đương  $\tau$  bằng số giờ tổng của giai đoạn khảo sát nhân với hệ số tổn thất. Từ đó suy ra biểu thức tính tổn thất điện năng:

$$\Delta A = \Delta P_{tb} T = (K_{tt} \Delta P_{max}) T = (K_{tt} T) \Delta P_{max} = \tau \Delta P_{max} \quad (7.78)$$

trong đó,  $T$ : tổng số giờ của giai đoạn khảo sát;

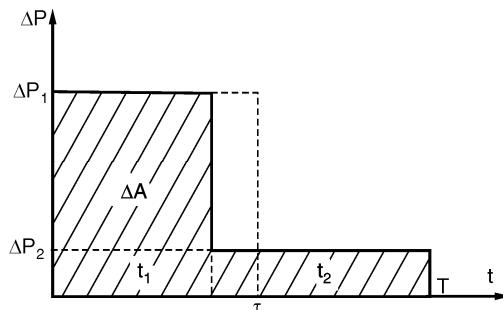
$\tau$ : số giờ tương đương (còn gọi là *thời gian tổn thất công suất cực đại*).

Để ý rằng  $\tau = K_{tt} T$ .

### g) Thời gian tổn thất công suất cực đại ( $\tau$ )

Nếu đồ thị phụ tải có thời gian đặc trưng là  $T_{max}$  thì đồ thị tổn thất cũng có thời gian đặc trưng tương ứng là  $\tau$ , gọi là thời gian tổn thất công suất cực đại.

Từ đồ thị tổn thất công suất hai cấp (H.7.46), thời gian  $\tau$  thỏa mãn phương trình:



Hình 7.46

$$\Delta A = \Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 = \Delta P_1 \tau = \Delta P_{max} \tau \quad (7.79)$$

Vì tổn thất công suất trong đồng tỷ lệ với  $S^2$  (hay  $P^2$  nếu hệ số công suất không đổi) và nếu biết được đồ thị phụ tải nhiều cấp thì thời gian  $\tau$  được xác định bởi:

$$\tau = \frac{\sum P_i^2 t_i}{P_{max}^2} \quad \text{hay} \quad \tau = \frac{\sum S_i^2 t_i}{S_{max}^2} \quad \text{nếu} \cos \square \text{ không đổi} \quad (7.80)$$

Nếu không có đồ thị phụ tải thì có thể tính gần đúng theo công thức:

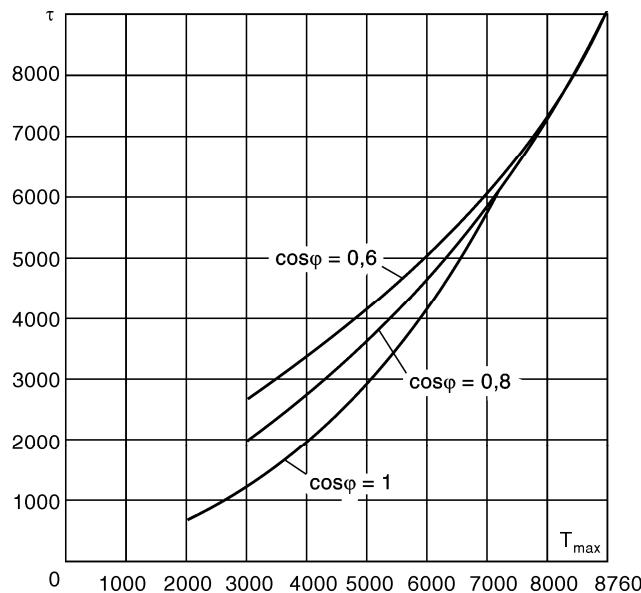
$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_{max}}{10^4} \right)^2 .8760 \quad \text{giờ/năm} \quad (7.81)$$

hoặc tra đồ thị  $\tau = f(T_{max}, \cos \phi)$  (H.7.47)

Thời gian tổn thất công suất cực đại  $\tau$  là thời gian tính toán mà nếu phụ tải giả thiết không đổi bằng  $P_{max}$  trong suốt thời gian  $\tau$  (ứng với tổn thất  $\Delta P_{max}$  trong suốt thời gian  $\tau$ ) thì tổn thất điện năng  $\Delta A$  trên đường dây bằng đúng tổn thất điện năng thực tế.

$$\Delta A = \Delta P_{max} \cdot \tau \quad (7.82)$$

Hệ số tổn thất  $K_{tt}$  hay thời gian  $\tau$  dùng để tính tổn thất điện năng trên đường dây và trong dây quấn của máy biến áp (tổn thất trong đồng).

Hình 7.47: Đồ thị  $\tau = f(T_{max}, \cos \varphi)$ 

## 7.6 TỔN THẤT CÔNG SUẤT TRONG MÁY BIẾN ÁP

### 7.6.1 Tổn thất công suất trong máy biến áp hai dây quấn

Tổn thất công suất trong máy biến áp gồm hai phần:

*a) Phần không đổi là tổn thất trong sắt bao gồm:*

- Tổn thất sắt  $\Delta P_{Fe}$  gần như không đổi và lấy bằng tổn hao không tải  $\Delta P_0$
- Tổn thất công suất phản kháng trong sắt coi như không đổi:  $\Delta Q_{Fe} = \frac{i_0 \% \cdot S_{dm}}{100}$ ,  $i_0 \%$ : phần trăm dòng điện không tải.

*b) Phần thay đổi theo tải bao gồm:*

- Tổn thất công suất tác dụng trong đồng, tỷ lệ với bình phương công suất  $S$  qua máy biến áp (tỷ lệ với  $S^2$ ).
- Tổn thất công suất phản kháng trong đồng cũng tỷ lệ với  $S^2$ .

Lúc máy mang tải bằng với công suất định mức  $S_{dm}$  của máy thì tổn thất công suất tác dụng trong đồng bằng với tổn hao trong thí nghiệm ngắn mạch:

$$\Delta P_{Cu,dm} = \Delta P_N \quad (7.83)$$

Khi máy mang tải khác định mức:

$$\Delta P_{Cu} = \left( \frac{S}{U} \right)^2 R_B \approx \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S}{S_{dm}} \right)^2 \quad (7.84)$$

Tương tự khi máy biến áp mang tải định mức thì tổn thất công suất phản kháng trong đồng cho bởi:

$$\Delta Q_{Cu,dm} = \frac{U_N \% \cdot S_{dm}}{100} \quad (7.85)$$

Khi máy mang tải khác định mức, tổn thất công suất phản kháng trong đồng cho bởi:

$$\Delta Q_{Cu} = \left( \frac{S}{U} \right)^2 X_B \approx \Delta Q_{Cu,dm} \left( \frac{S}{S_{dm}} \right)^2 \quad (7.86)$$

Tổn thất công suất trong máy biến áp:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \quad (7.87)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{Fe} + \Delta Q_{Cu} \quad (7.88)$$

### 7.6.2 Tổn thất công suất trong máy biến áp ba dây quấn

Theo sơ đồ thay thế hình sao của máy biến áp ba dây quấn thì tổn thất công suất bao gồm:

- Tổn thất công suất trong sắt  $\Delta P_{Fe} + j\Delta Q_{Fe}$  không đổi

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 ; \quad \Delta Q_{Fe} = \frac{i_0 \% \cdot S_{dm}}{100} \quad (7.89)$$

- Tổn thất trong đồng là tổn thất qua điện trở và điện kháng của ba cuộn dây cao (1), trung (2) và hạ (3).

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{Cu3} = \left( \frac{S_1}{U} \right)^2 \cdot R_1 + \left( \frac{S_2}{U} \right)^2 \cdot R_2 + \left( \frac{S_3}{U} \right)^2 \cdot R_3 \quad (7.90)$$

trong đó:

$S_1, S_2, S_3$  lần lượt là công suất đi qua các cuộn cao, trung và hạ. Gần đúng  $S_1 = S_2 + S_3$ .

$R_1, R_2, R_3$  lần lượt là điện trở cuộn cao, trung, hạ được qui đổi về phía cao áp.

U là điện áp phía cao áp lấy gần đúng bằng  $U_{dm,C}$

- Tương tự tổn thất công suất phản kháng trong đồng:

$$\Delta Q_{Cu} = \Delta Q_{Cu1} + \Delta Q_{Cu2} + \Delta Q_{Cu3} = \left( \frac{S_1}{U} \right)^2 \cdot X_1 + \left( \frac{S_2}{U} \right)^2 \cdot X_2 + \left( \frac{S_3}{U} \right)^2 \cdot X_3 \quad (7.91)$$

- Tổn thất công suất trong máy biến áp:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \quad (7.92)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{Fe} + \Delta Q_{Cu} \quad (7.93)$$

### 7.6.3 Tổn thất công suất trong máy biến áp tự ngẫu

Tính toán tổn thất giống như máy biến áp hai dây quấn nhưng tính tổn thất trong đồng phải tính riêng tổn thất trong từng nhánh của sơ đồ thay thế hình sao.

- Nhà sản xuất cho các tổn thất ngắn mạch giữa cao-trung, cao-hạ, trung-hạ:  $\Delta P_{C-T}$ ,  $\Delta P'_{C-H}$ ,  $\Delta P'_{T-H}$  trong đó  $\Delta P'_{C-H}$ ,  $\Delta P'_{T-H}$  tính theo công suất tiêu chuẩn của máy biến áp tự ngẫu ( $\alpha S_{dm}$ ).

- Qui đổi các tổn thất về công suất định mức:

$$\Delta P_{C-H} = \frac{\Delta P'_{C-H}}{\alpha^2} \quad \Delta P_{T-H} = \frac{\Delta P'_{T-H}}{\alpha^2} \quad (7.94)$$

trong đó

$$\alpha = \frac{U_C - U_T}{U_C} \quad (7.95)$$

- Suy ra tổn thất đồng định mức trong các nhánh cao, trung, hạ của sơ đồ hình sao

$$\Delta P_{Cu(C)} = \frac{1}{2} (\Delta P_{C-T} + \Delta P_{C-H} - \Delta P_{T-H}) \quad (7.96)$$

$$\Delta P_{Cu(T)} = \frac{1}{2}(\Delta P_{C-T} + \Delta P_{T-H} - \Delta P_{C-H}) \quad (7.97)$$

$$\Delta P_{Cu(H)} = \frac{1}{2}(\Delta P_{C-H} + \Delta P_{T-H} - \Delta P_{C-T}) \quad (7.98)$$

- Tổn thất công suất tác dụng trong đồng:

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{Cu(C)} \left( \frac{S_C}{S_{dm}} \right)^2 + \Delta P_{Cu(T)} \left( \frac{S_T}{S_{dm}} \right)^2 + \Delta P_{Cu(H)} \left( \frac{S_H}{S_{dm}} \right)^2 \quad (7.99)$$

trong đó  $S_C, S_T, S_H$  lần lượt là công suất phía cao, trung và hạ của máy biến áp.

- Tổn thất công suất phản kháng trong đồng:

Dựa vào các phần trăm điện áp ngắn mạch  $U'_{N(C-T)}\%$ ,  $U'_{N(C-H)}\%$ ,  $U'_{N(T-H)}\%$ .

Tính qui đổi về công suất định mức:

$$U'_{N(C-H)}\% = \frac{U'_{N(C-H)}}{\alpha} \quad U'_{N(T-H)}\% = \frac{U'_{N(T-H)}}{\alpha} \quad (7.100)$$

Tính tổn thất công suất kháng định mức trong đồng lần lượt giữa hai đầu:

$$\Delta Q_{Cu(C-T)} = \frac{U'_{N(C-T)} \% \cdot S_{dm}}{100} \quad (7.101)$$

$$\Delta Q_{Cu(C-H)} = \frac{U'_{N(C-H)} \% \cdot S_{dm}}{100} \quad (7.102)$$

$$\Delta Q_{Cu(T-H)} = \frac{U'_{N(T-H)} \% \cdot S_{dm}}{100} \quad (7.103)$$

Tính tổn thất công suất trong đồng định mức trên các nhánh của sơ đồ hình sao:

$$\Delta Q_{Cu(C)} = \frac{1}{2}(\Delta Q_{Cu(C-T)} + \Delta Q_{Cu(C-H)} - \Delta Q_{Cu(T-H)}) \quad (7.104)$$

$$\Delta Q_{Cu(T)} = \frac{1}{2}(\Delta Q_{Cu(C-T)} + \Delta Q_{Cu(T-H)} - \Delta Q_{Cu(C-H)}) \quad (7.105)$$

$$\Delta Q_{Cu(H)} = \frac{1}{2}(\Delta Q_{Cu(C-H)} + \Delta Q_{Cu(T-H)} - \Delta Q_{Cu(C-T)}) \quad (7.106)$$

Tính tổn thất công suất kháng trong đồng khi máy biến áp mang tải tương tự như tính tổn thất công suất tác dụng trong đồng.

$$\Delta Q_{Cu} = \Delta Q_{Cu(C)} \left( \frac{S_C}{S_{dm}} \right)^2 + \Delta Q_{Cu(T)} \left( \frac{S_T}{S_{dm}} \right)^2 + \Delta Q_{Cu(H)} \left( \frac{S_H}{S_{dm}} \right)^2 \quad (7.107)$$

## 7.7 TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRONG TRẠM BIẾN ÁP

### 7.7.1 Trạm có một máy biến áp

Do tổn thất công suất trong sätt không đổi còn tổn thất công suất trong đồng thay đổi theo tải nên tổn thất điện năng trong trạm được tính:

$$\Delta A = \Delta A_{Fe} + \Delta A_{Cu} = \Delta P_{Fe} \cdot t + \Delta P_{Cu,max} \cdot \tau \quad (7.108)$$

trong đó,  $t$ : thời gian vận hành, ví dụ một năm, 8760 giờ.

$\tau$ : thời gian tổn thất công suất lớn nhất.  $\tau$  được tính từ đồ thị phụ tải hoặc dùng công thức gần đúng.

$$\Delta P_{Cu,max} = \Delta P_{Cu,dm} \cdot \left( \frac{S_{max}}{S_{dm}} \right)^2 \quad (7.109)$$

Tổn thất điện năng trong trạm có thể được tính trực tiếp từ đồ thị phụ tải nhiều cấp:

$$\Delta A = \Delta P_{Fe} \cdot t + \sum \Delta P_{Cu,i} \cdot t_i \quad (7.110)$$

với

$$\Delta P_{Cu,i} = \Delta P_{Cu,dm} \cdot \left( \frac{S_i}{S_{dm}} \right)^2 \quad (7.111)$$

### 7.7.2 Trạm có nhiều máy biến áp vận hành song song

Điều kiện để các máy biến áp vận hành song song là:

- Có cùng điện áp phía sơ cấp và thứ cấp, cùng tỷ số biến áp;
- Cùng phần trăm điện áp ngắn mạch  $U_N\%$ , cùng tỷ số  $R_B/X_B$ ;
- Cùng nhóm đấu dây tạo ra góc lệch pha giữa điện áp phía sơ sáp và thứ cấp như nhau trên các máy;
- Cùng chỉnh ở một đầu phân áp;
- Thiết kế ở cùng một tần số (50 Hz);
- Cùng thứ tự pha phía sơ và thứ cấp.

Khi thỏa các điều kiện trên thì phân bố công suất qua mỗi máy biến áp tỷ lệ với công suất định mức của máy. Nếu gọi  $S_\Sigma$  là tổng công suất trạm cung cấp có  $n$  máy biến áp vận hành song song thì phân bố công suất qua một máy cho bởi:

$$S_i = S_\Sigma \cdot \frac{S_{dm,i}}{\sum S_{dm,i}} \quad (7.112)$$

Nếu có  $n$  máy biến áp có công suất định mức bằng nhau và thỏa điều kiện mắc song song và vận hành suốt năm thì tổn thất điện năng trong trạm cho bởi:

$$\Delta A = n(\Delta P_{Fe} \cdot t + \Delta P_{Cu,dm} \cdot \left( \frac{S_{max}/n}{S_{dm}} \right)^2 \cdot \tau) \quad (7.113)$$

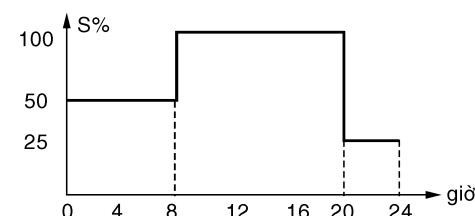
$$= n \cdot \Delta P_{Fe} \cdot t + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S_{max}}{S_{dm}} \right)^2 \tau \quad (7.114)$$

trong đó  $S_{max}$  là công suất cực đại qua trạm.

Nếu có  $n_i$  máy giống nhau vận hành song song trong thời gian  $t_i$  ứng với công suất qua trạm là  $S_i$  thì tổn thất điện năng theo đồ thị phụ tải cho bởi:

$$\Delta A = \sum n_i \Delta P_{Fe} \cdot t_i + \sum \left( \frac{1}{n_i} \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S_i}{S_{dm}} \right)^2 t_i \right) \quad (7.115)$$

**Ví dụ 7.9:** Xác định tổn thất công suất tác dụng, tổn thất công suất phản kháng và tổn thất điện năng trong một năm của trạm biến áp 110/10 kV gồm hai máy biến áp vận hành song song. Công suất định mức của máy biến áp là 560 kVA. Đồ thị phụ tải hàng ngày của máy biến áp cho trên H.7.48.. Phụ tải cực đại của trạm là 1000



Hình 7.48

kVA,  $\cos\phi = 0,8$ . Cả hai máy biến áp đều vận hành suốt năm. Máy biến áp 560 kVA có tham số như sau:

$$\Delta P_{Fe} = 2,5 \text{ kW}, \Delta P_{Cu,dm} = 9,4 \text{ kW}, U_N\% = 5,5\%, i_0\% = 6\%$$

### Giải

a) Tính tổn thất công suất lúc phụ tải cực đại.

Tổn thất công suất tác dụng trong máy biến áp gồm hai phần: phần không đổi  $\Delta P_{Fe}$  và phần tỷ lệ với bình phương công suất đi qua máy biến áp là tổn hao trong đồng  $\Delta P_{Cu}$ . Trạm gồm hai máy biến áp làm việc thường xuyên nên tổn thất công suất lúc cực đại được viết như sau:

$$\begin{aligned}\Delta P_{max} &= 2 \times \Delta P_{Fe} + 2 \times \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S_{max}}{2 \times S_{dm}} \right)^2 \\ &= (2 \times 2,5) + 2 \times 9,4 \times \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2 = 19,9 \text{ kW.}\end{aligned}$$

Tương tự:  $\Delta Q_{max} = 2 \times \Delta Q_{fe} + 2 \times \Delta Q_{cu,dm} \left( \frac{S_{max}}{2 \times S_{dm}} \right)^2$

Biết rằng  $\Delta Q_{Fe} = i_0\% \cdot \frac{S_{dm}}{100}$

và  $\Delta Q_{Cu,dm} = U_N\% \cdot \frac{S_{dm}}{100}$

Từ đó:  $\Delta Q_{max} = 2 \times \frac{6 \times 560}{100} + 2 \times \frac{5,5 \times 560}{100} \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2$ .

$$= 67,3 + 49 = 116,3 \text{ kVAr.}$$

b) Tính tổn thất điện năng

Cách 1:

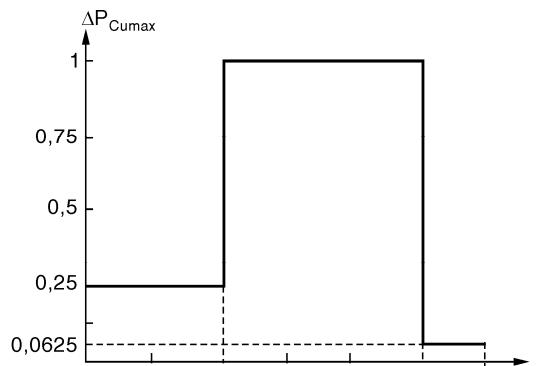
Tìm thời gian tổn thất công suất cực đại.

Từ đồ thị phụ tải, suy ra đồ thị tổn thất trong H.7.49 (tỷ lệ với  $S^2$  khi  $\cos\phi$  không đổi) đối với phần tổn thất trong đồng.

Thời gian tổn thất công suất cực đại trong một năm:

$$\tau = \frac{(8 \text{ giờ} \times 0,25 + 12 \text{ giờ} \times 1 + 4 \text{ giờ} \times 0,0625)}{1^2} \times$$

365 ngày/năm = 5201 giờ/năm.



Hình 7.49

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\begin{aligned}\Delta A &= 2 \times \Delta P_{Fe} \times 8760 + 2 \times \Delta P_{Cu,dm} \times \left( \frac{S_{max}}{2 \times S_{dm}} \right)^2 \tau \\ &= 2 \times 2,5 \times 8760 + 2 \times 9,4 \times \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2 \times 5201 = 43800 + 77948 = 121748 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Cách 2:

Có thể tính tổn thất điện năng thông qua hệ số tổn thất:

Hệ số tổn thất  $K_{tl}$ :

$$K_{tl} = (8 \times 0,5^2 + 12 \times 1^2 + 4 \times 0,25^2) / (1^2 \cdot 24) = \frac{14,25}{24} = 0,59375.$$

Tổn thất công suất trung bình trong đồng của một máy:

$$\Delta P_{cu,lb} = \Delta P_{Cu,max} \cdot K_{tl} = 9,4 \times \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2 \times 0,59375 = 4,449 \text{ kW.}$$

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\Delta A = 2 \times (\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu,lb}) \times 8760 = 2 (2,5 + 4,449) \times 8760 = 121746 \text{ kWh.}$$

Cách 3: Dùng đồ thị hoặc công thức kinh nghiệm.

Trường hợp chỉ cho thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{max}$  nhưng không có đồ thị phụ tải cụ thể.

$T_{max}$  có thể biết được nhờ điện năng  $A$  đo được trên công tơ trong thời gian  $T$  và công suất cực đại  $P_{max}$ :

$$T_{max} = \frac{A}{P_{max}}$$

Trong ví dụ này, có thể tính  $T_{max}$  từ đồ thị phụ tải:

$$T_{max} = \frac{(0,5 \times 8\text{giờ} + 1 \times 12\text{giờ} + 0,25 \times 4\text{giờ})}{1} \times 365 \text{ ngày/năm}$$

$$= (4 + 12 + 1) \times 365 = 17 \times 365 = 6205 \text{ giờ/năm.}$$

- Bây giờ giả thiết nếu chỉ cho biết phụ tải có  $T_{max} = 6200$  giờ/năm,  $\cos\phi = 0,80$  và không có đồ thị phụ tải thì có thể tra đồ thị  $\tau = f(T_{max}, \cos\phi)$ :

Với  $\cos\phi = 0,80$ ,  $T_{max} = 6200$  giờ, tra được  $\tau = 4800$  giờ.

Áp dụng công thức trong cách 1 để tính  $\Delta A$ , ở đây gặp phải sai số do  $\tau$  tra từ đường cong không hoàn toàn chính xác.

$$\Delta A = 2 \times \Delta P_{Fe} \times 8760 + 2 \times \Delta P_{cu,lb} \times \left( \frac{S_{max}}{2 \times S_{dm}} \right)^2 \times \tau$$

$$= 2 \times 2,5 \times 8760 + 2 \times 9,4 \times \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2 \times 4800 = 43800 + 71938 = 115738 \text{ kWh.}$$

- Cũng có thể dùng công thức kinh nghiệm để tính thời gian  $\tau$  nếu chỉ biết  $T_{max}$  và không có đồ thị phụ tải. Giả thiết biết  $T_{max} = 6200$  giờ, thời gian  $\tau$  cho bởi công thức:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_{max}}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{6200}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 4848 \text{ giờ/năm}$$

$$\text{Suy ra: } \Delta A = 2 \times 2,5 \times 8760 + 2 \times 9,4 \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2 \times 4848 = 43800 + 72658 = 116458 \text{ kWh.}$$

- Nếu chỉ biết hệ số phụ tải  $K_{pt}$  và không có đồ thị phụ tải thì có thể tính gần đúng hệ số tổn thất theo công thức:

$$K_{tl} = 0,3 \cdot K_{pt} + 0,7 \cdot K_{pt}^2$$

Chẳng hạn tính hệ số phụ tải của đồ thị trên:

$$K_{pt} = \frac{P_{tb}}{P_{max}} = \frac{A}{24 \times P_{max}} = \frac{\sum S_i t_i}{24 \times S_{max}} = \frac{50 \times 8 + 100 \times 12 + 25 \times 4}{100 \times 24} = 0,708$$

Bây giờ nếu chỉ cho  $K_{pt} = 0,708$  và không biết đồ thị phụ tải thì tính gần đúng hệ số tổn thất:

$$K_{tt} = 0,3 \times 0,708 + 0,7 \times 0,708^2 = 0,5632$$

Tổn thất công suất trung bình trong đồng của một máy:

$$\Delta P_{cu,tb} = \Delta P_{Cu,max} \cdot K_{tt} = 9,4 \times \left( \frac{1000}{2 \times 560} \right)^2 \times 0,5632 = 4,22 \text{ kW}$$

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\Delta A = 2 \times (\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu,tb}) \times 8760 = 2 (2,5 + 4,22) \times 8760 = 117734 \text{ kWh.}$$

## 7.8 CHỌN TIẾT DIỆN DÂY TRONG MẠNG PHÂN PHỐI

Máy biến áp, dây dẫn cũng như các phần tử khác của mạng điện được lựa chọn căn cứ vào các chỉ tiêu kỹ thuật và kinh tế.

Về mặt kỹ thuật cần chọn lựa máy biến áp thỏa mãn điều kiện phát nóng của cuộn dây có xét đến tính già cỗi của cách điện nhằm đảm bảo tuổi thọ của máy biến áp. Trong khi đó, việc chọn tiết diện dây dẫn phải thỏa mãn hàng loạt yêu cầu kỹ thuật. Ngoài phát nóng và tổn thất điện áp là hai yêu cầu chung nhất, tiết diện dây dẫn của đường dây trên không phải đảm bảo điều kiện về hạn chế vướng quang điện và về độ bền cơ, đối với cáp cần kiểm tra ổn định nhiệt khi ngắn mạch.

Về mặt kinh tế, các phần tử được lựa chọn phải thỏa mãn các chỉ tiêu kinh tế như cực tiểu hàm chi phí tính toán, tổn thất điện năng nhỏ nhất hay chi phí kim loại màu ít nhất.

Trong thực tế thiết kế mạng điện thường đề ra một yêu cầu chính để lựa chọn tiết diện dây dẫn và sau đó kiểm tra các yêu cầu còn lại. Ví dụ, dây dẫn đường dây trên không mạng điện truyền tải được lựa chọn theo chỉ tiêu kinh tế và kiểm tra chỉ tiêu kỹ thuật, trái lại dây dẫn trong mạng phân phối được lựa chọn theo điều kiện tổn thất điện áp cho phép, dây dẫn trong mạng xí nghiệp lựa chọn theo điều kiện phát nóng...

Mạng điện phân phối do nhiều phụ tải mắc trực tiếp không qua máy biến áp nên yêu cầu về chất lượng điện áp rất chặt chẽ, mặt khác khả năng điều chỉnh điện áp trong mạng phân phối cũng hạn chế so với mạng truyền tải. Vì vậy, khi thiết kế mạng phân phối thường căn cứ vào mức tổn thất điện áp cho phép để chọn tiết diện dây.

### 7.8.1 Chọn dây theo cùng tiết diện và thỏa mãn điều kiện sụt áp cho phép

*Đối với đường dây có một phụ tải, tổn thất điện áp được tính theo công thức:*

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{dm}} = \frac{PR}{U_{dm}} + \frac{QX}{U_{dm}} = \Delta U' + \Delta U'' \quad (7.116)$$

trong đó:  $\Delta U'$  - thành phần tổn thất điện áp do công suất tác dụng gây ra;

$\Delta U''$  - thành phần tổn thất điện áp do công suất phản kháng gây ra.

Nếu lấy tổn thất điện áp trên đường dây bằng trị số cho phép  $\Delta U_{cp}$

$$\Delta U_{cp} = \Delta U' + \Delta U'' \quad (7.117)$$

Vì cảm kháng đường dây trên không thay đổi trong phạm vi hẹp  $x_0 \approx 0.33 \div 0.43 \Omega/km$ , một cách gần đúng có thể lấy một trị số trung bình và tính gần đúng thành phần  $\Delta U''$ .

$$\Delta U'' = \frac{QX}{U_{dm}} = \frac{Qx_0 l}{U_{dm}} \quad (7.118)$$

Từ đó xác định trị số cho phép của thành phần  $\Delta U'$ :

$$\Delta U'_{cp} = \Delta U_{cp} - \Delta U'' \quad (7.119)$$

$$\text{Mặt khác vì: } \Delta U'_{cp} = \frac{PR}{U_{dm}} = \frac{Pr_0 l}{U_{dm}} = \frac{\rho Pl}{U_{dm} F} \quad (7.120)$$

với  $\rho$  là điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn;

$F$  là tiết diện dây,  $l$  là chiều dài đường dây.

Từ đó xác định tiết diện dây dẫn cần tìm:

$$F = \frac{\rho Pl}{U_{dm} \Delta U'_{cp}} \quad (7.121)$$

Với  $\rho$ : điện trở suất của kim loại

$$\rho_{Al} = 31,5 \Omega \cdot mm^2/km; \quad \rho_{Cu} = 18,8 \Omega \cdot mm^2/km$$

$$P (kW), \quad l (km), \quad U_{dm} (kV), \quad \Delta U'_{cp} (V), \quad F (mm^2)$$

hay:

$$F = \frac{Pl}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cp}} \quad (7.122)$$

trong đó  $\gamma$ : điện dẫn suất của kim loại

$$\gamma_{Al} = 31,7 \cdot 10^{-3} \frac{km}{\Omega \cdot mm^2}$$

$$\gamma_{Cu} = 53 \cdot 10^{-3} \frac{km}{\Omega \cdot mm^2}$$

Chọn tiết diện dây dẫn tiêu chuẩn gần với tiết diện tính toán. Với tiết diện này, tra bảng tìm  $r_0$  và  $x_0$  và tính toán kiểm tra tổn thất điện áp trên đường dây.

Trường hợp đường dây liên thông cung cấp cho một số phụ tải, tương tự cũng cho một trị số trung bình  $x_0$  và xác định được:

$$\Delta U'' = \frac{x_0}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n Q_i l_i = \frac{x_0}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n q_i L_i \quad (7.123)$$

Từ đó suy ra trị số thành phần  $\Delta U'_{cp}$  do điện trở, dây dẫn và trên cơ sở của công thức:

$$\Delta U'_{cp} = \frac{r_0}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n P_i l_i = \frac{r_0}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n p_i L_i = \Delta U_{cp} - \Delta U'' \quad (7.124)$$

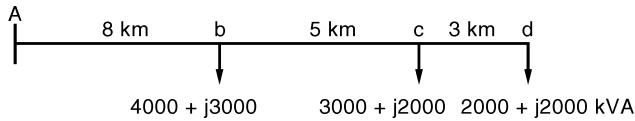
Xác định tiết diện của đường dây (cùng tiết diện)

$$F = \frac{\rho}{\Delta U'_{cp} \cdot U_{dm}} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (7.125)$$

Để xác định tiết diện lõi cáp, lấy  $x_0 \approx 0.08 \Omega/km$ .

**Ví dụ 7.10:** Mạng điện 35 kV cung cấp cho ba phụ tải, chiều dài đường dây và phụ tải cho trên

H.7.50. Hãy xác định tiết diện dây dẫn cho mạng điện nếu toàn bộ mạng điện dùng dây nhôm.  
Cho tổn thất điện áp cho phép  $\Delta U_{cp}\% = 6\%$ .



**Giải**

**Hình 7.50**

Lấy trị số trung bình  $x_0 = 0,4\Omega/km$ , xác định thành phần tổn thất điện áp do cảm kháng và công suất kháng trên toàn đường dây  $\Delta U''$ :

$$\Delta U'' = \frac{0.4}{35} [(3+2+2).10^3.8 + (2+2).10^3.5 + 2.10^3.3] \approx 940 \text{ V}$$

Suy ra:

$$\Delta U'_{cp} = 6\%. 35000 - 940 = 1160 \text{ V}$$

Tiết diện của toàn bộ đường dây cho bởi:

$$\begin{aligned} F &= \frac{\rho}{\Delta U'_{cp} \cdot U_{dm}} \sum P_i l_i \\ F &= \frac{31.5}{1160 \times 35} [(4+3+2).10^3.8 + (3+2).10^3.5 + 2.10^3.3] = 80 \text{ mm}^2 \\ (\rho_{Al} &= 31.5 \Omega \text{mm}^2 / \text{km}) \end{aligned}$$

Chọn dây nhôm A-70.

Với dây A-70, khoảng cách trung bình giữa các pha  $D = 1,25\text{m}$  có  $r_0 = 0,45 \Omega/\text{km}$   $x_0 = 0,355 \Omega/\text{km}$ . Tổng trở mỗi đoạn đường dây:

$$\bar{Z}_1 = (0,45 + j0,355).8 = 3,6 + j2,84 \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = (0,45 + j0,355).5 = 2,25 + j1,775 \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = (0,45 + j0,355).3 = 1,35 + j1,065 \Omega$$

Kiểm tra tổn thất điện áp trên toàn bộ đường dây:

$$\Delta U_{Ad}\% = \frac{(9.3,6 + 5.2,25 + 2.1,35) + (7.2,84 + 4.1,775 + 2.1,65)}{35^2} \cdot 100 = 6,16\%$$

Kết quả này cho thấy, chọn dây A-70 là chấp nhận được.

*Ghi chú:*

- Trường hợp đường dây phân nhánh,  $\Delta U''$  được xác định theo đường đi bắt đầu từ nguồn và rẽ qua nhánh nào có trị số tính được lớn nhất.

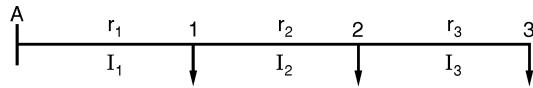
- Trường hợp cho phụ tải dòng điện thay  $\frac{q_i}{U_{dm}}$  bằng  $\sqrt{3} i_i \sin \phi_i$  và thay  $\frac{p_i}{U_{dm}}$  bằng

$\sqrt{3} i_i \cos \phi_i$  với  $i_i$  và  $\cos \phi_i$  là dòng điện và hệ số công suất của phụ tải  $i$  hoặc thay  $\frac{Q_m}{U_{dm}}$  bằng  $\sqrt{3} I_m \sin \phi_m$  và thay  $\frac{P_m}{U_{dm}}$  bằng  $\sqrt{3} I_m \cos \phi_m$  với  $I_m$  và  $\cos \phi_m$  là dòng điện và hệ số công suất của đoạn  $m$ .

### 7.8.2 Xác định tiết diện dây dẫn theo mật độ dòng điện không đổi và thỏa điều kiện sụt áp cho phép

Đối với mạng điện cung cấp cho phụ tải tiêu thụ có thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{max}$  lớn thì thành phần tổn thất điện năng chiếm tỷ trọng lớn trong hàm chi phí tính toán. Trong trường hợp này, tiết diện tối ưu của mạng điện được lựa chọn theo mục tiêu chuẩn tổn thất điện áp không vượt quá trị số cho phép. Kết hợp với điều kiện tổn thất này trong mạng là ít nhất.

Với một lượng kim loại màu của dây dẫn cho trước, tổn thất điện năng trong mạng điện sẽ nhỏ nhất khi mật độ dòng điện trên các đoạn đường dây không đổi. Có thể chứng minh điều này bằng cách lấy đạo hàm riêng của tổn thất công suất một pha theo tiết diện dây dẫn và cho bằng không, lấy ví dụ đường dây cung cấp cho ba phụ tải trong H.7.51.



Hình 7.51

$$\Delta P = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2 + r_3 I_3^2 \text{ (viết cho một pha)} \quad (7.126)$$

$$= \rho \left( \frac{l_1 I_1^2}{F_1} + \frac{l_2 I_2^2}{F_2} + \frac{l_3 I_3^2}{F_3} \right) \quad (7.127)$$

Với khối lượng kim loại màu cho trước (tính cho một pha):

$$V = F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3 \quad (7.128)$$

hay  $F_3 = \frac{1}{l_3} (V - F_1 l_1 - F_2 l_2)$  (7.129)

Thay  $F_3$  tính theo  $F_1$  và  $F_2$  vào biểu thức của  $\Delta P$  và lấy đạo hàm theo  $F_1$  và  $F_2$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial F_1} = 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial \Delta P}{\partial F_2} = 0$$

Giải các phương trình đạo hàm riêng có được:

$$\frac{I_1}{F_1} = \frac{I_2}{F_2} = \frac{I_3}{F_3} \quad (7.130)$$

hay  $j_1 = j_2 = j_3 = \text{const}$

Để chọn tiết diện dây, cần tiến hành các bước như sau:

- Cho một trị số cảm kháng trung bình  $x_0$  và tính thành phần sụt áp  $\Delta U'$

- Tính  $\Delta U'_{cp} = \Delta U_{cp} - \Delta U'$

$$\Delta U'_{cp} = \sqrt{3} (r_1 I_1 \cos \varphi_1 + r_2 I_2 \cos \varphi_2 + r_3 I_3 \cos \varphi_3) \quad (7.131)$$

$$= \rho \sqrt{3} \left( \frac{I_1}{F_1} l_1 \cos \varphi_1 + \frac{I_2}{F_2} l_2 \cos \varphi_2 + \frac{I_3}{F_3} l_3 \cos \varphi_3 \right) \quad (7.132)$$

$$= \rho \sqrt{3} j (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3) \quad (7.133)$$

- Tính mật độ dòng cho toàn bộ đường dây:

$$j = \frac{\gamma \Delta U'_{cp}}{\sqrt{3} \cdot (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3)} \quad (7.134)$$

với  $\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \cos \varphi_3$  là hệ số công suất trên từng đoạn đường dây,  $\gamma = \frac{1}{\rho}$  là điện dẫn suất.

- Tính tiết diện cho từng đoạn đường dây:

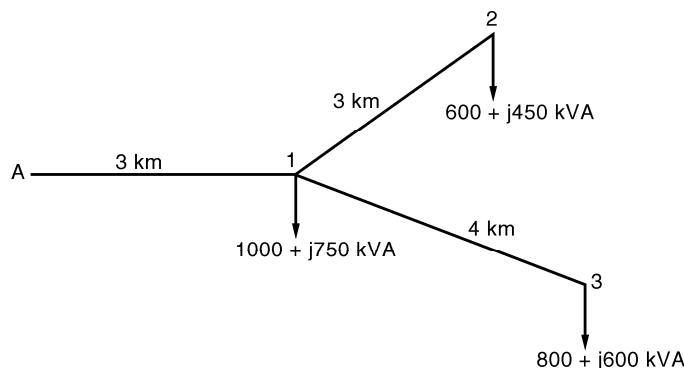
$$F_1 = \frac{I_1}{j}, \quad F_2 = \frac{I_2}{j}, \quad F_3 = \frac{I_3}{j} \quad (7.135)$$

- Chọn dây tiêu chuẩn và kiểm tra sụt áp thực tế.

Trường hợp mạng điện có phân nhánh, tính  $\Delta U''$  theo đường đi bắt đầu từ nguồn rẽ qua nhánh nào có tổng  $\sum Q_m l_m$  lớn nhất và tính mật độ dòng theo đường bắt đầu từ nguồn rẽ qua nhánh nào có tổng  $\sum l_i \cos \varphi_i$  lớn nhất.

Khi tính mật độ dòng  $j$  cần so sánh với  $j_{kt}$  (xem chương 8). Nếu  $j < j_{kt}$  thì chọn tiết diện dây theo mật độ dòng  $j$ , nếu  $j > j_{kt}$  thì chọn tiết diện dây theo mật độ  $j_{kt}$ .

**Ví dụ 7.11:** Mạng điện 10 kV cung cấp cho ba xí nghiệp bằng đường dây trên không, dây dẫn bằng nhôm, công suất kVA của phụ tải và chiều dài đường dây cho trên H.7.52, tất cả phụ tải có hệ số công suất bằng 0,8. Thời gian sử dụng công suất lớn nhất  $T_{max} = 4500$  giờ/năm. Hãy xác định tiết diện dây dẫn nếu tổn thất điện áp cho phép là 6%.



Hình 7.52

**Giải**

Cho  $x_0 = 0.35 \Omega/km$ , xác định  $\Delta U''$  theo tuyế̄n A.1.3

$$\Delta U''_{A13} = \frac{1}{10} [(600 \cdot 0.35 \cdot 4) + (600 + 450 + 750) \cdot 0.35 \cdot 3] = 274 \text{ V}$$

Thành phần  $\Delta U'_{cp}$  trên tuyế̄n A.1.3

$$\Delta U'_{cp} = \Delta U'_{A13} = \Delta U_{cp} - \Delta U''_{A13} = 6\% \cdot 10000 - 274 = 326 \text{ V}$$

Mật độ dòng điện không đổi:

$$j = \frac{\gamma \Delta U'_{cp}}{\sqrt{3} \cdot (l_1 \cos \varphi_1 + l_3 \cos \varphi_3)}$$

với

$$\gamma_{Al} = 31,7 \cdot 10^{-3} \text{ km}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_3 = 0,80$$

$$j = \frac{31,7 \cdot 10^{-3} \cdot 326}{\sqrt{3} (3,0,8 + 4,0,8)} = 1,05 \text{ A/mm}^2$$

(đoạn A.1 và đoạn 1.3)

Với dây nhôm  $T_{max} = 4500$  giờ ta được  $j_{kt} = 1,1 \text{ A/mm}^2$

$j < j_{kt}$  nên dùng  $j = 1,05 \text{ A/mm}^2$  để xác định tiết diện.

$$F_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{P_1}{\sqrt{3}jU_{dm} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{1+0,8+0,6}{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot 10 \cdot 0,8} \cdot 10^3 = 158 \text{ mm}^2$$

$$F_3 = \frac{I_3}{j} = \frac{0,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,8} = 55 \text{ mm}^2$$

Chọn tiết diện đoạn 1 là A-150 và đoạn 3 là A-50

Giả thiết khoảng cách pha D = 1m, có được thông số đường dây

$$\bar{z}_{01} = 0,21 + j0,319 \Omega / \text{km}$$

$$\bar{z}_{03} = 0,63 + j0,355 \Omega / \text{km}$$

Kiểm tra lại tổn thất điện áp với những tiết diện vừa chọn:

$$\Delta U_{A13} = \frac{(1000+800+600) \cdot 0,21 \cdot 3 + (750+450+600) \cdot 0,319 \cdot 3 + 800 \cdot 0,63 \cdot 4 + 600 \cdot 0,355 \cdot 4}{10} = 610 \text{ V}$$

So sánh với  $\Delta U_{cp} = 600 \text{ V}$ , kết quả có thể chấp nhận được.

Chọn tiết diện đoạn 12:

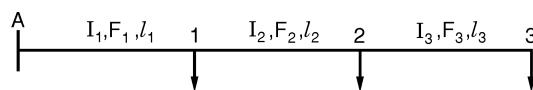
$$F_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{P_2}{\sqrt{3}jU_{dm} \cos \varphi_2} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot 10 \cdot 0,8} = 41,24 \text{ mm}^2$$

Chọn dây A-50

### 7.8.3 Xác định tiết diện dây dẫn theo chi phí kim loại màu ít nhất và điều kiện sụt áp cho phép

Đối với mạng điện có  $T_{max}$  nhỏ, ví dụ mạng điện nông nghiệp thành phần vốn đầu tư cho dây dẫn chiếm tỷ trọng lớn hơn thành phần tổn thất điện năng trong hàm chi phí tính toán. Vì vậy đối với mạng điện này tiết diện được chọn sao cho phí tổn về kim loại màu là ít nhất.

Giả thiết mạng điện cung cấp cho một số phụ tải (H.7.53) với tổn thất điện áp cho phép  $\Delta U_{cp}$ . Cho một trị số trung bình  $x_0$  sẽ xác định được  $\Delta U'$  và  $\Delta U'_{cp}$ .



Hình 7.53

Có thể phân tích  $\Delta U'_{cp}$  thành ba số hạng:

$$\Delta U'_{cp} = \Delta U'_1 + \Delta U'_2 + \Delta U'_3 \quad (7.136)$$

Tiết diện của các đoạn dây được tính theo các trị số  $\Delta U'$

$$F_1 = \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} \Delta U'_1} \quad F_2 = \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} \Delta U'_2} \quad F_3 = \frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} \Delta U'_3} \quad (7.137)$$

với  $P_1, P_2, P_3$  lần lượt là công suất tác dụng trên các đoạn 1, 2 và 3.

$$\text{Thể tích dây dẫn (1 pha): } V = \frac{1}{\gamma U_{dm}} \left( \frac{P_1 l_1^2}{\Delta U'_1} + \frac{P_2 l_2^2}{\Delta U'_2} + \frac{P_3 l_3^2}{\Delta U'_{cp} - \Delta U'_1 - \Delta U'_2} \right) \quad (7.138)$$

$$\text{Thể tích nhỏ nhất khi: } \frac{\partial V}{\partial \Delta U'_1} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial \Delta U'_2} = 0 \quad (7.139)$$

$$\text{tức là khi: } \frac{P_1 l_1^2}{(\Delta U'_1)^2} = \frac{P_2 l_2^2}{(\Delta U'_2)^2} = \frac{P_3 l_3^2}{(\Delta U'_3)^2} \quad (7.140)$$

Biết rằng  $\Delta U'_1 = \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} F_1}, \Delta U'_2 = \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} F_2}, \dots$  (7.141)

Suy ra:  $P_1 \frac{F_1^2}{P_1^2} = P_2 \frac{F_2^2}{P_2^2} = P_3 \frac{F_3^2}{P_3^2}$  (7.142)

$$\frac{F_1^2}{P_1} = \frac{F_2^2}{P_2} = \frac{F_3^2}{P_3}$$
 (7.143)

Tính được  $F_1$  và  $F_2$  theo  $F_3$

$$F_1 = \sqrt{\frac{P_1}{P_3}} F_3 \quad F_2 = \sqrt{\frac{P_2}{P_3}} F_3$$
 (7.144)

Viết lại biểu thức  $\Delta U'_{cp}$

$$\Delta U'_{cp} = \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} F_1} + \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} F_2} + \frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} F_3}$$
 (7.145)

$$= \frac{1}{\gamma U_{dm}} \left( \frac{P_1 l_1}{\sqrt{\frac{P_1}{P_3}} F_3} + \frac{P_2 l_2}{\sqrt{\frac{P_2}{P_3}} F_3} + \frac{P_3 l_3}{F_3} \right)$$
 (7.146)

Từ đó suy ra:  $F_3 = \frac{\sqrt{P_3}}{\gamma U_{dm} \cdot \Delta U'_{cp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3})$  (7.147)

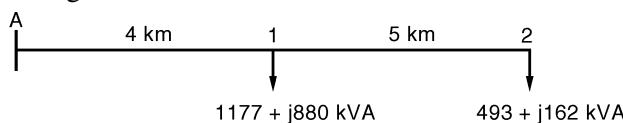
Tương tự:  $F_2 = \frac{\sqrt{P_2}}{\gamma U_{dm} \cdot \Delta U'_{cp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3})$  (7.148)

$$F_1 = \frac{\sqrt{P_1}}{\gamma U_{dm} \cdot \Delta U'_{cp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3})$$
 (7.149)

Tổng quát, tiết diện đoạn thứ  $k$  của đường dây liên thông có  $n$  đoạn:

$$F_k = \frac{\sqrt{P_k}}{\gamma U_{dm} \cdot \Delta U'_{cp}} \sum_{i=1}^n l_i \sqrt{P_i}$$
 (7.150)

**Ví dụ 7.12:** Mạng điện 10 kV cung cấp cho hai tải, chiều dài đường dây và công suất cho trên H.7.54, tổn thất điện áp cho phép bằng 6%. Hãy lựa chọn tiết diện dây dẫn theo chi phí kim loại màu ít nhất, dây nhôm, khoảng cách  $D = 1m$ .



Hình 7.54

### Giải

Cho  $x_0 = 0,36 \Omega/km$ , tính  $\Delta U''$ :

$$\Delta U'' = \frac{0,36}{10} [(162 + 880) \cdot 4 + 162 \cdot 5] = 179 \text{ V}$$

Suy ra:  $\Delta U'_{cp} = \Delta U_{cp} - \Delta U'' = 600 - 179 = 421 \text{ V}$

Xác định tiết diện dây dẫn:

$$F_2 = \frac{\sqrt{P_2}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cp}} \sum_{i=1}^2 l_i \sqrt{P_i}$$

$$F_2 = \frac{\sqrt{493} \cdot 10^3}{10.421.31,7} [5\sqrt{493} + 4\sqrt{1670}] = 45 \text{ mm}^2 \text{ chọn dây A-50}$$

$$F_1 = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} F_2 = \sqrt{\frac{1670}{493}} 45 = 83 \text{ mm}^2 \text{ chọn dây A-70}$$

Tổng trở mỗi đơn vị chiều dài đường dây

$$\bar{z}_{01} = 0,45 + j0,341 \Omega/\text{km}$$

$$\bar{z}_{02} = 0,63 + j0,355 \Omega/\text{km}$$

Kiểm tra tổn thất điện áp toàn mạng điện:

$$\Delta U \% = \frac{(1670 \cdot 0,45 + 1042 \cdot 0,341) \cdot 4 + (493 \cdot 0,63 + 162 \cdot 0,355) \cdot 5}{10^2 \cdot 10^3} \cdot 100 \% = 6,26 \% \approx \Delta U_{cp} \%$$

Vậy kết quả chọn tiết diện dây chấp nhận được.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 7

- 7.1.** Một đường dây tải điện dùng dây AC-120, dài 90 km, ba pha đặt trên ba đỉnh tam giác đều, mỗi cạnh  $D = 4$  m. Phụ tải cuối đường dây là  $P_2 = 40 \text{ MW}$ ,  $\cos\phi = 0,80$ . Điện áp ở phụ tải là  $U_2 = 110 \text{ kV}$ . Xác định tổn thất điện áp dọc đường dây và điện áp đầu đường dây.

ĐS:  $\Delta U = 18,39 \text{ kV}$ ;  $\delta U = 7,13 \text{ kV}$ ;  $U_1 = 128,6 \text{ kV}$

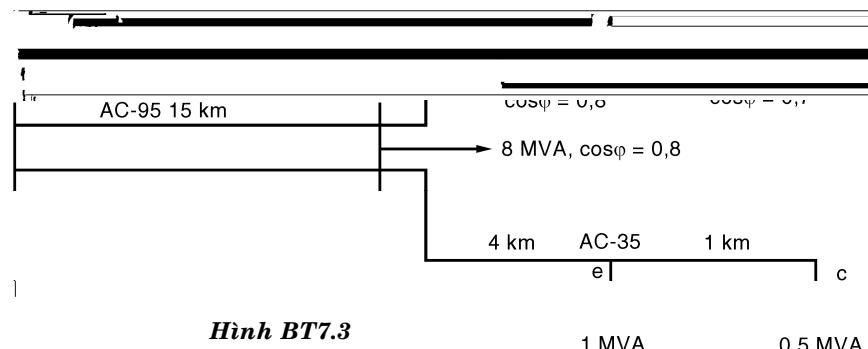
- 7.2.** Một đường dây lôpép 220 kV, dài 200 km, dùng dây AC-300, cung cấp cho phụ tải có công suất  $S_2 = 240 + j116 \text{ MVA}$ ,  $\cos\phi = 0,9$ . Điện áp cuối đường dây là 218 kV. Cho biết dây AC-300 có các tham số sau:

$$r_0 = 0,096 \Omega/\text{km}, \quad x_0 = 0,422 \Omega/\text{km}, \quad b_0 = 2,71 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\Omega \cdot \text{km}$$

Xác định công suất và điện áp đầu đường dây,  $\Delta P \%$ , hiệu suất tải điện  $\eta$ , góc lệch pha giữa điện áp đầu và cuối đường dây.

ĐS:  $S_1 = 253,3 + j114,7 \text{ MVA}$ ;  $U_1 = 250 \text{ kV}$ ;  $\Delta P \% = 5,55 \%$ ;  $\eta = 94,45 \%$ ;  $\delta = 9,8^\circ$

- 7.3.** Một mạng điện 35 kV dùng dây nhôm lõi thép treo trên trụ hình  $\Pi$ , khoảng cách giữa các dây dẫn kề cận là 3m. Chiều dài đường dây tính theo km, cỡ dây, phụ tải MVA, hệ số công suất phụ tải cho trên H.BT7.3. Điện trở và cảm kháng 1 km của đường dây:



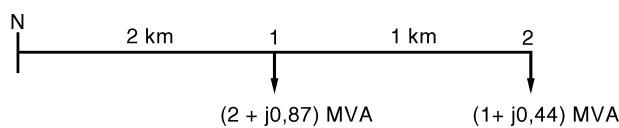
Dây AC-35:  $r_0 = 0,91 \Omega/\text{km}$   $x_0 = 0,442 \Omega/\text{km}$

Dây AC-95:  $r_0 = 0,33 \Omega/\text{km}$   $x_0 = 0,41 \Omega/\text{km}$

Tính phần trăm sụt áp lớn nhất trên mạng điện

$$\text{ĐS: } \Delta U_{\max} \% = \Delta U_{Ab} \% = 3,96\%$$

- 7.4. Xác định tổn thất điện năng hàng năm trong mạng điện ba pha điện áp định mức 10 kV. Đoạn N–1 dùng dây A–150 có điện trở  $r_0 = 0,21 \Omega/\text{km}$ , đoạn 1–2 dùng dây A–50 có  $r_0 = 0,63 \Omega/\text{km}$ . Chiều dài các đoạn đường dây và phụ tải cực đại cho trên hình vẽ. Thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{\max} = 2900 \text{ giờ/năm}$ . Xác định phần trăm tổn thất điện năng theo điện năng tiêu thụ.



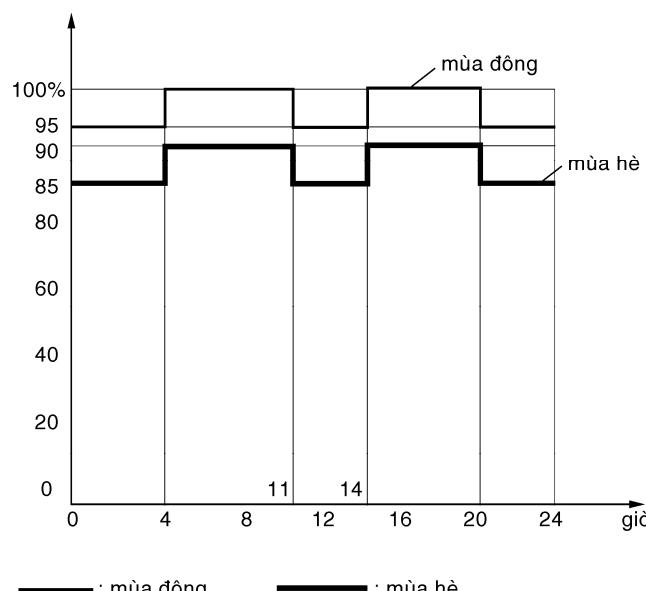
**Hình BT7.4**

$$\text{ĐS: } 78500 \text{ kWh/năm, } 0,9\%$$

- 7.5. Xác định tổn thất công suất tác dụng lớn nhất và tổn thất điện năng hàng năm trong trạm có hai máy biến áp làm việc song song điện áp 10 kV. Công suất mỗi máy biến áp là 630 kVA. Hình vẽ trình bày đồ thị phụ tải ngày mùa đông và mùa hè (100% công suất cực đại bằng 1200 kVA). Giả thiết  $\cos\phi$  của phụ tải máy biến áp không đổi và bằng 0,8. Cả hai máy biến áp đều vận hành suốt năm. Thời gian mùa đông là 213 ngày đêm, mùa hè là 152 ngày đêm. Áp dụng cách tính trực tiếp từ đồ thị phụ tải và cách tính theo  $T_{\max}$  kết hợp với  $\tau$  xác định theo công thức kinh nghiệm hay đường cong hoặc xác định theo hệ số tổn thất  $K_u$  theo hệ số phụ tải  $K_{pt}$ .

Cho biết  $\Delta P_{Fe} = 1,68 \text{ kW}$ ,  $\Delta P_{Cu} = 8,5 \text{ kW}$ ,  $U_N \% = 5,5\%$ ,  $i_0 \% = 2\%$  đối với mỗi máy biến áp 630 kVA.

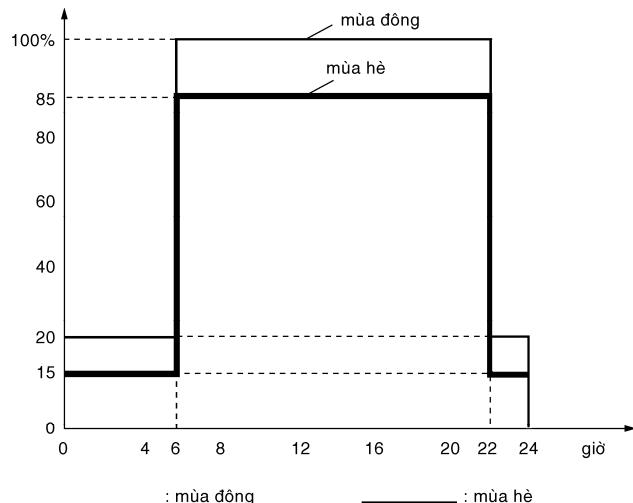
ĐS:  $18,86 \text{ kW} + j88,4 \text{ kVAr}$ ;  $148050 \text{ kWh/năm}$  theo cách tra đường cong  $\tau = f(T_{\max}, \cos\phi)$



- 7.6.** Xác định tổn thất điện năng hàng năm trong máy biến áp của trạm phân xưởng 10 kV. Công suất mỗi máy biến áp là 1000 kVA. Đồ thị phụ tải ngày mùa hạ và mùa đông trình bày trên hình vẽ (100% công suất biểu diễn phụ tải cực đại 1900 kVA).

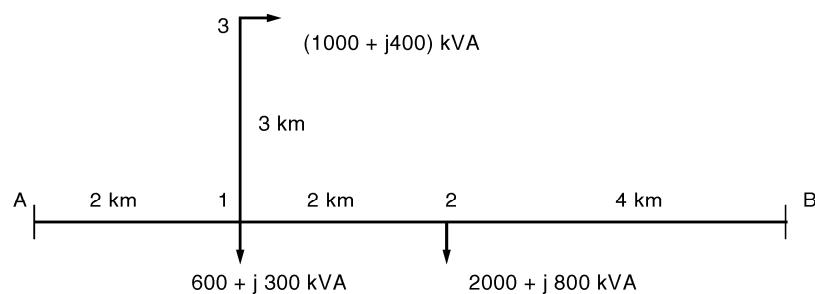
Từ 6 giờ đến 22 giờ vận hành hai máy biến áp và thời gian còn lại vận hành một máy.

Mùa đông kéo dài 213 ngày đêm, mùa hè kéo dài 152 ngày đêm. Đối với mỗi máy biến áp cho  $\Delta P_{Fe} = 2,45 \text{ kW}$ ,  $\Delta P_N = 12,2 \text{ kW}$ .

**Hình BT7.6**

ĐS : 153720 kWh/năm

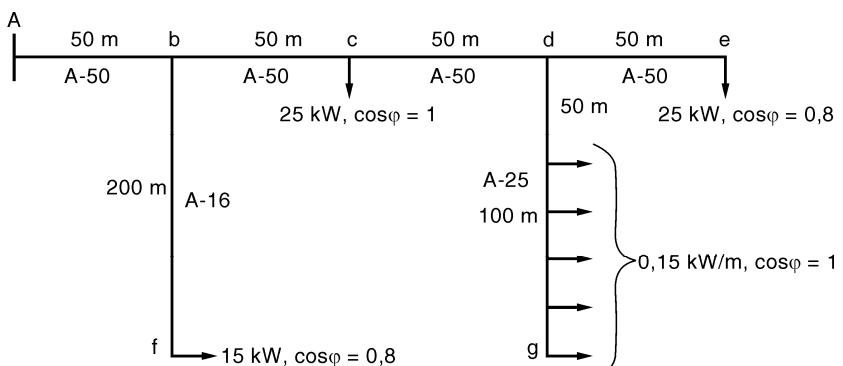
- 7.7.** Tìm tổn thất điện áp lớn nhất trên đường dây trên không điện áp 10 kV cung cấp từ hai nguồn A và B. Phụ tải và chiều dài các đoạn đường dây cho trên hình vẽ. Toàn thể mạng điện dùng dây nhôm A-70.

**Hình BT7.7**

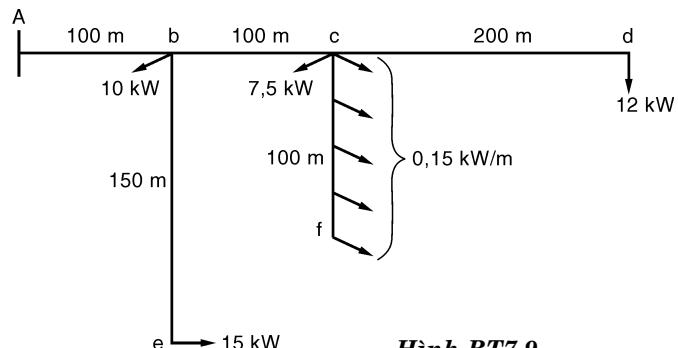
Khoảng cách trung bình giữa các pha là 1 mét. Điện áp của hai đầu nguồn cung cấp bằng nhau về trị số và góc pha. Đối với dây A-70:  $r_0 = 0,45 \Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 0,341 \Omega/\text{km}$ .

ĐS :  $\Delta U_{A-2\%} = 4,37\%$ 

- 7.8.** Một mạng điện ba pha 380V trên không, dùng dây nhôm cung cấp điện cho một số hộ tiêu thụ. Chiều dài các đoạn đường dây, mét; phụ tải, kW; và hệ số công suất của phụ tải được ghi trên hình vẽ. Đường dây chính Ae dùng dây A-50 có  $r_0 = 0,63 \Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 0,325 \Omega/\text{km}$ , nhánh rf dùng dây A-16 có  $r_0 = 1,96 \Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 0,358 \Omega/\text{km}$ , nhánh rg với phụ tải thấp sáng phân bố đều dùng dây A-25 có  $r_0 = 1,27 \Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 0,345 \Omega/\text{km}$ . Tìm sụt áp lớn nhất trên mạng điện.

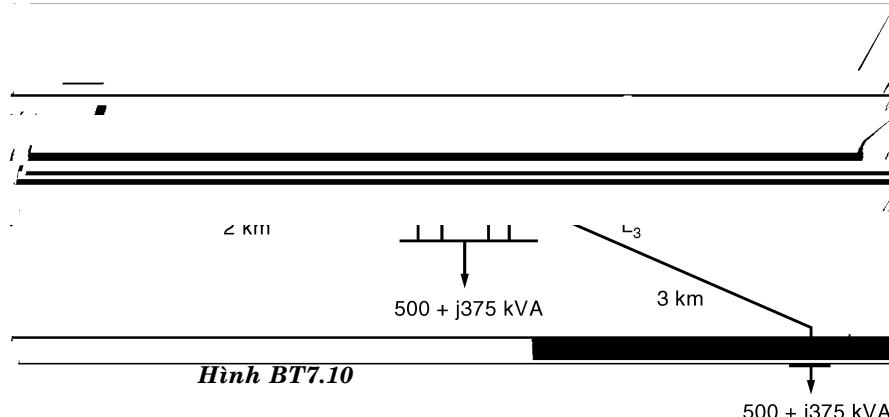
**Hình BT7.8**ĐS:  $\Delta U_{Af\%} = 6,4\%$

- 7.9.** Hình BT7.9 trình bày một mạng điện 380 V đang thiết kế. Mạng điện dùng dây đồng, đường dây chính Ad có tiết diện đồng nhất. Chiều dài các đoạn, mét ; phụ tải, kW cho trên hình vẽ. Bỏ qua cảm kháng của đường dây hạ áp. Hãy chọn tiết diện dây thỏa mãn tổn thất điện áp cho phép  $\Delta U_{cp}\% = 5\%$ . Cho điện trở suất của đồng là  $18,8 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ .

**Hình BT7.9**

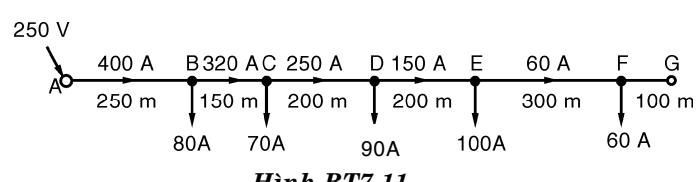
ĐS: đoạn Ad:  $35 \text{ mm}^2$ , đoạn cf:  $10 \text{ mm}^2$ , đoạn be:  $16 \text{ mm}^2$

- 7.10.** Hình BT7.10 trình bày sơ đồ của mạng điện trên không 10 kV. Mạng điện dùng dây nhôm. Các dây dẫn cách đều nhau 1 m. Chọn tiết diện dây dẫn theo tổn thất điện áp cho phép  $\Delta U_{cp}\% = 6\%$  với các đường dây  $L_1$  và  $L_2$  chọn cùng tiết diện. Cho điện trở suất của nhôm  $\rho_{Al} = 31,5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ .

**Hình BT7.10**

ĐS: đoạn  $L_1$  và  $L_2$ :  $25 \text{ mm}^2$ ; đoạn  $L_3$ :  $16 \text{ mm}^2$

- 7.11.** Một đường dây một pha hai dây AG dài 1200 m, được cung cấp điện từ đầu A ở điện áp 250 V. Phụ tải ampe và chiều dài các đoạn đường dây cho trong Hình BT7.11. Điểm G không có phụ tải. Nếu điện áp ở G là 210 V, tìm: a) tiết diện dây, cho biết dùng dây đồng có điện trở suất  $\rho_{Cu} = 17 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$  b) hiệu suất của đường dây.

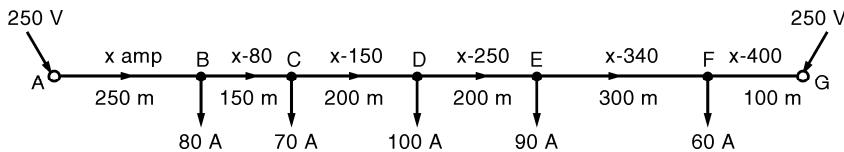
**Hình BT7.11**

ĐS: a)  $2,1 \text{ cm}^2$  b)  $88,16\%$

- 7.12.** Một đường dây phân phối dài 250m hai dây cung cấp cho phụ tải phân bố đều trên suốt đường dây với mật độ 1,6 Ampe/m. Điện trở của một dây dẫn là  $0,0002 \Omega/\text{m}$ . Tìm điện áp cần thiết ở đầu đường dây để giữ điện áp 250 V a) ở cuối đường dây, b) ở giữa đường dây.

ĐS: a) 270 V ; b) 265 V

- 7.13. Dùng số liệu của bài tập 7.11 nhưng đường dây được cung cấp từ hai đầu A và G với điện áp bằng nhau 250 V. Để có sụt áp lớn nhất là 40 V, tìm: a) tiết diện dây đồng; b) hiệu suất tải điện.

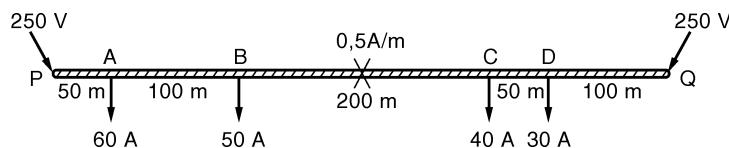


Hình BT7.13

ĐS: a)  $0,6375 \text{ cm}^2$ , b) 87,74%

- 7.14. Một đường dây một pha hai dây PQ, dài 500 m được cung cấp từ hai đầu với điện áp bằng nhau 250 V. Phụ tải gồm phụ tải phân bố đều và các phụ tải tập trung, chiều dài và phụ tải ampe cho trong H.BT7.14.

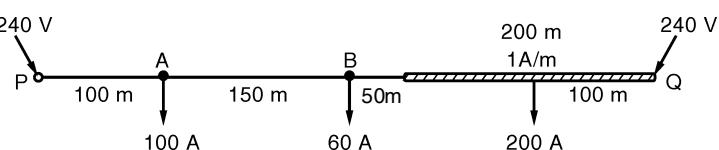
Nếu điện trở của mỗi dây dẫn là  $0,0005 \Omega/\text{m}$ . Tìm: a) Dòng điện đầu vào ở P và Q, b) Khoảng cách từ P đến điểm X có điện áp thấp nhất, c) Điện áp tại X.



Hình BT7.14

ĐS: a) 232 A, 198 A, b) 244 m c) 224,62 V

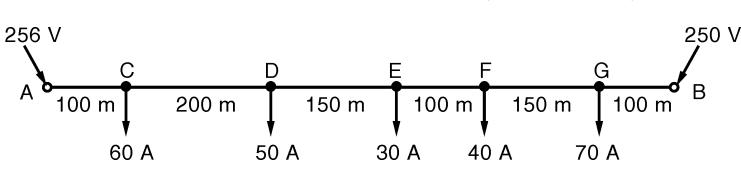
- 7.15. Một đường dây một pha hai dây dài 500 m được cung cấp điện từ hai đầu P và Q ở điện áp bằng nhau 240 V. Phụ tải bao gồm các phụ tải tập trung và phụ tải phân bố đều. Chiều dài và phụ tải ampe cho trong H.BT7.15. Nếu điện trở dây dẫn là  $0,001 \Omega/\text{m}$  (cả dây đi và dây về), tìm: a) điểm có điện áp thấp nhất, b) trị số điện áp tại điểm đó.



Hình BT7.15

ĐS: a) điểm B, b) 217,5 V.

- 7.16. Một đường dây một pha hai dây, dài 800m, được cung cấp từ hai đầu A và B. Phụ tải ampe và chiều dài cho trong H.BT7.16. Đầu A điện áp 256 V, đầu B điện áp 250 V. Nếu điện áp thấp nhất tại hộ tiêu thụ V là 240 V, tìm tiết diện dây đồng, cho điện trở suất  $1,7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .



Hình BT7.16

ĐS:  $66,6 \text{ mm}^2$

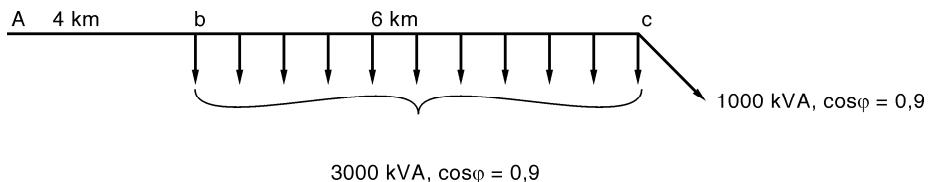
- 7.17. Một đường dây phân phối 15 kV, dùng dây dẫn AC-120, khoảng cách trung bình giữa các pha 1,2 m, hệ số công suất phụ tải 0,9 trẽ. Xác định hằng số sụt áp K%. Cho điện trở dây dẫn  $r_0 = 0,27 \Omega/\text{km}$ , cảm kháng  $x_0 = 0,332 \Omega/\text{km}$

ĐS:  $K\% = 0,0001723\% / \text{kVA} \cdot \text{km}$

- 7.18. Đường dây trong bài tập 7.17. dài 10 km, phụ tải tập trung ở cuối đường dây 2000 kVA,  $\cos\varphi = 0,9$ . Tìm phần trăm sụt áp.

ĐS: 3,45%

- 7.19. Cho đường dây phân phối 15 kV, phụ tải và chiều dài cho trong Hình BT7.19. Tìm phần trăm sụt áp, tổn thất công suất trên đường dây. Dây dẫn có số liệu như trong bài tập 7.17.



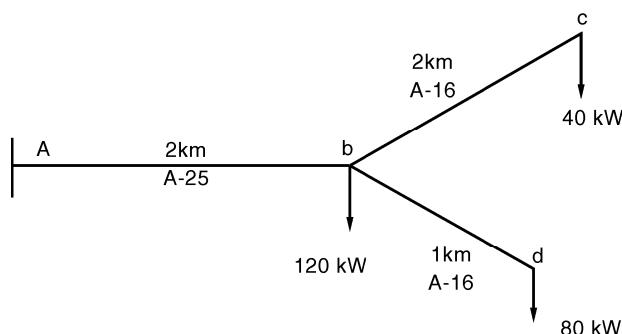
**Hình BT7.19**

ĐS: 5,34%

- 7.20. Trong bài tập 7.19. Hệ số phụ tải của các phụ tải là 0,7. Tìm: a) tổn thất công suất tác dụng, b) hệ số tổn thất, c) tổn thất điện năng trong một năm.

ĐS: a) 127,2 kW b) 0,553 c)  $61,62 \times 10^4$  kWh

- 7.21. Đường dây 6 kV cung cấp điện trong mạng phân phối, có sơ đồ trong hình BT7.21. Tất cả các phụ tải trong mạng điện có  $\cos\varphi = 0,8$  và đồ thị phụ tải hoàn toàn giống nhau. Toàn bộ ba phụ tải mỗi năm tiêu thụ 720000 kWh. Xác định tổn thất điện năng toàn mạng điện.



**Hình BT7.21**

ĐS: 11378 kWh

- 7.22. Đường dây kép, điện áp 110 kV, dài 100 km, cung cấp cho một trạm biến áp gồm hai máy biến áp 110/11 kV, công suất mỗi máy 31,5 MVA. Đường dây dùng dây dẫn AC - 185 đặt trên mặt phẳng ngang khoảng cách giữa các pha  $D = 4$  m. Phụ tải lớn nhất ở thanh cáp hạ áp của trạm biến áp là 40 MW,  $\cos\varphi = 0,80$ ,  $T_{max} = 6000$  giờ. Cả hai máy biến áp làm việc suốt năm. Tính tổn thất điện năng trong năm của toàn mạng điện gồm đường dây và trạm biến áp.

Cho tham gia của máy biến áp như sau:  $\Delta P_{Fe} = 86$  kW,  $\Delta P_N = 200$  kW,  $U_N\% = 10,5\%$ ,  $I_o\% = 2,7\%$ . Một đường dây đơn AC - 185 có thông số  $r_o = 0,17 \Omega/km$ ,  $x_o = 0,404 \Omega/km$ ,  $b_o = 2,82 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot km}$

ĐS: 17.300.000 kWh

## Chương 8

# TÍNH TOÁN KINH TẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

### 8.1 SỰ PHÁT TRIỂN KINH TẾ CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Sự phát liên tục của phụ tải đòi hỏi phải phát triển thêm nguồn và lưới điện hiện đại. Sự phát triển này đòi hỏi phải tối ưu về kinh tế.

Tổng chi phí của bất kỳ một công trình xây dựng nào cũng được chia làm hai phần:

1. Tổng vốn đầu tư ban đầu.
2. Chi phí vận hành hằng năm.

Trong hai thành phần này thì vốn đầu tư ban đầu được chi ra trong một thời gian ngắn trong khi chi phí vận hành hằng năm thì phân bố trong nhiều năm (có thể cả trăm năm).

Để phần đoán tính kinh tế của một dự án cần thiết phải qui đổi hai loại chi phí này về cùng một cơ sở. Điều này được làm như sau:

1. Qui đổi vốn đầu tư ban đầu về **số tiền tương đương hằng năm** gọi là chi phí cố định.
2. Qui đổi chi phí vận hành hàng năm về số tiền tương đương **qui về thời gian xây dựng** gọi là giá trị hiện tại.

Chi phí cố định hiện tại là số tiền tối thiểu hàng năm đủ để chi cho việc chịu lãi hàng năm nhằm thu hút đầu tư cũng như cho phép thu hồi được vốn của riêng công ty trong khoảng thời gian tuổi thọ đồng thời phải trả thuế và phí bảo hiểm cho công trình - chi phí cố định tỷ lệ với vốn đầu tư nghĩa là nếu vốn đầu tư là M thì chi phí cố định hàng năm là yM, trong đó y được gọi là suất chi phí cố định.

Giả thiết chi phí vận hành hàng năm của công ty (bao gồm tổng phí bảo quản, tổn thất) là C thì yêu cầu doanh thu tối thiểu hàng năm để trang trải là:

$$\mathcal{R} = yM + C \quad (8.1)$$

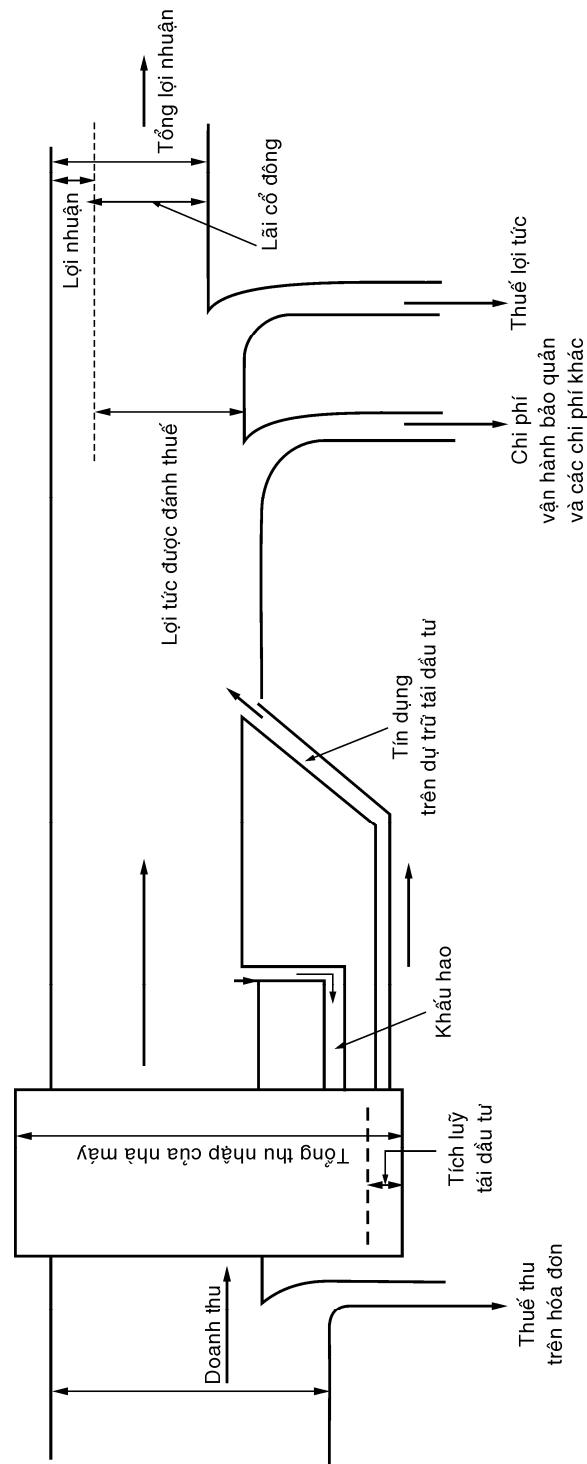
sự phân bổ nguồn doanh thu này được trình bày theo lưu đồ sau (H.8.1).

Giá trị hiện tại của chi phí hàng năm là số tiền thay vì đem chi dùng ngay cho hoạt động của công ty mà nếu được đầu tư (cho vay) ngay bây giờ với mức lãi kép hàng năm là i thì sẽ tạo ra được mức thu nhập hàng năm bằng với mức chi phí như mong đợi.

Ví dụ, nếu chi phí trong năm thứ k kể từ bây giờ được dự kiến là  $C_k$  thì giá trị hiện tại của nó với mức lãi kép là i cho bởi:

$$\mathcal{P} = \frac{C_k}{(1+i)^k} \quad (8.2)$$

Kết quả là nếu biết chi phí vận hành hàng năm trong thời gian tuổi thọ N năm của công trình thì tổng giá trị hiện tại của phí tổn vận hành hàng năm là tổng chi phí vận hành cho N năm).



**Hình 8.1:** Lưu đồ thu nhập và chi phí hàng năm

$$\mathcal{P} = \frac{C_1}{1+i} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_N}{(1+i)^N} \quad (8.3)$$

như vậy giá trị đầu tư hiện tại F của toàn công ty:

$$\mathcal{F} = M + \mathcal{P} \quad (8.4)$$

Nếu chi phí vận hành hàng năm tất cả đều bằng C thì đơn giản:

$$\mathcal{P} = C \left[ \frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + \dots + \frac{1}{(1+i)^N} \right] = C \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \quad (8.5)$$

Từ đó:

$$C = \mathcal{P} \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (8.6)$$

Phương trình (8.6) cùng với phương trình (8.3) có thể được dùng để suy ra phí tổn vận hành hàng năm đồng nhất tương đương C dùng trong phương trình (8.1) trong trường hợp mà chi phí hàng năm thực tế thay đổi theo từng năm. Trong những trường hợp như vậy tiện hơn là nên biểu diễn chi phí hàng năm đồng nhất tương đương này bằng chi phí năm thứ nhất  $C_1$  nhân với hệ số r:

$$C = r.C_1 \quad (8.6a)$$

trong đó r được xác định từ phương trình (8.6) và (8.6a).

Doanh thu yêu cầu  $\mathcal{R}$  như đã được định nghĩa trong phương trình (8.1) và giá trị hiện tại  $\mathcal{F}$  trong phương trình (8.4) là các thước đo kinh tế của công ty và dùng làm tiêu chuẩn kinh tế trong việc tìm giải pháp kinh tế trong bài toán phát triển.

Cả  $\mathcal{R}$  và  $\mathcal{F}$  đều là hàm của một số thông số  $p_1, p_2, \dots, p_N$ . Chẳng hạn trong trường hợp của đường dây truyền tải các thông số là điện áp, tiết diện dây, vật liệu dây, vật liệu và cấu trúc của trụ, loại cách điện. Thường thì nếu M tăng do việc tăng của một trong các thông số này thì C sẽ giảm sao cho có được một tập hợp tối ưu các trị số của thông số theo đó R và F là cực tiểu.

Phương án kinh tế nhất, tập hợp các trị số kinh tế nhất của các thông số dĩ nhiên sẽ được định nghĩa bằng N phương trình sau đây trên cơ sở của phương trình (8.1):

$$\frac{\partial}{\partial p_k} \mathcal{R} = y \frac{\partial M}{\partial p_k} + \frac{\partial C}{\partial p_k} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (8.7)$$

và N phương trình sau đây trên cơ sở của phương trình (8.4)

$$\frac{\partial}{\partial p_k} \mathcal{F} = \frac{\partial M}{\partial p_k} + \frac{\partial}{\partial p_k} \mathcal{P} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (8.8)$$

Ví dụ, nếu giả thiết rằng  $p_k$  là tiết diện dây và chỉ là thông số duy nhất và nếu giả thiết rằng chi phí xây dựng M (giá tiền dây) tỷ lệ thuận với  $p_k$  trong khi đó chi phí vận hành hàng năm C (tổn thất trên dây dẫn) tỷ lệ nghịch với  $p_k$  thì các phương trình (8.7) và (8.8) sẽ dẫn đến luật Kelvin. Luật Kelvin phát biểu rằng tiết diện kinh tế nhất của đường dây là tiết diện mà theo đó phí tổn cố định hàng năm xuất phát từ tiền dây bằng với phí tổn hàng năm do tổn thất trên đường dây truyền tải.

Thật vậy, vốn đầu tư M của đường dây có dạng:

$$M = aF + b$$

trong đó: F là tiết diện dây

aF: phần chi phí liên quan đến dây dẫn, tỷ lệ thuận với tiết diện F

b: phần chi phí gần như không thay đổi (trụ, thăm dò...)

Nếu gần đúng coi phí tổn vận hành chỉ có phí tổn do tổn thất điện năng tỷ lệ nghịch với tiết diện dây:

$$C = \frac{K}{F} \quad \text{với } K \text{ là hệ số tỷ lệ.}$$

vậy:

$$\mathcal{R} = y M + C = y(aF + b) + \frac{K}{F}$$

Lấy đạo hàm của  $\mathcal{R}$  theo tiết diện F và cho bằng không:

$$\frac{\partial}{\partial F} \mathcal{R} = y \frac{dM}{dF} + \frac{dC}{dF} = 0$$

$$y.a - \frac{K}{F^2} = 0$$

$$y.a = \frac{K}{F^2} \Rightarrow y.a.F = \frac{K}{F} \quad (\text{điều đã được chứng minh})$$

Nhưng các phương trình (8.7) và (8.8) chỉ có giá trị lý thuyết vì thực tế khó mà biểu diễn vốn đầu tư M hay chi phí hàng năm C là hàm toán học của thông số chủ yếu vì phần lớn các thông số này là không liên tục. Chẳng hạn tiết diện dây là các cỡ dây tiêu chuẩn.

Xuất phát từ điều đó, có thể hiểu rằng trong trường hợp thực tế bài toán kinh tế gắn liền với sự phát triển hệ thống tự nó được thu về chọn lựa giữa hai hay nhiều phương án. Ví dụ, giả sử rằng một dự án phát triển đưa ra hai phương án I và II, phương án I đòi hỏi thiết bị có vốn đầu tư  $M_I$ , tuổi thọ  $N_I$  năm và có phí tổn vận hành hàng năm là  $C_I$  ứng với giá trị hiện tại là  $P_I$ . Các trị số tương ứng của phương án II là  $M_{II}$ ,  $N_{II}$ ,  $C_{II}$  và  $P_{II}$ .

Rõ ràng phương án I sẽ kinh tế hơn phương án II nếu:

$$\mathcal{R}_I < \mathcal{R}_{II} \quad (8.9)$$

trong đó  $\mathcal{R}_I$  và  $\mathcal{R}_{II}$  là các giá trị đầu tư hiện tại của hai phương án như định nghĩa trong phương trình (8.4). Thay phương trình (8.4) vào phương trình (8.9)

$$M_I + P_I < M_{II} + P_{II} \quad (8.10)$$

$$M_I - M_{II} < P_{II} - P_I \quad (8.10)$$

Nếu tuổi thọ của hai phương án bằng nhau  $N_I$  và  $N_{II}$ , thì cũng có thể nói rằng phương án I sẽ kinh tế hơn phương án II nếu:

$$\mathcal{R}_I < \mathcal{R}_{II} \quad (8.11)$$

trong đó  $\mathcal{R}_I$  và  $\mathcal{R}_{II}$  được định nghĩa trong phương trình (8.1)

$$\mathcal{R}_I = yM_I + C_I \quad (8.12)$$

$$\mathcal{R}_{II} = yM_{II} + C_{II} \quad (8.13)$$

do đó, với phương trình (8.6a)

$$M_I - M_{II} < \frac{C_{II} - C_I}{y} = \frac{r}{y} (C_{II,1} - C_{I,1}) \quad (8.14)$$

Số 1 chỉ năm thứ nhất.

Hiệu số  $P_{II} - P_I$  trong (8.10) hay  $(C_{II} - C_I)/y$  trong (8.14) được hiểu là vốn đầu tư phu

(hay vốn đầu tư biện minh được) bằng với lượng có thể đầu tư thêm trong phương án I và vẫn cho phép thu hồi do mức chi phí hàng năm thấp hơn của phương án I. Thừa số  $r/y$  trong phương trình (8.14) được gọi là hệ số đầu tư biện minh được.

Từ phương trình (8.14) có được:

$$\frac{M_I - M_{II}}{C_{II,1} - C_{I,1}} < \frac{r}{y}$$

$\frac{r}{y}$  có đơn vị là năm và còn được ký hiệu là  $T_{lc}$  là thời gian thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn.

Nhắc lại vốn đầu tư phụ là hiệu số  $(M_I - M_{II})$  mà phương án I phải đầu tư thêm để đạt hiệu quả kinh tế.

## 8.2 SUẤT CHI PHÍ CỔ ĐỊNH HÀNG NĂM

Suất chi phí cố định hàng năm (ký hiệu là  $y$ ) bao gồm bốn thành phần tương ứng như sau:

1. Trả lãi trên vốn đầu tư;
2. Sự giảm giá trị (khấu hao);
3. Thuế;
4. Bảo hiểm.

- Chi trả lãi hàng năm bao gồm tiền lãi trên phiếu nợ, lãi cổ phần. Phần trăm trả lãi i.100% được đặt ra bởi các nhà đầu tư nhằm thu hút tư bản cho xí nghiệp.

- Sự giảm giá trị là phần thu nhập được đưa vào dự trữ với ý định là quỹ dự trữ đó sẽ bằng với vốn đầu tư vào giai đoạn cuối cùng của tuổi thọ. Nếu giả thiết những dự trữ này được đầu tư vào chính bản thân công ty với mức lãi tích luỹ i giống như đã áp dụng cho vốn đầu tư ban đầu thì tiền đồng nhất hàng năm.

$$M_d = M \cdot \frac{i}{(i+1)^N - 1} = d \cdot M \quad (8.15)$$

trong đó  $N$  là tuổi thọ tính ra năm và  $M$  là vốn đầu tư ban đầu.  $M_d$  được giữ dùng làm dự trữ hàng năm cho sự giảm giá trị.

- Tiền thuế bao gồm thuế lợi tức và thuế thu nhập.

Thuế hàng năm và phí bảo hiểm được biểu diễn bằng suất chi dùng là tỷ số giữa số tiền chi dùng hàng năm cho thuế và bảo hiểm với tiền đầu tư ban đầu.

Gọi  $t$  là suất tiền thuế,  $j$  là suất bảo hiểm thì suất chi phí cố định  $y$  có thể được viết như sau:

$$y = i + d + t + j \quad (8.16)$$

$$y = i + \frac{i}{(i+1)^N - 1} + t + j = \frac{i(i+1)^N}{(i+1)^N - 1} + t + j \quad (8.17)$$

Tất nhiên, suất chi phí cố định này giống như mọi thành phần khác trong so sánh kinh tế được đặt trên cơ sở các phỏng đoán được dự kiến xa trong tương lai. Ngay cả mức lãi suất  $i$  chỉ cũng được thành lập một cách khó khăn và trong tương lai lại rất là bất định. Thuế lợi tức và phí bảo hiểm trong hiện tại được xác định thì có ai sẽ biết được 20 hay 40 năm nữa chúng sẽ như thế nào? Ảnh hưởng của những bất định này phải được giảm đến chừng mực nào đó để tránh

mâu thuẫn trong các giả thiết đối với các phương án khác nhau.

### **8.3 CHI PHÍ ĐẦU TƯ**

Việc xác định chi phí đầu tư hầu như hoàn toàn dựa trên các ước lượng cẩn thận. Các dữ kiện về xây dựng tương tự trong quá khứ chỉ giúp một phần vì luôn luôn có sự sai lệch về giá cả và sự tiến bộ trong công nghệ.

Để tiến hành việc xác định vốn đầu tư, chi phí phải được chia làm nhiều nhóm thích hợp. Có ít sự tiêu chuẩn hóa được đưa ra để chọn các nhóm này nhưng điều mong muốn là phải làm cho chúng phù hợp với hệ thống kế toán của công ty vì có như vậy thì sau khi hoàn tất dự án mới có thể so sánh vốn đầu tư thực tế với sự ước lượng được đề xuất.

Một phương pháp để lập nhóm cho chi phí đầu tư gồm các chi phí như sau:

1. Mua mới và chi phí xây dựng trực tiếp: bao gồm việc mua thiết bị, bất động sản cho công trình mới, chi phí về lao động để xây dựng, chuyên chở và các chi phí khác có liên quan trực tiếp đến xây dựng.

2. Chi phí tồn kho bao gồm các vật liệu tiêu chuẩn được rút ra từ kho vật tư của công ty dùng cho xây dựng mới.

Dĩ nhiên những vật liệu này phải được chuyển vào tiền đầu tư mới và được kể vào phần chiết tính đầu tư đề xuất.

3. Chi phí xây dựng gián tiếp bao gồm:

- Chi phí cho kỹ sư và giám sát công trình;
- Chi phí lao động gián tiếp;
- Bảo hiểm gồm các hạng mục như bảo hiểm hỏa hoạn, tai nạn ...
- Thuế trong thời gian xây dựng trên tài sản cố định, thuế tài sản cá nhân có thể thu được trên công trình lúc xây dựng.
- Chi phí hành chính và chi phí chung.

### **8.4 CHI PHÍ VẬN HÀNH HÀNG NĂM**

Chi phí vận hành hàng năm (bảo quản, tổn thất điện năng ...) là tất cả các hạng mục chi phí cần thiết cho việc vận hành của công trình và chi phí do tổn thất điện năng trong khi vận hành. Tổng quát chi phí vận hành C bao gồm các hạng mục chủ yếu như sau:

□ Chi phí về vật tư được yêu cầu cho vận hành và bảo quản như: chi phí phục vụ mua, chi phí về sử dụng và tồn trữ.

- Chi phí phục vụ mua, khảo sát và thanh toán vật tư;
- Cho phép về hao hụt.

□ Chi phí về vận hành và công bảo quản bao gồm:

- Chi trả lương trực tiếp;
- Thuế trên quỹ lương chẳng hạn thuế bảo hiểm xã hội;
- Dự trù cho nghỉ phép, bệnh hoạn;
- Chuyên chở công nhân;
- Du lịch;

- Dụng cụ và máy móc lao động.

- Ngoài ra các chi phí về vật tư và lao động còn có các hạng mục chi phí khác như:
- Đền bù hoa màu, phát hoang;
- Thiệt hại do thiết bị ngừng hoạt động do bảo trì;
- Chi phí trong việc bán điện;
- Tiền thuê mướn;
- Điện năng tổn thất.

Những chi phí nào gần như giống nhau đối với mọi phương án thì có thể không xét đến khi so sánh phương án vì chúng không làm ảnh hưởng việc chọn phương án. Trong những hạng mục nói trên, tổn thất điện năng cần được xem xét một cách kỹ lưỡng.

Trong so sánh kinh tế của nhiều phương án được đề nghị, hai giá trị sau đây có liên quan đến tổn thất:

- Tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$ , kW;
- Tổn thất điện năng hàng năm  $\Delta A$ , kWh.

Tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$  có thể được tính toán từ phụ tải cực đại dự kiến. Tuy vậy, có hai phương pháp để xác định tổn thất điện năng hàng năm  $\Delta A$ .

- Quá trình tính toán bắt đầu từ đồ thị phụ tải đối với phụ tải của công trình đang khảo sát và tương tự với các đồ thị phụ tải của các công trình khác về mặt tổn thất. Từ các đồ thị phụ tải này, đồ thị của tổn thất có thể được xác định bằng các phương pháp tính toán tổn thất thông thường. Tích phân của đồ thị tổn thất công suất là tổn thất điện năng hàng năm

$$\Delta A = \int_0^T \Delta P dt \quad (8.18)$$

Một phương pháp ngắn hơn là nhân tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$  với số giờ trong một năm và hệ số tổn thất  $K_{tt}$ :

$$\Delta A = 8760 \times K_{tt} \times \Delta P_{max} \text{ kWh} \quad (8.19)$$

Đặt  $\tau = K_{tt} \cdot 8760$  là thời gian tổn thất công suất cực đại:

$$\Delta A = \Delta P_{max} \cdot \tau \text{ kWh} \quad (8.20)$$

Phương pháp này thường được dùng khi tổn thất bởi phụ tải của riêng một phần tử đang khảo sát chẳng hạn trong trường hợp tổn thất trong đồng của máy biến áp hay tổn thất trên đường dây truyền tải. Tổn thất điện năng được tính ra tiền để cho phép so sánh về kinh tế.

Trong trường hợp công ty sản xuất điện năng cho khách hàng thì phí tổn về tổn thất công suất phải được xét đến. Biết rằng 1 kW tăng thêm ở tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$ , đòi hỏi 1 kW tăng thêm trong công suất đặt của nhà máy. Hậu quả là chi phí cố định hàng năm phải kể thêm chi phí lắp đặt thêm công suất  $\Delta P_{max}$  để bù vào tổn thất. Nói cách khác, nếu chi phí lắp đặt 1 kW công suất phát là  $M_0$  với suất chi phí cố định là  $y$  thì chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất cho bối:

$$C_{tt} = M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 \cdot \Delta A \quad (8.21).$$

trong đó  $c_0$  là chi phí sản xuất ra 1 kWh điện năng. Có thể viết:

$$C_{tt} = M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 (8760 \cdot K_{tt}) \cdot \Delta P_{max}$$

$$= \Delta P_{\max} \cdot y \cdot [M_0 + \frac{c_0 \cdot 8760 \cdot K_{tt}}{y}]$$

hay:

$$C_{tt} = \Delta P_{\max} \cdot y \cdot [M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y}] \quad (8.22)$$

với  $\tau$  là thời gian tổn thất công suất cực đại.

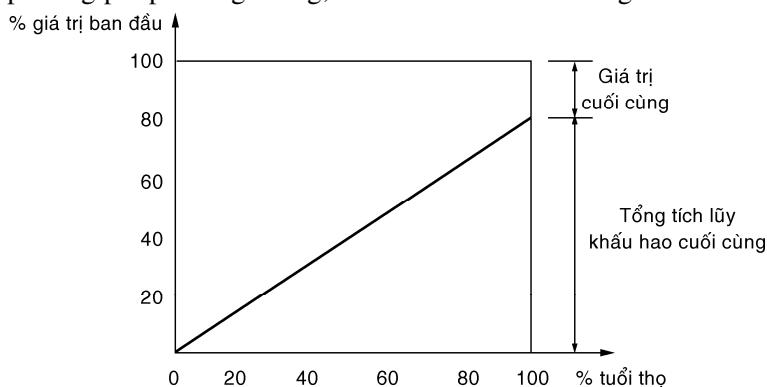
### Ví dụ 8.1

Máy biến áp 100 kVA có giá tiền là 13.000 \$. Nếu tuổi thọ của máy biến áp là 20 năm và giá trị còn lại sau khi hết tuổi thọ là 1.000 \$. Hãy tính tiền trích khấu hao hàng năm để dự trữ tái đầu tư cho máy biến áp sau khi hết thời gian tuổi thọ theo hai phương pháp:

- i. Phương pháp đường thẳng (không tính lãi suất kép).
- ii. Phương pháp lãi suất kép với mức lãi suất  $i\% = 10\%/\text{năm}$ .

### Giải

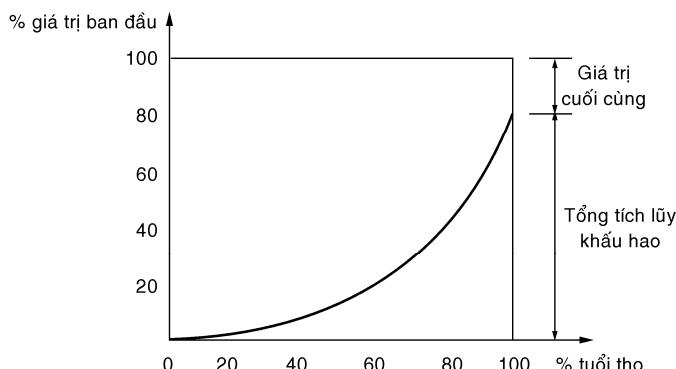
- i. Theo phương pháp đường thẳng, tiền trích khấu hao hàng năm cho bởi H.8.2.:



**Hình 8.2**

$$\begin{aligned} \text{Khấu hao hàng năm} &= \frac{\text{Giá trị đầu} - \text{Giá trị cuối}}{\text{Thời gian tuổi thọ}} \\ &= \frac{13000 - 1000}{20} = 600 \$ / \text{năm} \end{aligned}$$

- ii. Theo phương pháp lãi suất kép (H.8.3.):



**Hình 8.3**

$$\text{Khấu hao hàng năm} = (\text{giá trị ban đầu} - \text{giá trị cuối cùng}) \cdot \frac{i}{(1+i)^N - 1}$$

với  $i\% = 10\%$ ,  $N = 20$  năm

$$\begin{aligned}\text{Khấu hao hàng năm} &= (13.000 - 1000) \cdot \frac{0,1}{(1+0,1)^{20} - 1} \\ &= \frac{12000}{6,727 - 1} = 209,6 \text{ $/năm.}\end{aligned}$$

*Nhận xét:* Tiền khấu hao tính theo ii) nhỏ hơn tính theo i) do tiền lãi tích luỹ bởi lãi suất kép để cuối cùng khi hết thời gian tuổi thọ có đủ số tiền tái đầu tư.

### Ví dụ 8.2

Hai phương án được đề nghị để thiết kế một trạm biến áp có cùng công suất.

Phương án 1: dùng máy biến áp làm mát bằng dầu và không khí tự nhiên (ONAN).

Phương án 2: dùng máy biến áp làm mát tự nhiên bằng dầu, làm mát bằng cưỡng bức gió (ONAF).

Các số liệu như sau:

	Phương án 1	Phương án 2
Tổn hao đồng cực đại $\Delta P_{cu\ max}$	30 kW	42 kW
Tổn hao sắt $\Delta P_{Fe}$	16 kW	21 kW
Giá tiền máy biến áp	33000 \$	26000 \$
Chi phí cho vận hành bảo quản	10%	14%
Lãi suất $i\%$	6%	6%
Tuổi thọ N	30 năm	30 năm

Hệ số tổn thất  $K_{tt,Cu} = 0,2$  đối với tổn thất đồng và  $K_{tt,Fe} = 1$  đối với tổn thất sắt. Mức thuế và bảo hiểm là 7 %. Tiền điện 0,09 \$/kWh. Hãy chọn phương án kinh tế. Cho tiền đầu tư 1 kW công suất nguồn phát là 300 \$/kW và suất chi phí là 14%.

**Giải:** Phương án kinh tế là phương án có yêu cầu thu nhập hàng năm để trang trải cho các phí tổn hàng năm là ít nhất

Phí tổn hàng năm cho bởi:

$$R = y \cdot M + C.$$

trong đó  $y = i + d + t + j$ ;  $M$  - tiền đầu tư

$C$  - phí tổn vận hành hàng năm

$$C = C_{bq} + C_{tt}$$

với  $C_{bq}$  - phí tổn cho vận hành và bảo quản.

$C_{tt}$  - phí tổn do tổn thất điện năng và tổn thất công suất.

□ *Đối với phương án 1:*

$$i\% = 6\%$$

$$d = \frac{i}{(i+1)^N - 1} \cdot 100\% = \frac{0.06}{(0.06+1)^{30} - 1} \cdot 100\% = 1,265\% \approx 1,27\%$$

$$t + j = 7\%$$

Suất chi phí cố định:  $y = i + d + t + j = 6 + 1,27 + 7 = 14,27\%$ .

Chi phí phục vụ cho vận hành bảo dưỡng:

$$C_{bq} = 0,1 \times 33000 = 3300\text{ $}$$

Tổn thất điện năng trong đồng:

$$\Delta A_{Cu} = \Delta P_{Cu,max} \cdot K_{tt,Cu} \cdot 8760 = 30.0,2 \cdot 8760 = 52560 \text{ kWh.}$$

Tổn thất điện năng trong sắt:

$$\Delta A_{Fe} = \Delta P_{Fe} \cdot K_{tt,Fe} \cdot 8760 = 16.1 \cdot 8760 = 140160 \text{ kWh.}$$

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\Delta A = \Delta A_{Cu} + \Delta A_{Fe} = 52560 + 140160 = 192720 \text{ kWh}$$

Chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất:

$$\begin{aligned} C_{tt} &= M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 \cdot \Delta A \\ &= 300. 0,14. (30+16) + 0,09. 192720 = 19276,8 \text{ $.} \end{aligned}$$

Tổng chi phí vận hành:

$$C_1 = C_{bq} + C_{tt} = 3300 + 19276,8 = 22576,8 \text{ $}$$

Thu nhập hàng năm:

$$R_1 = yM_1 + C_1 = 0,1427 \times 33000 + 22576,8 = 27286 \text{ $.}$$

↔ Đối với phương án 2:

Tính toán tương tự:

$$y = 14,27 \text{ %.}$$

Chi phí phục vụ cho vận hành, bảo quản:

$$C_{bq} = 0,14 \cdot 26000 = 3640 \text{ $.}$$

Tổn thất điện năng trong đồng:

$$\Delta A_{cu} = \Delta P_{Cu,max} \cdot K_{tt,Cu} \cdot 8760 = 42.0,2 \cdot 8760 = 73584 \text{ kWh}$$

Tổn thất điện năng trong sắt:

$$\Delta A_{Fe} = \Delta P_{Fe} \cdot K_{tt,Fe} \cdot 8760 = 21.1 \cdot 8760 = 183960 \text{ kWh.}$$

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\Delta A = \Delta A_{Cu} + \Delta A_{Fe} = 73584 + 183960 = 257544 \text{ kWh}$$

Chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất:

$$\begin{aligned} C_{tt} &= M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 \cdot \Delta A \\ &= 300. 0,14. (42 + 21) + 0,09. 257544 = 25825 \text{ $.} \end{aligned}$$

Tổng chi phí vận hành:

$$C_2 = C_{bq} + C_{tt} = 3640 + 25825 = 29465 \text{ $}$$

Thu nhập hàng năm:

$$R_2 = yM_2 + C_2 = 0,1427 \cdot 26000 + 29465 = 33175 \text{ $.}$$

Kết luận:  $R_1 < R_2$

Phương án 1 là phương án kinh tế.

## 8.5 HÀM MỤC TIÊU TRONG SO SÁNH PHƯƠNG ÁN

Một biểu thức dùng để so sánh phương án đó là hàm mục tiêu. Trở lại với việc so sánh phương án: phương án I và phương án II. Nếu phương án I gọi là phương án kinh tế hơn phương án II thì theo phương trình (8.14) có được:

$$\frac{M_I - M_{II}}{C_{II,1} - C_{I,1}} < \frac{r}{y} \quad (8.23)$$

hay:

$$\frac{y}{r} \cdot (M_I - M_{II}) < (C_{II,1} - C_{I,1}) \quad (8.24)$$

trong đó:  $M_I, M_{II}$  lần lượt là vốn đầu tư của hai phương án I và II.

$C_{I,1}, C_{II,1}$  là chi phí vận hành lần lượt của hai phương án I và II trong năm 1

y: suất chi phí cố định

r: hệ số quy đổi về chi phí vận hành đồng nhất.

Chi phí vận hành hàng năm có thể được viết:

$$C = a_{vh} \cdot M + C_u \quad (8.25)$$

trong đó: -  $a_{vh}$ : hệ số vận hành tính trên vốn đầu tư M xét đến chi phí do bảo quản và vận hành lướt điện.

-  $C_u$ : chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất.

Từ (8.24) và (8.25) có được:

$$\begin{aligned} \frac{y}{r} (M_I - M_{II}) &< \left[ a_{vh} \cdot M_u + \Delta P_{maxII} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \right] - \left[ a_{vh} \cdot M_I + \Delta P_{maxI} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \right] \\ M_I \left( \frac{y}{r} + a_{vh} \right) + \Delta P_{maxI} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) &< M_{II} \left( \frac{y}{r} + a_{vh} \right) + \Delta P_{maxII} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \\ Z_I &< Z_{II} \end{aligned} \quad (8.26)$$

Z gọi là hàm mục tiêu dùng để so sánh phương án, phương án nào có  $Z_{min}$  gọi là phương án kinh tế nhất:

$$Z = \left( \frac{y}{r} + a_{vh} \right) \cdot M + \Delta P_{max} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \quad (8.27)$$

Đặt  $T_{tc} = \frac{r}{y}$  là thời gian thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn, thời gian này được quy định tùy theo tình hình kinh tế của mỗi nước.

$$a_{tc} = \frac{1}{T_{tc}} = \frac{y}{r} \text{ gọi là hệ số thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn.}$$

Mặt khác, nếu gần đúng không xét thêm vốn đầu tư một đơn vị công suất phát  $M_0$ , có được biểu thức đơn giản của hàm mục tiêu Z

$$\begin{aligned} Z &= (a_{vh} + a_{tc}) \cdot M + c_0 \cdot \Delta P_{max} \cdot \tau \\ Z &= (a_{vh} + a_{tc}) \cdot M + c_0 \cdot \Delta A. \end{aligned} \quad (8.28)$$

Biểu thức này giúp cho sinh viên tính tay hàm mục tiêu khi không đủ các số liệu như y, r,  $M_0$ , ...

Một vài số liệu tham khảo về hệ số  $a_{vh}$  % cho đường dây và trạm:

Tên công trình	$a_{vh}\%$
Đường dây trên không cột gỗ	10
Đường dây trên không dùng cột thép và bê tông cốt thép	4
Đường dây cáp	5
Trạm biến áp	8÷10

## 8.6 ÁP DỤNG TÍNH TIẾT DIỆN KINH TẾ CỦA ĐƯỜNG DÂY TRÊN KHÔNG VÀ DÂY CÁP

Vốn đầu tư của đường dây gồm hai phần:

- Phần tỷ lệ với tiết diện  $F$  của dây liên quan đến phí tổn dây dẫn.
- Phần gần như không phụ thuộc vào tiết diện như chi phí thăm dò, sứ cách điện, cột điện.

Vốn đầu tư cho một đơn vị chiều dài đường dây có dạng:

$$M = aF + b \quad \text{trong đó } a, b \text{ là các hằng số.}$$

Tổn thất điện năng trên một đơn vị chiều dài trong một năm:

$$\Delta A = 3I_{max}^2 \cdot r_0 \cdot K_{tt} \cdot 8760 = 3I_{max}^2 \cdot r_0 \cdot \tau$$

trong đó  $r_0$ , điện trở một đơn vị chiều dài dây dẫn.

Phí tổn do tổn thất điện năng:

$$C_{\Delta A} = c_0 \cdot \Delta A$$

Hàm mục tiêu:

$$Z = (a_{vh} + a_{tc}) \cdot (a \cdot F + b) + c_0 \cdot 3 \cdot I_{max}^2 \cdot \left( \frac{\rho}{F} \right) \cdot \tau$$

trong đó  $\rho$  là điện trở suất

Tiết diện kinh tế  $F_{kt}$  ứng với  $Z_{min}$  có được bằng cách giải phương trình vi phân:

$$\frac{dZ}{dF} = (a_{vh} + a_{tc}) \cdot a - 3 \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \frac{\rho}{F^2} \cdot \tau = 0 \quad \text{và} \quad \frac{d^2Z}{dF^2} > 0 \quad (8.29)$$

Suy ra tiết diện kinh tế:

$$F_{kt} = I_{max} \cdot \sqrt{\frac{3\tau\rho c_0}{(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a}} \quad (8.30)$$

Mật độ dòng điện kinh tế:

$$j_{kt} = \frac{I_{max}}{F_{kt}} = \sqrt{\frac{(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a}{3\tau\rho c_0}} \quad (8.31)$$

Nhận xét:

Từ phương trình vi phân (8.29) có thể được biến đổi như sau:

$$(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a = 3 \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \frac{\rho}{F_{kt}^2} \cdot \tau \quad (8.32)$$

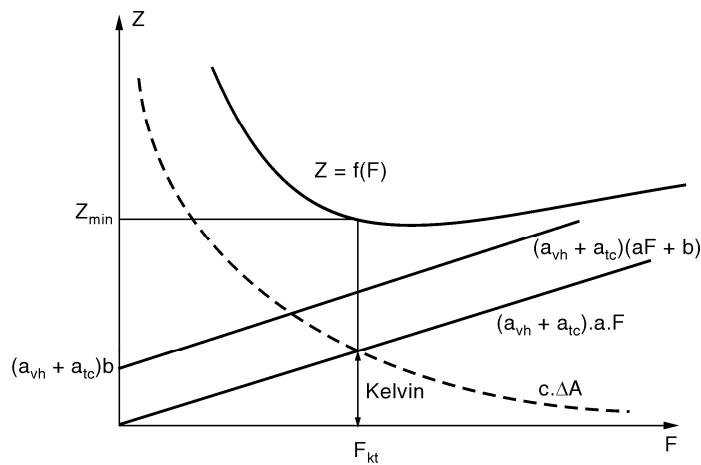
nhân hai vế của (8.32) cho  $F_{kt}$ :

$$(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a \cdot F_{kt} = 3 \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \frac{\rho}{F_{kt}} \cdot \tau = c \cdot \Delta A \quad (8.33)$$

Tổng chi phí hàng năm  
cho phần dây dẫn gồm  
các phần chính như sau: = Phí tổn do tổn thất  
- Chi phí cố định hàng năm  
- Phí tổn vận hành

Luật Kelvin

Đồ thị hàm  $Z(F)$  sau đây minh họa cho luật Kelvin (H.8.4):



**Hình 8.4:** Minh họa luật Kelvin

**Ví dụ 8.3:** Tìm mật độ dòng điện kinh tế của đường dây trên không ba pha dùng dây đồng. Thời gian tổn thất công suất cực đại  $\tau = 3000$  giờ/năm. Chi phí dây dẫn là 4 \$/kg, điện trở suất  $\rho = 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  và tỷ trọng 8,9. Giá tiền điện  $c_0 = 0,05$  \$/kWh và suất tổng chi phí bằng 10% trên vốn đầu tư mua dây.

### Giải

Xét 1 km đường dây ( $= 10^5$  cm) và  $F$  tiết diện dây ( $\text{cm}^2$ ),  $I_{\max}$  dòng điện cực đại trên đường dây.

$$\text{Thể tích dây: } V = 3.F.l = 3.F \cdot 10^5 \text{ cm}^3/\text{km}$$

$$\text{Khối lượng dây} = 3 \cdot 10^5 \cdot F \cdot \frac{8,9}{1000} = 2670 \cdot F \text{ kg/km}$$

$$\text{Chi phí mua dây} = 4 \cdot 2670 \cdot F = 10680 \cdot F \text{ $/km}$$

$$\text{Tổng chi phí cố định hàng năm} = \frac{10}{100} \cdot 10680 \cdot F = 1068 \cdot F \text{ $/km}$$

$$\text{Điện trở đường dây (một pha): } r = \frac{1,8 \cdot 10^5}{10^6 \cdot F} \Omega/\text{km}$$

Chi phí tổn thất điện năng hàng năm:

$$3 \cdot r \cdot c_0 \cdot I_{\max}^2 \cdot \tau = 0,05 \cdot 3 \cdot \frac{1,8 \cdot 10^5}{10^6 \cdot F} \cdot I_{\max}^2 \cdot 3000 \cdot 10^{-3} = 0,081 \cdot \frac{I_{\max}^2}{F} \text{ $}$$

$$\text{Theo luật Kelvin: } 1068 \cdot F_{kt} = 0,081 \cdot \frac{I_{\max}^2}{F_{kt}}$$

Mật độ dòng kinh tế:

$$j_{kt} = \frac{I_{max}}{F_{kt}} = \sqrt{\frac{1068}{0,081}} = 115 \text{ A/cm}^2 = 1,15 \text{ A/mm}^2$$

$$j_{kt} = 1,15 \text{ A/mm}^2$$

Nếu dùng dây nhôm hoặc dây nhôm lõi thép có điện trở suất  $\rho = 3,15 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ , tính toán tương tự ta được:  $j_{kt} = 0,87 \text{ A/mm}^2$ .

**Chọn dây theo mật độ dòng kinh tế:**

Nguyên tắc chọn dây cho mạng truyền tải là căn cứ vào mật độ dòng kinh tế  $j_{kt}$ . Tiết diện chọn được là sự dung hoà giữa hai mâu thuẫn, một bên là vốn đầu tư dây dẫn, một bên là tổn thất điện năng mà biểu diễn toán học là cực tiểu hàm mục tiêu Z.

Qua ví dụ trên hoàn toàn có thể xác định được mật độ dòng điện kinh tế, từ đó có được tiết diện kinh tế:

$$F_{kt} = I_{max} / j_{kt}$$

**Ví dụ 8.4:** Làm tiếp ví dụ 8.3 với  $I_{max} = 60 \text{ A}$ , chọn dây dẫn nhôm lõi thép với  $j_{kt} = 0,87 \text{ A/mm}^2$

**Giải**

$$F_{kt} = 60 / 0,87 = 68,96 \text{ mm}^2$$

Chọn dây AC-70 với dòng phát nóng cho phép là 275 A.

Tùy theo tình hình kinh tế của mỗi nước mà qui định mật độ dòng  $j_{kt}$  và dây dẫn được chọn phải thỏa mãn về điều kiện phát nóng (thường thì điều kiện này được thỏa mãn).

Để tham khảo, sau đây giới thiệu bảng qui định  $j_{kt}$  ( $\text{A/mm}^2$ ) của Nga.

Tên dây dẫn	Thời gian sử dụng công suất cực đại,			
	$T_{max}$ (giờ/năm)	$1000 - 3000$	$3000 - 5000$	$> 5000$
Dây đồng trần	2,5	2,1	1,8	
Nhôm và nhôm lõi thép	1,3	1,1	1,0	
Cáp bọc giấy và dây dẫn bọc cao su lõi:				
- Đồng	3,0	2,5	2,0	
- Nhôm	1,6	1,4	1,2	

## 8.7 LỰA CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI TRÊN KHÔNG THEO PHẠM VI KINH TẾ

- Mật độ dòng kinh tế được xác định với giả thiết vốn đầu tư đường dây và chiều dài có quan hệ tuyến tính. Quan hệ này không đúng khi xây dựng hàng loạt các đường dây trên không với các cột được tiêu chuẩn hóa, mỗi loại cột tiêu chuẩn có thể dùng cho một số cỡ dây.

- Trong thực tế, tiết diện dây tiêu chuẩn có tính rời rạc chứ không thay đổi liên tục khi tính tiết diện kinh tế.

- Dòng điện  $I_{max}$  trong biểu thức chi phí tính toán (hàm mục tiêu Z) là không đổi. Thực tế dòng điện lớn nhất này cũng khác nhau đối với những đường dây khác nhau và được coi là một đại lượng biến đổi.

- Như vậy tiết diện kinh tế được xác định không những theo điều kiện  $\partial Z / \partial F = 0$  mà còn - theo điều kiện  $\partial Z / \partial I_{max} = 0$ .

- Phương pháp lựa chọn tiết diện dây dẫn khắc phục được các khiếm khuyết trên gọi là phương pháp chọn tiết diện dây theo phạm vi kinh tế hay còn được gọi là theo khoảng chia kinh tế.

Phương pháp chọn dây theo phạm vi kinh tế được tiến hành như sau:

- Đối với từng tiết diện tiêu chuẩn của đường dây trên không xây dựng quan hệ giữa hàm chi phí tính toán Z và dòng điện cực đại:

$$Z = (a_{vh} + a_{tc}) M + 3I_{max}^2 \cdot r_0 \cdot \tau \cdot c_0$$

trong đó M là vốn đầu tư 1 km đường dây với cột tiêu chuẩn và tiết diện tiêu chuẩn, M không đổi ứng với mỗi cõi dây tiêu chuẩn đang khảo sát. Đồ thị hàm Z là một parabol. Thay đổi tiết diện tiêu chuẩn ứng với các tiết diện  $F_3 > F_2 > F_1$  và vẽ nên một họ các đường cong như trong H.8.5.

- Giao điểm 1 của đường cong  $F_1$  với đường cong  $F_2$  xác định dòng điện cực đại  $I_{max1}$ . Theo đó nếu dòng điện trên đường dây nhỏ hơn  $I_{max1}$  thì chọn dây có tiết diện  $F_1$  có chi phí tính toán bé hơn.

- Giá trị dòng điện  $I_{max}$  trong khoảng I gọi là phạm vi kinh tế của tiết diện  $F_1$ .

- Lý luận tương tự giá trị dòng điện  $I_{max}$  trong khoảng II gọi là phạm vi kinh tế của tiết diện  $F_2$  ... Nếu  $I_{max} < I_{max1}$  chọn tiết diện  $F_1$ , nếu  $I_{max1} < I_{max} < I_{max2}$  chọn tiết diện  $F_2$ , ...

- Khi sử dụng phạm vi kinh tế của dòng điện, dòng điện tính toán  $I_u$  trên đường dây được xác định theo biểu thức sau:

$$I_u = I_{max} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T$$

trong đó:  $\alpha_i$  là hệ số xét đến sự biến đổi phụ tải trong năm. Đối với đường dây 110 – 220 kV  $\alpha_i$  có thể lấy bằng 1,05.

$\alpha_T$ : hệ số xét đến thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{max}$  và hệ số đồng thời cực đại của hệ thống.

- Để xác định phạm vi kinh tế cần xác định giá trị dòng giới hạn  $I_{gh(i+1,i)}$  ứng với giao điểm của các đường cong ứng với các tiết diện tiêu chuẩn  $F_{i+1}$  và  $F_i$  bằng cách cho hàm chi phí Z ứng với  $F_{i+1}$  bằng với hàm chi phí Z ứng với  $F_i$ :

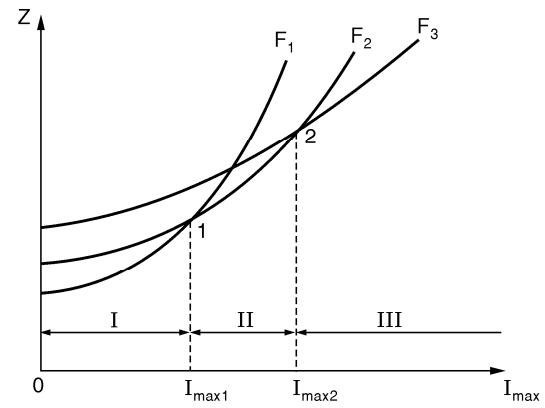
$$(a_{vh} + a_{tc}) M_i + 3I_{gh(i+1,i)}^2 \cdot r_{0,i} \cdot \tau \cdot c_0 = (a_{vh} + a_{tc}) M_{i+1} + 3I_{gh(i+1,i)}^2 \cdot r_{0,i+1} \cdot \tau \cdot c_0 \quad (8.34)$$

Giải phương trình trên ta được:

$$I_{gh(i+1,i)} = \sqrt{\frac{(a_{vh} + a_{tc})(M_{i+1} - M_i)}{3\tau c_0(r_{0,i} - r_{0,i+1})}} \quad (8.35)$$

trong đó:  $M_{i+1}$ ,  $M_i$  là giá tiền môt km chiều dài đường dây có tiết diện tiêu chuẩn lần lượt bằng  $F_{i+1}$  và  $F_i$ .

$r_{0,i+1}$ ,  $r_{0,i}$  là điện trở môt km chiều dài đường dây có tiết diện lần lượt bằng  $F_{i+1}$  và  $F_i$



Hình 8.5.  $Z = f(I_{max})$  theo các tiết diện tiêu chuẩn và cột tiêu chuẩn

( $\Omega/\text{km}$ ).

- Tiết diện dây chọn theo phạm vi kinh tế của dòng điện cực đại phải thỏa mãn tiết diện tối thiểu thỏa mãn điều kiện về vầng quang điện, đồng thời phải kiểm tra điều kiện phát nóng khi sự cố đứt một lô của đường dây lô kép hay đứt một đường dây trên mạch vòng kín tạo ra phân bố dòng nặng nề nhất sau sự cố.

**Ví dụ 8.5:** Cho mạng điện 110 kV, nguồn A, chiều dài đường dây và công suất phụ tải cho trong H.8.6.

Công suất phụ tải:  $P_2 = 36 \text{ MW}$ ,  $P_3 = 39 \text{ MW}$ ,  $P_4 = 22 \text{ MW}$ ,  $P_5 = 17 \text{ MW}$ ,  $P_6 = 41 \text{ MW}$ . Thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{\max} = 6200$  giờ, hệ số công suất của tất cả các phụ tải  $\cos\phi = 0,8$ . Đường dây dùng dây nhôm lõi thép, trụ bê tông cốt thép. Lựa chọn tiết diện dây dẫn theo phạm vi kinh tế của dòng điện.

**Giải**

Công suất trên các đoạn đường dây:

$$P_{23} = P_3 = 39 \text{ MW}$$

$$P_{A2} = P_2 + P_3 = 36 + 39 = 75 \text{ MW}$$

$$P_{56} = P_6 = 41 \text{ MW}$$

$$P_{45} = P_5 + P_6 = 17 + 41 = 58 \text{ MW}$$

$$P_{A4} = P_4 + P_5 + P_6 = 22 + 17 + 41 = 80 \text{ MW}$$

Tất cả đường dây là đường dây kép, dòng điện trên một lô đơn của đường dây:

$$I_{\max,23} = \frac{39 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 127,9 \text{ A}$$

$$I_{\max,A2} = \frac{75 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 246 \text{ A}$$

$$I_{\max,56} = \frac{41 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 134,5 \text{ A}$$

$$I_{\max,45} = \frac{58 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 190,3 \text{ A}$$

$$I_{\max,A4} = \frac{80 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 262,4 \text{ A}$$

Dòng điện tính toán của mỗi đoạn đường dây được xác định theo công thức:

$$I_{tt} = I_{\max} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T$$

trong đó chọn  $\alpha_i = 1,05$  và  $\alpha_T = 0,8$ .

$$I_{tt,23} = 127,9 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 107,4 \text{ A}$$

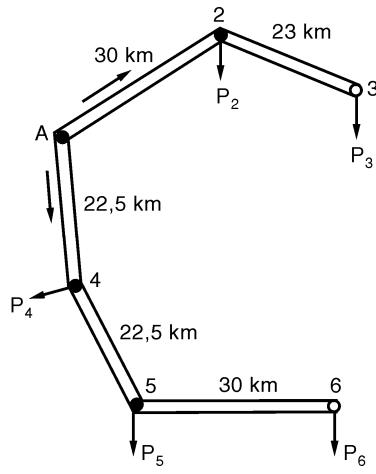
$$I_{tt,A2} = 246 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 206,6 \text{ A}$$

$$I_{tt,56} = 134,5 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 113 \text{ A}$$

$$I_{tt,45} = 190,3 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 159,9 \text{ A}$$

$$I_{tt,A4} = 262,4 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 220,4 \text{ A}$$

Tính phạm vi kinh tế ứng với bốn tiết diện tiêu chuẩn của cấp điện áp 110 kV là  $F_1 = 95 \text{ mm}^2$ ,  $F_2 = 120 \text{ mm}^2$ ,  $F_3 = 150 \text{ mm}^2$ ,  $F_4 = 185 \text{ mm}^2$ , đường dây dùng trụ bê tông ly tâm cốt thép hai mạch treo cả hai mạch với các số liệu sau:



Hình 8.6: Sơ đồ mạng điện ví dụ

Cô dây	AC-95	AC-120	AC-150	AC-185
Giá tiền $10^3$ \$ /km	27,6	28,8	30	31,6
Điện trở $\Omega/km$	0,32	0,25	0,20	0,17

Chọn các hệ số  $a_{tc} = 0,125$  (với  $T_{tc} = 8$  năm),  $a_{vh} = 0,105$  (trong đó khấu hao tài sản cố định là 8% và chi phí vận hành bảo quản mạng điện 2,5% trên vốn đầu tư). Giá điện bình quân là 0,05 \$/kWh. Với  $T_{max} = 6200$  giờ,  $\cos\phi = 0,8$ , thời gian tổn thất công suất lớn nhất  $\tau = 5000$  giờ.

Tìm các dòng điện giới hạn  $I_{gh(95,120)}$ ,  $I_{gh(120,150)}$  và  $I_{gh(150,185)}$ . Áp dụng công thức tính dòng giới hạn có được:

$$I_{gh(95,120)} = \sqrt{\frac{(0,105 + 0,125)(28,8 - 27,6) \cdot 10^3}{3,5000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot (0,32 - 0,25)}} = 72,5 \text{ A}$$

$$I_{gh(120,150)} = \sqrt{\frac{(0,105 + 0,125)(30 - 28,8) \cdot 10^3}{3,5000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot (0,25 - 0,20)}} = 85,8 \text{ A}$$

$$I_{gh(150,185)} = \sqrt{\frac{(0,105 + 0,125)(31,6 - 30) \cdot 10^3}{3,5000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot (0,20 - 0,17)}} = 127,9 \text{ A}$$

Căn cứ vào các dòng điện giới hạn chọn tiết diện cho các đoạn như sau:

Đoạn	$I_{lt}$ (A)	Cô dây	Dòng cho phép (A)
A-2	206,6	AC-185	515
2-3	107,4	AC-150	445
A-4	220,4	AC-185	515
4-5	159,9	AC-185	515
5-6	113	AC-150	445

Tất cả các tiết diện được chọn đều lớn hơn tiết diện tối thiểu ở cấp điện áp 110 kV là cô dây AC-70 và đều thỏa mãn điều kiện phát nóng khi đứt một lô của đường dây lô kép.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 8

**8.1.** Xác định tiết diện kinh tế của đường dây ba pha cung cấp cho phụ tải 10 kV theo đồ thị phụ tải:

- i) 1000 kW,  $\cos\phi = 0,8$  trong 10 giờ
- ii) 500 kW,  $\cos\phi = 0,9$  trong 8 giờ
- iii) 100 kW,  $\cos\phi = 1$  trong 6 giờ.

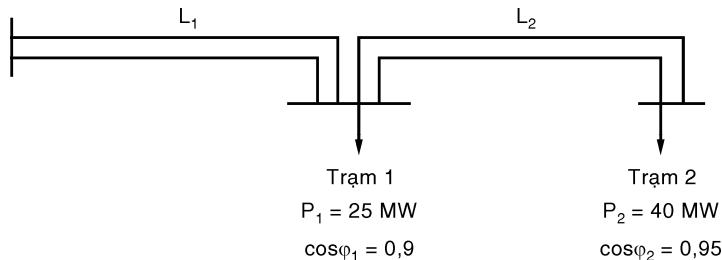
Tiền đầu tư cho mỗi km chiều dài đường dây là  $(7,7F + 930)$  \$/km với F là tiết diện,  $\text{mm}^2$ . Lãi suất và khấu hao hàng năm bằng 10% tiền đầu tư. Chi phí do tổn thất điện năng: 0,05 \$/kWh. Điện trở suất của dây dẫn  $1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

$$DS: 278 \text{ mm}^2$$

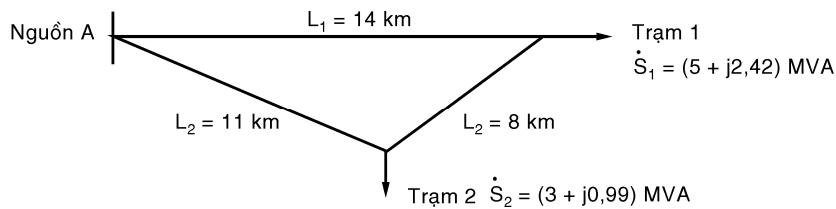
**8.2.** Tiền đầu tư cho một km đường dây ba pha trên không có tiết diện  $F \text{ cm}^2$  là  $(1980F + 1200)$  \$/km. Hệ số phụ tải  $k_{pt} = 0,4$ , hệ số tổn thất  $k_{tl} = (0,25 \cdot k_{pt} + 0,75 \cdot k_{pt}^2)$ . Lãi suất và khấu hao hàng năm bằng 10% tiền đầu tư, chi phí do tổn thất điện năng 0,1 \$/kWh. Tìm mật độ dòng kinh tế. Cho biết dùng dây đồng có điện trở suất  $1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

$$DS: 0,44 \text{ A/mm}^2$$

- 8.3.** Tìm tiết diện dây nhôm lõi thép cho mạng điện 110 kV có sơ đồ trong Hình BT8.3. Thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{max}$  của trạm 1 là 4500 giờ/năm và của trạm 2 là 5500 giờ/năm.

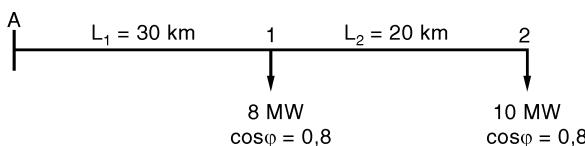


- 8.4.** Hình BT8.4 trình bày một mạng điện 35 kV với công suất phụ tải và chiều dài đường dây. Chọn tiết diện dây nhôm lõi thép theo mật độ dòng kinh tế, cho  $T_{max} = 4500$  giờ/năm đối với trạm 1 và 2500 giờ/năm đối với trạm 2.



- 8.5.** Chọn tiết diện dây theo phạm vi kinh tế của mạng điện 110 kV cho trong Hình BT8.5. Toàn đường dây dùng dây nhôm lõi thép, cột bê tông ly tâm. Cho các hệ số  $a_{tc} = 0,125$ ,  $a_{vh} = 0,1$ ,  $\alpha_i = 1,05$ ,  $\alpha_T = 0,8$ . Thời gian tổn thất công suất lớn nhất  $\tau = 5000$  giờ/năm. Giá tiền một kWh điện năng tổn thất 0,05 \$/kWh. Số liệu về tiền đầu tư 1 km đường dây và điện trở dây dẫn cho trong bảng:

Dây	Tiền đầu tư $10^3 \$/km$	$r_0 (\Omega/km)$
AC-95	16	0,33
AC-120	16,7	0,27
AC-150	17,6	0,21
AC-185	18,5	0,17
AC-240	19,8	0,132



## Chương 8

# TÍNH TOÁN KINH TẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

### 8.1 SỰ PHÁT TRIỂN KINH TẾ CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Sự phát liên tục của phụ tải đòi hỏi phải phát triển thêm nguồn và lưới điện hiện đại. Sự phát triển này đòi hỏi phải tối ưu về kinh tế.

Tổng chi phí của bất kỳ một công trình xây dựng nào cũng được chia làm hai phần:

1. Tổng vốn đầu tư ban đầu.
2. Chi phí vận hành hằng năm.

Trong hai thành phần này thì vốn đầu tư ban đầu được chi ra trong một thời gian ngắn trong khi chi phí vận hành hằng năm thì phân bố trong nhiều năm (có thể cả trăm năm).

Để phần đoán tính kinh tế của một dự án cần thiết phải qui đổi hai loại chi phí này về cùng một cơ sở. Điều này được làm như sau:

1. Qui đổi vốn đầu tư ban đầu về **số tiền tương đương hằng năm** gọi là chi phí cố định.
2. Qui đổi chi phí vận hành hàng năm về số tiền tương đương **qui về thời gian xây dựng** gọi là giá trị hiện tại.

Chi phí cố định hiện tại là số tiền tối thiểu hàng năm đủ để chi cho việc chịu lãi hàng năm nhằm thu hút đầu tư cũng như cho phép thu hồi được vốn của riêng công ty trong khoảng thời gian tuổi thọ đồng thời phải trả thuế và phí bảo hiểm cho công trình - chi phí cố định tỷ lệ với vốn đầu tư nghĩa là nếu vốn đầu tư là M thì chi phí cố định hàng năm là yM, trong đó y được gọi là suất chi phí cố định.

Giả thiết chi phí vận hành hàng năm của công ty (bao gồm tổng phí bảo quản, tổn thất) là C thì yêu cầu doanh thu tối thiểu hàng năm để trang trải là:

$$\mathcal{R} = yM + C \quad (8.1)$$

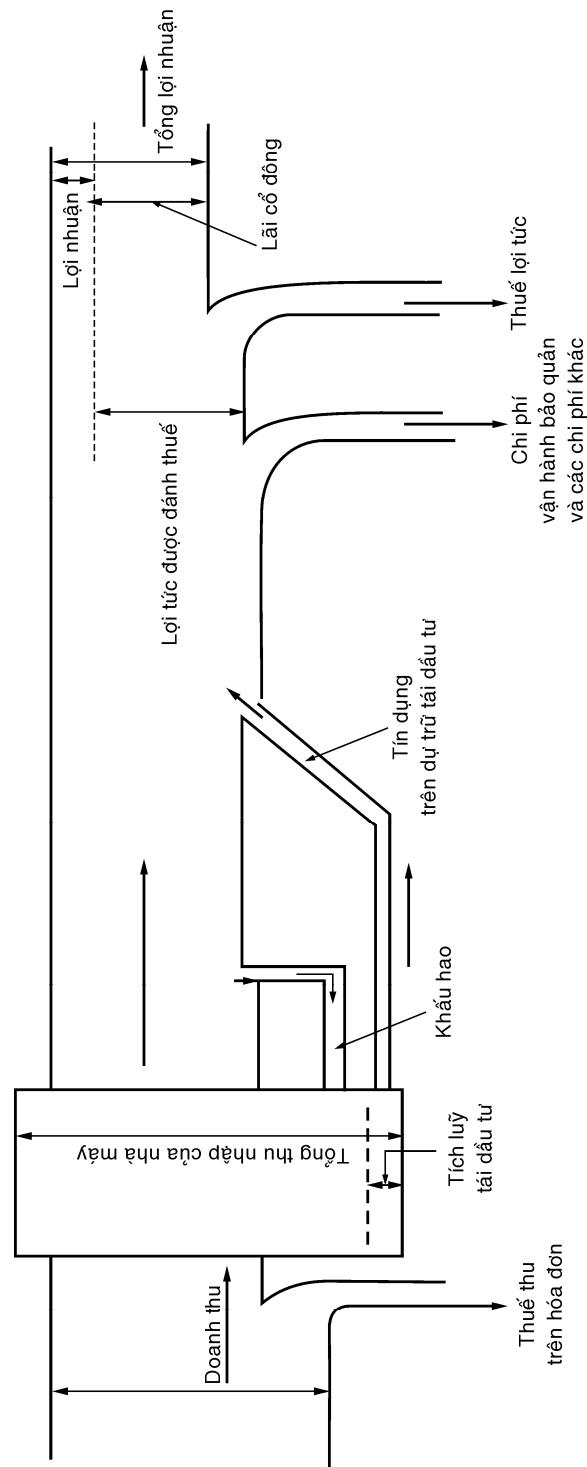
sự phân bổ nguồn doanh thu này được trình bày theo lưu đồ sau (H.8.1).

Giá trị hiện tại của chi phí hàng năm là số tiền thay vì đem chi dùng ngay cho hoạt động của công ty mà nếu được đầu tư (cho vay) ngay bây giờ với mức lãi kép hàng năm là i thì sẽ tạo ra được mức thu nhập hàng năm bằng với mức chi phí như mong đợi.

Ví dụ, nếu chi phí trong năm thứ k kể từ bây giờ được dự kiến là  $C_k$  thì giá trị hiện tại của nó với mức lãi kép là i cho bởi:

$$\mathcal{P} = \frac{C_k}{(1+i)^k} \quad (8.2)$$

Kết quả là nếu biết chi phí vận hành hàng năm trong thời gian tuổi thọ N năm của công trình thì tổng giá trị hiện tại của phí tổn vận hành hàng năm là tổng chi phí vận hành cho N năm).



**Hình 8.1:** Lưu đồ thu nhập và chi phí hàng năm

$$\mathcal{P} = \frac{C_1}{1+i} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_N}{(1+i)^N} \quad (8.3)$$

như vậy giá trị đầu tư hiện tại F của toàn công ty:

$$\mathcal{F} = M + \mathcal{P} \quad (8.4)$$

Nếu chi phí vận hành hàng năm tất cả đều bằng C thì đơn giản:

$$\mathcal{P} = C \left[ \frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + \dots + \frac{1}{(1+i)^N} \right] = C \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \quad (8.5)$$

Từ đó:

$$C = \mathcal{P} \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (8.6)$$

Phương trình (8.6) cùng với phương trình (8.3) có thể được dùng để suy ra phí tổn vận hành hàng năm đồng nhất tương đương C dùng trong phương trình (8.1) trong trường hợp mà chi phí hàng năm thực tế thay đổi theo từng năm. Trong những trường hợp như vậy tiện hơn là nên biểu diễn chi phí hàng năm đồng nhất tương đương này bằng chi phí năm thứ nhất  $C_1$  nhân với hệ số r:

$$C = r.C_1 \quad (8.6a)$$

trong đó r được xác định từ phương trình (8.6) và (8.6a).

Doanh thu yêu cầu  $\mathcal{R}$  như đã được định nghĩa trong phương trình (8.1) và giá trị hiện tại  $\mathcal{F}$  trong phương trình (8.4) là các thước đo kinh tế của công ty và dùng làm tiêu chuẩn kinh tế trong việc tìm giải pháp kinh tế trong bài toán phát triển.

Cả  $\mathcal{R}$  và  $\mathcal{F}$  đều là hàm của một số thông số  $p_1, p_2, \dots, p_N$ . Chẳng hạn trong trường hợp của đường dây truyền tải các thông số là điện áp, tiết diện dây, vật liệu dây, vật liệu và cấu trúc của trụ, loại cách điện. Thường thì nếu M tăng do việc tăng của một trong các thông số này thì C sẽ giảm sao cho có được một tập hợp tối ưu các trị số của thông số theo đó R và F là cực tiểu.

Phương án kinh tế nhất, tập hợp các trị số kinh tế nhất của các thông số dĩ nhiên sẽ được định nghĩa bằng N phương trình sau đây trên cơ sở của phương trình (8.1):

$$\frac{\partial}{\partial p_k} \mathcal{R} = y \frac{\partial M}{\partial p_k} + \frac{\partial C}{\partial p_k} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (8.7)$$

và N phương trình sau đây trên cơ sở của phương trình (8.4)

$$\frac{\partial}{\partial p_k} \mathcal{F} = \frac{\partial M}{\partial p_k} + \frac{\partial}{\partial p_k} \mathcal{P} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (8.8)$$

Ví dụ, nếu giả thiết rằng  $p_k$  là tiết diện dây và chỉ là thông số duy nhất và nếu giả thiết rằng chi phí xây dựng M (giá tiền dây) tỷ lệ thuận với  $p_k$  trong khi đó chi phí vận hành hàng năm C (tổn thất trên dây dẫn) tỷ lệ nghịch với  $p_k$  thì các phương trình (8.7) và (8.8) sẽ dẫn đến luật Kelvin. Luật Kelvin phát biểu rằng tiết diện kinh tế nhất của đường dây là tiết diện mà theo đó phí tổn cố định hàng năm xuất phát từ tiền dây bằng với phí tổn hàng năm do tổn thất trên đường dây truyền tải.

Thật vậy, vốn đầu tư M của đường dây có dạng:

$$M = aF + b$$

trong đó: F là tiết diện dây

aF: phần chi phí liên quan đến dây dẫn, tỷ lệ thuận với tiết diện F

b: phần chi phí gần như không thay đổi (trụ, thăm dò...)

Nếu gần đúng coi phí tổn vận hành chỉ có phí tổn do tổn thất điện năng tỷ lệ nghịch với tiết diện dây:

$$C = \frac{K}{F} \quad \text{với } K \text{ là hệ số tỷ lệ.}$$

vậy:

$$\mathcal{R} = y M + C = y(aF + b) + \frac{K}{F}$$

Lấy đạo hàm của  $\mathcal{R}$  theo tiết diện F và cho bằng không:

$$\frac{\partial}{\partial F} \mathcal{R} = y \frac{dM}{dF} + \frac{dC}{dF} = 0$$

$$y.a - \frac{K}{F^2} = 0$$

$$y.a = \frac{K}{F^2} \Rightarrow y.a.F = \frac{K}{F} \quad (\text{điều đã được chứng minh})$$

Nhưng các phương trình (8.7) và (8.8) chỉ có giá trị lý thuyết vì thực tế khó mà biểu diễn vốn đầu tư M hay chi phí hàng năm C là hàm toán học của thông số chủ yếu vì phần lớn các thông số này là không liên tục. Chẳng hạn tiết diện dây là các cỡ dây tiêu chuẩn.

Xuất phát từ điều đó, có thể hiểu rằng trong trường hợp thực tế bài toán kinh tế gắn liền với sự phát triển hệ thống tự nó được thu về chọn lựa giữa hai hay nhiều phương án. Ví dụ, giả sử rằng một dự án phát triển đưa ra hai phương án I và II, phương án I đòi hỏi thiết bị có vốn đầu tư  $M_I$ , tuổi thọ  $N_I$  năm và có phí tổn vận hành hàng năm là  $C_I$  ứng với giá trị hiện tại là  $P_I$ . Các trị số tương ứng của phương án II là  $M_{II}$ ,  $N_{II}$ ,  $C_{II}$  và  $P_{II}$ .

Rõ ràng phương án I sẽ kinh tế hơn phương án II nếu:

$$\mathcal{R}_I < \mathcal{R}_{II} \quad (8.9)$$

trong đó  $\mathcal{R}_I$  và  $\mathcal{R}_{II}$  là các giá trị đầu tư hiện tại của hai phương án như định nghĩa trong phương trình (8.4). Thay phương trình (8.4) vào phương trình (8.9)

$$M_I + P_I < M_{II} + P_{II} \quad (8.10)$$

$$M_I - M_{II} < P_{II} - P_I \quad (8.10)$$

Nếu tuổi thọ của hai phương án bằng nhau  $N_I$  và  $N_{II}$ , thì cũng có thể nói rằng phương án I sẽ kinh tế hơn phương án II nếu:

$$\mathcal{R}_I < \mathcal{R}_{II} \quad (8.11)$$

trong đó  $\mathcal{R}_I$  và  $\mathcal{R}_{II}$  được định nghĩa trong phương trình (8.1)

$$\mathcal{R}_I = yM_I + C_I \quad (8.12)$$

$$\mathcal{R}_{II} = yM_{II} + C_{II} \quad (8.13)$$

do đó, với phương trình (8.6a)

$$M_I - M_{II} < \frac{C_{II} - C_I}{y} = \frac{r}{y} (C_{II,1} - C_{I,1}) \quad (8.14)$$

Số 1 chỉ năm thứ nhất.

Hiệu số  $P_{II} - P_I$  trong (8.10) hay  $(C_{II} - C_I)/y$  trong (8.14) được hiểu là vốn đầu tư phu

(hay vốn đầu tư biện minh được) bằng với lượng có thể đầu tư thêm trong phương án I và vẫn cho phép thu hồi do mức chi phí hàng năm thấp hơn của phương án I. Thừa số  $r/y$  trong phương trình (8.14) được gọi là hệ số đầu tư biện minh được.

Từ phương trình (8.14) có được:

$$\frac{M_I - M_{II}}{C_{II,1} - C_{I,1}} < \frac{r}{y}$$

$\frac{r}{y}$  có đơn vị là năm và còn được ký hiệu là  $T_{lc}$  là thời gian thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn.

Nhắc lại vốn đầu tư phụ là hiệu số  $(M_I - M_{II})$  mà phương án I phải đầu tư thêm để đạt hiệu quả kinh tế.

## 8.2 SUẤT CHI PHÍ CỔ ĐỊNH HÀNG NĂM

Suất chi phí cố định hàng năm (ký hiệu là  $y$ ) bao gồm bốn thành phần tương ứng như sau:

1. Trả lãi trên vốn đầu tư;
2. Sự giảm giá trị (khấu hao);
3. Thuế;
4. Bảo hiểm.

- Chi trả lãi hàng năm bao gồm tiền lãi trên phiếu nợ, lãi cổ phần. Phần trăm trả lãi i.100% được đặt ra bởi các nhà đầu tư nhằm thu hút tư bản cho xí nghiệp.

- Sự giảm giá trị là phần thu nhập được đưa vào dự trữ với ý định là quỹ dự trữ đó sẽ bằng với vốn đầu tư vào giai đoạn cuối cùng của tuổi thọ. Nếu giả thiết những dự trữ này được đầu tư vào chính bản thân công ty với mức lãi tích luỹ i giống như đã áp dụng cho vốn đầu tư ban đầu thì tiền đồng nhất hàng năm.

$$M_d = M \cdot \frac{i}{(i+1)^N - 1} = d \cdot M \quad (8.15)$$

trong đó  $N$  là tuổi thọ tính ra năm và  $M$  là vốn đầu tư ban đầu.  $M_d$  được giữ dùng làm dự trữ hàng năm cho sự giảm giá trị.

- Tiền thuế bao gồm thuế lợi tức và thuế thu nhập.

Thuế hàng năm và phí bảo hiểm được biểu diễn bằng suất chi dùng là tỷ số giữa số tiền chi dùng hàng năm cho thuế và bảo hiểm với tiền đầu tư ban đầu.

Gọi  $t$  là suất tiền thuế,  $j$  là suất bảo hiểm thì suất chi phí cố định  $y$  có thể được viết như sau:

$$y = i + d + t + j \quad (8.16)$$

$$y = i + \frac{i}{(i+1)^N - 1} + t + j = \frac{i(i+1)^N}{(i+1)^N - 1} + t + j \quad (8.17)$$

Tất nhiên, suất chi phí cố định này giống như mọi thành phần khác trong so sánh kinh tế được đặt trên cơ sở các phỏng đoán được dự kiến xa trong tương lai. Ngay cả mức lãi suất  $i$  chỉ cũng được thành lập một cách khó khăn và trong tương lai lại rất là bất định. Thuế lợi tức và phí bảo hiểm trong hiện tại được xác định thì có ai sẽ biết được 20 hay 40 năm nữa chúng sẽ như thế nào? Ảnh hưởng của những bất định này phải được giảm đến chừng mực nào đó để tránh

mâu thuẫn trong các giả thiết đối với các phương án khác nhau.

### **8.3 CHI PHÍ ĐẦU TƯ**

Việc xác định chi phí đầu tư hầu như hoàn toàn dựa trên các ước lượng cẩn thận. Các dữ kiện về xây dựng tương tự trong quá khứ chỉ giúp một phần vì luôn luôn có sự sai lệch về giá cả và sự tiến bộ trong công nghệ.

Để tiến hành việc xác định vốn đầu tư, chi phí phải được chia làm nhiều nhóm thích hợp. Có ít sự tiêu chuẩn hóa được đưa ra để chọn các nhóm này nhưng điều mong muốn là phải làm cho chúng phù hợp với hệ thống kế toán của công ty vì có như vậy thì sau khi hoàn tất dự án mới có thể so sánh vốn đầu tư thực tế với sự ước lượng được đề xuất.

Một phương pháp để lập nhóm cho chi phí đầu tư gồm các chi phí như sau:

1. Mua mới và chi phí xây dựng trực tiếp: bao gồm việc mua thiết bị, bất động sản cho công trình mới, chi phí về lao động để xây dựng, chuyên chở và các chi phí khác có liên quan trực tiếp đến xây dựng.

2. Chi phí tồn kho bao gồm các vật liệu tiêu chuẩn được rút ra từ kho vật tư của công ty dùng cho xây dựng mới.

Dĩ nhiên những vật liệu này phải được chuyển vào tiền đầu tư mới và được kể vào phần chiết tính đầu tư đề xuất.

3. Chi phí xây dựng gián tiếp bao gồm:

- Chi phí cho kỹ sư và giám sát công trình;
- Chi phí lao động gián tiếp;
- Bảo hiểm gồm các hạng mục như bảo hiểm hỏa hoạn, tai nạn ...
- Thuế trong thời gian xây dựng trên tài sản cố định, thuế tài sản cá nhân có thể thu được trên công trình lúc xây dựng.
- Chi phí hành chính và chi phí chung.

### **8.4 CHI PHÍ VẬN HÀNH HÀNG NĂM**

Chi phí vận hành hàng năm (bảo quản, tổn thất điện năng ...) là tất cả các hạng mục chi phí cần thiết cho việc vận hành của công trình và chi phí do tổn thất điện năng trong khi vận hành. Tổng quát chi phí vận hành C bao gồm các hạng mục chủ yếu như sau:

□ Chi phí về vật tư được yêu cầu cho vận hành và bảo quản như: chi phí phục vụ mua, chi phí về sử dụng và tồn trữ.

- Chi phí phục vụ mua, khảo sát và thanh toán vật tư;
- Cho phép về hao hụt.

□ Chi phí về vận hành và công bảo quản bao gồm:

- Chi trả lương trực tiếp;
- Thuế trên quỹ lương chẳng hạn thuế bảo hiểm xã hội;
- Dự trù cho nghỉ phép, bệnh hoạn;
- Chuyên chở công nhân;
- Du lịch;

- Dụng cụ và máy móc lao động.

- Ngoài ra các chi phí về vật tư và lao động còn có các hạng mục chi phí khác như:
- Đền bù hoa màu, phát hoang;
- Thiệt hại do thiết bị ngừng hoạt động do bảo trì;
- Chi phí trong việc bán điện;
- Tiền thuê mướn;
- Điện năng tổn thất.

Những chi phí nào gần như giống nhau đối với mọi phương án thì có thể không xét đến khi so sánh phương án vì chúng không làm ảnh hưởng việc chọn phương án. Trong những hạng mục nói trên, tổn thất điện năng cần được xem xét một cách kỹ lưỡng.

Trong so sánh kinh tế của nhiều phương án được đề nghị, hai giá trị sau đây có liên quan đến tổn thất:

- Tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$ , kW;
- Tổn thất điện năng hàng năm  $\Delta A$ , kWh.

Tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$  có thể được tính toán từ phụ tải cực đại dự kiến. Tuy vậy, có hai phương pháp để xác định tổn thất điện năng hàng năm  $\Delta A$ .

- Quá trình tính toán bắt đầu từ đồ thị phụ tải đối với phụ tải của công trình đang khảo sát và tương tự với các đồ thị phụ tải của các công trình khác về mặt tổn thất. Từ các đồ thị phụ tải này, đồ thị của tổn thất có thể được xác định bằng các phương pháp tính toán tổn thất thông thường. Tích phân của đồ thị tổn thất công suất là tổn thất điện năng hàng năm

$$\Delta A = \int_0^T \Delta P dt \quad (8.18)$$

Một phương pháp ngắn hơn là nhân tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$  với số giờ trong một năm và hệ số tổn thất  $K_{tt}$ :

$$\Delta A = 8760 \times K_{tt} \times \Delta P_{max} \text{ kWh} \quad (8.19)$$

Đặt  $\tau = K_{tt} \cdot 8760$  là thời gian tổn thất công suất cực đại:

$$\Delta A = \Delta P_{max} \cdot \tau \text{ kWh} \quad (8.20)$$

Phương pháp này thường được dùng khi tổn thất bởi phụ tải của riêng một phần tử đang khảo sát chẳng hạn trong trường hợp tổn thất trong đồng của máy biến áp hay tổn thất trên đường dây truyền tải. Tổn thất điện năng được tính ra tiền để cho phép so sánh về kinh tế.

Trong trường hợp công ty sản xuất điện năng cho khách hàng thì phí tổn về tổn thất công suất phải được xét đến. Biết rằng 1 kW tăng thêm ở tổn thất công suất cực đại  $\Delta P_{max}$ , đòi hỏi 1 kW tăng thêm trong công suất đặt của nhà máy. Hậu quả là chi phí cố định hàng năm phải kể thêm chi phí lắp đặt thêm công suất  $\Delta P_{max}$  để bù vào tổn thất. Nói cách khác, nếu chi phí lắp đặt 1 kW công suất phát là  $M_0$  với suất chi phí cố định là  $y$  thì chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất cho bối:

$$C_{tt} = M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 \cdot \Delta A \quad (8.21).$$

trong đó  $c_0$  là chi phí sản xuất ra 1 kWh điện năng. Có thể viết:

$$C_{tt} = M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 (8760 \cdot K_{tt}) \cdot \Delta P_{max}$$

$$= \Delta P_{\max} \cdot y \cdot [M_0 + \frac{c_0 \cdot 8760 \cdot K_{tt}}{y}]$$

hay:

$$C_{tt} = \Delta P_{\max} \cdot y \cdot [M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y}] \quad (8.22)$$

với  $\tau$  là thời gian tổn thất công suất cực đại.

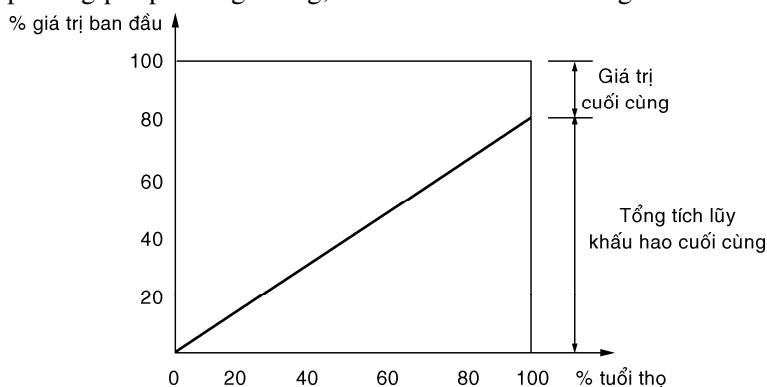
### Ví dụ 8.1

Máy biến áp 100 kVA có giá tiền là 13.000 \$. Nếu tuổi thọ của máy biến áp là 20 năm và giá trị còn lại sau khi hết tuổi thọ là 1.000 \$. Hãy tính tiền trích khấu hao hàng năm để dự trữ tái đầu tư cho máy biến áp sau khi hết thời gian tuổi thọ theo hai phương pháp:

- i. Phương pháp đường thẳng (không tính lãi suất kép).
- ii. Phương pháp lãi suất kép với mức lãi suất  $i\% = 10\%/\text{năm}$ .

### Giải

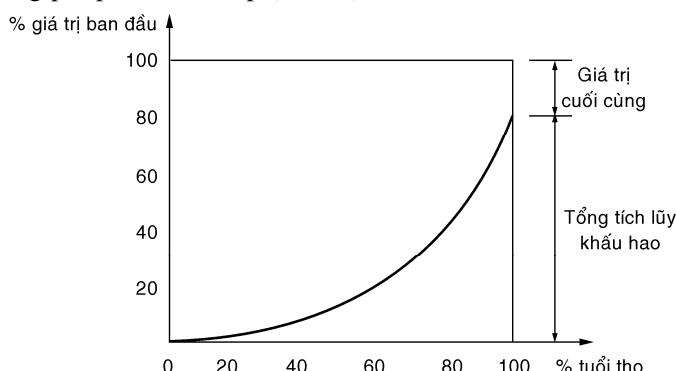
- i. Theo phương pháp đường thẳng, tiền trích khấu hao hàng năm cho bởi H.8.2.:



**Hình 8.2**

$$\begin{aligned} \text{Khấu hao hàng năm} &= \frac{\text{Giá trị đầu} - \text{Giá trị cuối}}{\text{Thời gian tuổi thọ}} \\ &= \frac{13000 - 1000}{20} = 600 \$ / \text{năm} \end{aligned}$$

- ii. Theo phương pháp lãi suất kép (H.8.3.):



**Hình 8.3**

$$\text{Khấu hao hàng năm} = (\text{giá trị ban đầu} - \text{giá trị cuối cùng}) \cdot \frac{i}{(1+i)^N - 1}$$

với  $i\% = 10\%$ ,  $N = 20$  năm

$$\begin{aligned}\text{Khấu hao hàng năm} &= (13.000 - 1000) \cdot \frac{0,1}{(1+0,1)^{20} - 1} \\ &= \frac{12000}{6,727 - 1} = 209,6 \text{ $/năm.}\end{aligned}$$

*Nhận xét:* Tiền khấu hao tính theo ii) nhỏ hơn tính theo i) do tiền lãi tích luỹ bởi lãi suất kép để cuối cùng khi hết thời gian tuổi thọ có đủ số tiền tái đầu tư.

### Ví dụ 8.2

Hai phương án được đề nghị để thiết kế một trạm biến áp có cùng công suất.

Phương án 1: dùng máy biến áp làm mát bằng dầu và không khí tự nhiên (ONAN).

Phương án 2: dùng máy biến áp làm mát tự nhiên bằng dầu, làm mát bằng cưỡng bức gió (ONAF).

Các số liệu như sau:

	Phương án 1	Phương án 2
Tổn hao đồng cực đại $\Delta P_{cu\ max}$	30 kW	42 kW
Tổn hao sắt $\Delta P_{Fe}$	16 kW	21 kW
Giá tiền máy biến áp	33000 \$	26000 \$
Chi phí cho vận hành bảo quản	10%	14%
Lãi suất $i\%$	6%	6%
Tuổi thọ N	30 năm	30 năm

Hệ số tổn thất  $K_{tt,Cu} = 0,2$  đối với tổn thất đồng và  $K_{tt,Fe} = 1$  đối với tổn thất sắt. Mức thuế và bảo hiểm là 7 %. Tiền điện 0,09 \$/kWh. Hãy chọn phương án kinh tế. Cho tiền đầu tư 1 kW công suất nguồn phát là 300 \$/kW và suất chi phí là 14%.

**Giải:** Phương án kinh tế là phương án có yêu cầu thu nhập hàng năm để trang trải cho các phí tổn hàng năm là ít nhất

Phí tổn hàng năm cho bởi:

$$R = y \cdot M + C.$$

trong đó  $y = i + d + t + j$ ;  $M$  - tiền đầu tư

$C$  - phí tổn vận hành hàng năm

$$C = C_{bq} + C_{tt}$$

với  $C_{bq}$  - phí tổn cho vận hành và bảo quản.

$C_{tt}$  - phí tổn do tổn thất điện năng và tổn thất công suất.

□ *Đối với phương án 1:*

$$i\% = 6\%$$

$$d = \frac{i}{(i+1)^N - 1} \cdot 100\% = \frac{0.06}{(0.06+1)^{30} - 1} \cdot 100\% = 1,265\% \approx 1,27\%$$

$$t + j = 7\%$$

Suất chi phí cố định:  $y = i + d + t + j = 6 + 1,27 + 7 = 14,27\%$ .

Chi phí phục vụ cho vận hành bảo dưỡng:

$$C_{bq} = 0,1 \times 33000 = 3300\text{ $}$$

Tổn thất điện năng trong đồng:

$$\Delta A_{Cu} = \Delta P_{Cu,max} \cdot K_{tt,Cu} \cdot 8760 = 30.0,2 \cdot 8760 = 52560 \text{ kWh.}$$

Tổn thất điện năng trong sắt:

$$\Delta A_{Fe} = \Delta P_{Fe} \cdot K_{tt,Fe} \cdot 8760 = 16.1 \cdot 8760 = 140160 \text{ kWh.}$$

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\Delta A = \Delta A_{Cu} + \Delta A_{Fe} = 52560 + 140160 = 192720 \text{ kWh}$$

Chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất:

$$\begin{aligned} C_{tt} &= M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 \cdot \Delta A \\ &= 300. 0,14. (30+16) + 0,09. 192720 = 19276,8 \text{ $.} \end{aligned}$$

Tổng chi phí vận hành:

$$C_1 = C_{bq} + C_{tt} = 3300 + 19276,8 = 22576,8 \text{ $}$$

Thu nhập hàng năm:

$$R_1 = yM_1 + C_1 = 0,1427 \times 33000 + 22576,8 = 27286 \text{ $.}$$

↔ Đối với phương án 2:

Tính toán tương tự:

$$y = 14,27 \text{ %.}$$

Chi phí phục vụ cho vận hành, bảo quản:

$$C_{bq} = 0,14 \cdot 26000 = 3640 \text{ $.}$$

Tổn thất điện năng trong đồng:

$$\Delta A_{cu} = \Delta P_{Cu,max} \cdot K_{tt,Cu} \cdot 8760 = 42.0,2 \cdot 8760 = 73584 \text{ kWh}$$

Tổn thất điện năng trong sắt:

$$\Delta A_{Fe} = \Delta P_{Fe} \cdot K_{tt,Fe} \cdot 8760 = 21.1 \cdot 8760 = 183960 \text{ kWh.}$$

Tổn thất điện năng trong trạm:

$$\Delta A = \Delta A_{Cu} + \Delta A_{Fe} = 73584 + 183960 = 257544 \text{ kWh}$$

Chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất:

$$\begin{aligned} C_{tt} &= M_0 \cdot y \cdot \Delta P_{max} + c_0 \cdot \Delta A \\ &= 300. 0,14. (42 + 21) + 0,09. 257544 = 25825 \text{ $.} \end{aligned}$$

Tổng chi phí vận hành:

$$C_2 = C_{bq} + C_{tt} = 3640 + 25825 = 29465 \text{ $}$$

Thu nhập hàng năm:

$$R_2 = yM_2 + C_2 = 0,1427 \cdot 26000 + 29465 = 33175 \text{ $.}$$

Kết luận:  $R_1 < R_2$

Phương án 1 là phương án kinh tế.

## 8.5 HÀM MỤC TIÊU TRONG SO SÁNH PHƯƠNG ÁN

Một biểu thức dùng để so sánh phương án đó là hàm mục tiêu. Trở lại với việc so sánh phương án: phương án I và phương án II. Nếu phương án I gọi là phương án kinh tế hơn phương án II thì theo phương trình (8.14) có được:

$$\frac{M_I - M_{II}}{C_{II,1} - C_{I,1}} < \frac{r}{y} \quad (8.23)$$

hay:

$$\frac{y}{r} \cdot (M_I - M_{II}) < (C_{II,1} - C_{I,1}) \quad (8.24)$$

trong đó:  $M_I, M_{II}$  lần lượt là vốn đầu tư của hai phương án I và II.

$C_{I,1}, C_{II,1}$  là chi phí vận hành lần lượt của hai phương án I và II trong năm 1

y: suất chi phí cố định

r: hệ số quy đổi về chi phí vận hành đồng nhất.

Chi phí vận hành hàng năm có thể được viết:

$$C = a_{vh} \cdot M + C_u \quad (8.25)$$

trong đó: -  $a_{vh}$ : hệ số vận hành tính trên vốn đầu tư M xét đến chi phí do bảo quản và vận hành lưỡi điện.

-  $C_u$ : chi phí do tổn thất điện năng và tổn thất công suất.

Từ (8.24) và (8.25) có được:

$$\begin{aligned} \frac{y}{r} (M_I - M_{II}) &< \left[ a_{vh} \cdot M_u + \Delta P_{maxII} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \right] - \left[ a_{vh} \cdot M_I + \Delta P_{maxI} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \right] \\ M_I \left( \frac{y}{r} + a_{vh} \right) + \Delta P_{maxI} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) &< M_{II} \left( \frac{y}{r} + a_{vh} \right) + \Delta P_{maxII} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \\ Z_I &< Z_{II} \end{aligned} \quad (8.26)$$

Z gọi là hàm mục tiêu dùng để so sánh phương án, phương án nào có  $Z_{min}$  gọi là phương án kinh tế nhất:

$$Z = \left( \frac{y}{r} + a_{vh} \right) \cdot M + \Delta P_{max} \cdot y \cdot \left( M_0 + \frac{c_0 \cdot \tau}{y} \right) \quad (8.27)$$

Đặt  $T_{tc} = \frac{r}{y}$  là thời gian thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn, thời gian này được quy định tùy theo tình hình kinh tế của mỗi nước.

$a_{tc} = \frac{1}{T_{tc}} = \frac{y}{r}$  gọi là hệ số thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn.

Mặt khác, nếu gần đúng không xét thêm vốn đầu tư một đơn vị công suất phát  $M_0$ , có được biểu thức đơn giản của hàm mục tiêu Z

$$\begin{aligned} Z &= (a_{vh} + a_{tc}) \cdot M + c_0 \cdot \Delta P_{max} \cdot \tau \\ Z &= (a_{vh} + a_{tc}) \cdot M + c_0 \cdot \Delta A. \end{aligned} \quad (8.28)$$

Biểu thức này giúp cho sinh viên tính tay hàm mục tiêu khi không đủ các số liệu như y, r,  $M_0$ , ...

Một vài số liệu tham khảo về hệ số  $a_{vh}$  % cho đường dây và trạm:

Tên công trình	$a_{vh}\%$
Đường dây trên không cột gỗ	10
Đường dây trên không dùng cột thép và bê tông cốt thép	4
Đường dây cáp	5
Trạm biến áp	8÷10

## 8.6 ÁP DỤNG TÍNH TIẾT DIỆN KINH TẾ CỦA ĐƯỜNG DÂY TRÊN KHÔNG VÀ DÂY CÁP

Vốn đầu tư của đường dây gồm hai phần:

- Phần tỷ lệ với tiết diện  $F$  của dây liên quan đến phí tổn dây dẫn.
- Phần gần như không phụ thuộc vào tiết diện như chi phí thăm dò, sứ cách điện, cột điện.

Vốn đầu tư cho một đơn vị chiều dài đường dây có dạng:

$$M = aF + b \quad \text{trong đó } a, b \text{ là các hằng số.}$$

Tổn thất điện năng trên một đơn vị chiều dài trong một năm:

$$\Delta A = 3I_{max}^2 \cdot r_0 \cdot K_{tt} \cdot 8760 = 3I_{max}^2 \cdot r_0 \cdot \tau$$

trong đó  $r_0$ , điện trở một đơn vị chiều dài dây dẫn.

Phí tổn do tổn thất điện năng:

$$C_{\Delta A} = c_0 \cdot \Delta A$$

Hàm mục tiêu:

$$Z = (a_{vh} + a_{tc}) \cdot (a \cdot F + b) + c_0 \cdot 3 \cdot I_{max}^2 \cdot \left( \frac{\rho}{F} \right) \cdot \tau$$

trong đó  $\rho$  là điện trở suất

Tiết diện kinh tế  $F_{kt}$  ứng với  $Z_{min}$  có được bằng cách giải phương trình vi phân:

$$\frac{dZ}{dF} = (a_{vh} + a_{tc}) \cdot a - 3 \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \frac{\rho}{F^2} \cdot \tau = 0 \quad \text{và} \quad \frac{d^2Z}{dF^2} > 0 \quad (8.29)$$

Suy ra tiết diện kinh tế:

$$F_{kt} = I_{max} \cdot \sqrt{\frac{3\tau\rho c_0}{(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a}} \quad (8.30)$$

Mật độ dòng điện kinh tế:

$$j_{kt} = \frac{I_{max}}{F_{kt}} = \sqrt{\frac{(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a}{3\tau\rho c_0}} \quad (8.31)$$

Nhận xét:

Từ phương trình vi phân (8.29) có thể được biến đổi như sau:

$$(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a = 3 \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \frac{\rho}{F_{kt}^2} \cdot \tau \quad (8.32)$$

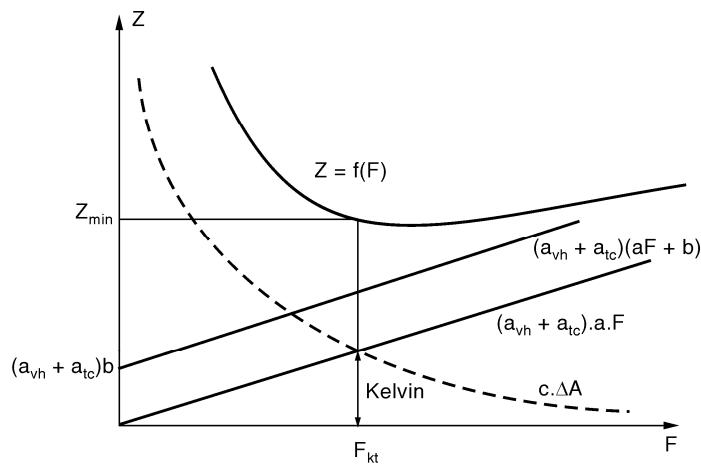
nhân hai vế của (8.32) cho  $F_{kt}$ :

$$(a_{vh} + a_{tc}) \cdot a \cdot F_{kt} = 3 \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \frac{\rho}{F_{kt}} \cdot \tau = c \cdot \Delta A \quad (8.33)$$

Tổng chi phí hàng năm  
cho phần dây dẫn gồm  
các phần chính như sau: = Phí tổn do tổn thất  
- Chi phí cố định hàng năm  
- Phí tổn vận hành

Luật Kelvin

Đồ thị hàm  $Z(F)$  sau đây minh họa cho luật Kelvin (H.8.4):



**Hình 8.4:** Minh họa luật Kelvin

**Ví dụ 8.3:** Tìm mật độ dòng điện kinh tế của đường dây trên không ba pha dùng dây đồng. Thời gian tổn thất công suất cực đại  $\tau = 3000$  giờ/năm. Chi phí dây dẫn là 4 \$/kg, điện trở suất  $\rho = 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  và tỷ trọng 8,9. Giá tiền điện  $c_0 = 0,05$  \$/kWh và suất tổng chi phí bằng 10% trên vốn đầu tư mua dây.

### Giải

Xét 1 km đường dây ( $= 10^5$  cm) và  $F$  tiết diện dây ( $\text{cm}^2$ ),  $I_{max}$  dòng điện cực đại trên đường dây.

$$\text{Thể tích dây: } V = 3.F.l = 3.F \cdot 10^5 \text{ cm}^3/\text{km}$$

$$\text{Khối lượng dây} = 3 \cdot 10^5 \cdot F \cdot \frac{8,9}{1000} = 2670 \cdot F \text{ kg/km}$$

$$\text{Chi phí mua dây} = 4 \cdot 2670 \cdot F = 10680 \cdot F \text{ $/km}$$

$$\text{Tổng chi phí cố định hàng năm} = \frac{10}{100} \cdot 10680 \cdot F = 1068 \cdot F \text{ $/km}$$

$$\text{Điện trở đường dây (một pha): } r = \frac{1,8 \cdot 10^5}{10^6 \cdot F} \Omega/\text{km}$$

Chi phí tổn thất điện năng hàng năm:

$$3 \cdot r \cdot c_0 \cdot I_{max}^2 \cdot \tau = 0,05 \cdot 3 \cdot \frac{1,8 \cdot 10^5}{10^6 \cdot F} \cdot I_{max}^2 \cdot 3000 \cdot 10^{-3} = 0,081 \cdot \frac{I_{max}^2}{F} \text{ $}$$

$$\text{Theo luật Kelvin: } 1068 \cdot F_{kt} = 0,081 \cdot \frac{I_{max}^2}{F_{kt}}$$

Mật độ dòng kinh tế:

$$j_{kt} = \frac{I_{max}}{F_{kt}} = \sqrt{\frac{1068}{0,081}} = 115 \text{ A/cm}^2 = 1,15 \text{ A/mm}^2$$

$$j_{kt} = 1,15 \text{ A/mm}^2$$

Nếu dùng dây nhôm hoặc dây nhôm lõi thép có điện trở suất  $\rho = 3,15 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ , tính toán tương tự ta được:  $j_{kt} = 0,87 \text{ A/mm}^2$ .

**Chọn dây theo mật độ dòng kinh tế:**

Nguyên tắc chọn dây cho mạng truyền tải là căn cứ vào mật độ dòng kinh tế  $j_{kt}$ . Tiết diện chọn được là sự dung hoà giữa hai mâu thuẫn, một bên là vốn đầu tư dây dẫn, một bên là tổn thất điện năng mà biểu diễn toán học là cực tiểu hàm mục tiêu Z.

Qua ví dụ trên hoàn toàn có thể xác định được mật độ dòng điện kinh tế, từ đó có được tiết diện kinh tế:

$$F_{kt} = I_{max} / j_{kt}$$

**Ví dụ 8.4:** Làm tiếp ví dụ 8.3 với  $I_{max} = 60 \text{ A}$ , chọn dây dẫn nhôm lõi thép với  $j_{kt} = 0,87 \text{ A/mm}^2$

**Giải**

$$F_{kt} = 60 / 0,87 = 68,96 \text{ mm}^2$$

Chọn dây AC-70 với dòng phát nóng cho phép là 275 A.

Tùy theo tình hình kinh tế của mỗi nước mà qui định mật độ dòng  $j_{kt}$  và dây dẫn được chọn phải thỏa mãn về điều kiện phát nóng (thường thì điều kiện này được thỏa mãn).

Để tham khảo, sau đây giới thiệu bảng qui định  $j_{kt}$  ( $\text{A/mm}^2$ ) của Nga.

Tên dây dẫn	Thời gian sử dụng công suất cực đại,			
	$T_{max}$ (giờ/năm)	$1000 - 3000$	$3000 - 5000$	$> 5000$
Dây đồng trần	2,5	2,1	1,8	
Nhôm và nhôm lõi thép	1,3	1,1	1,0	
Cáp bọc giấy và dây dẫn bọc cao su lõi:				
- Đồng	3,0	2,5	2,0	
- Nhôm	1,6	1,4	1,2	

## 8.7 LỰA CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI TRÊN KHÔNG THEO PHẠM VI KINH TẾ

- Mật độ dòng kinh tế được xác định với giả thiết vốn đầu tư đường dây và chiều dài có quan hệ tuyến tính. Quan hệ này không đúng khi xây dựng hàng loạt các đường dây trên không với các cột được tiêu chuẩn hóa, mỗi loại cột tiêu chuẩn có thể dùng cho một số cỡ dây.

- Trong thực tế, tiết diện dây tiêu chuẩn có tính rời rạc chứ không thay đổi liên tục khi tính tiết diện kinh tế.

- Dòng điện  $I_{max}$  trong biểu thức chi phí tính toán (hàm mục tiêu Z) là không đổi. Thực tế dòng điện lớn nhất này cũng khác nhau đối với những đường dây khác nhau và được coi là một đại lượng biến đổi.

- Như vậy tiết diện kinh tế được xác định không những theo điều kiện  $\partial Z / \partial F = 0$  mà còn - theo điều kiện  $\partial Z / \partial I_{max} = 0$ .

- Phương pháp lựa chọn tiết diện dây dẫn khắc phục được các khiếm khuyết trên gọi là phương pháp chọn tiết diện dây theo phạm vi kinh tế hay còn được gọi là theo khoảng chia kinh tế.

Phương pháp chọn dây theo phạm vi kinh tế được tiến hành như sau:

- Đối với từng tiết diện tiêu chuẩn của đường dây trên không xây dựng quan hệ giữa hàm chi phí tính toán Z và dòng điện cực đại:

$$Z = (a_{vh} + a_{tc}) M + 3I_{max}^2 \cdot r_0 \cdot \tau \cdot c_0$$

trong đó M là vốn đầu tư 1 km đường dây với cột tiêu chuẩn và tiết diện tiêu chuẩn, M không đổi ứng với mỗi cõi dây tiêu chuẩn đang khảo sát. Đồ thị hàm Z là một parabol. Thay đổi tiết diện tiêu chuẩn ứng với các tiết diện  $F_3 > F_2 > F_1$  và vẽ nên một họ các đường cong như trong H.8.5.

- Giao điểm 1 của đường cong  $F_1$  với đường cong  $F_2$  xác định dòng điện cực đại  $I_{max1}$ . Theo đó nếu dòng điện trên đường dây nhỏ hơn  $I_{max1}$  thì chọn dây có tiết diện  $F_1$  có chi phí tính toán bé hơn.

- Giá trị dòng điện  $I_{max}$  trong khoảng I gọi là phạm vi kinh tế của tiết diện  $F_1$ .

- Lý luận tương tự giá trị dòng điện  $I_{max}$  trong khoảng II gọi là phạm vi kinh tế của tiết diện  $F_2$  ... Nếu  $I_{max} < I_{max1}$  chọn tiết diện  $F_1$ , nếu  $I_{max1} < I_{max} < I_{max2}$  chọn tiết diện  $F_2$ , ...

- Khi sử dụng phạm vi kinh tế của dòng điện, dòng điện tính toán  $I_u$  trên đường dây được xác định theo biểu thức sau:

$$I_u = I_{max} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T$$

trong đó:  $\alpha_i$  là hệ số xét đến sự biến đổi phụ tải trong năm. Đối với đường dây 110 – 220 kV  $\alpha_i$  có thể lấy bằng 1,05.

$\alpha_T$ : hệ số xét đến thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{max}$  và hệ số đồng thời cực đại của hệ thống.

- Để xác định phạm vi kinh tế cần xác định giá trị dòng giới hạn  $I_{gh(i+1,i)}$  ứng với giao điểm của các đường cong ứng với các tiết diện tiêu chuẩn  $F_{i+1}$  và  $F_i$  bằng cách cho hàm chi phí Z ứng với  $F_{i+1}$  bằng với hàm chi phí Z ứng với  $F_i$ :

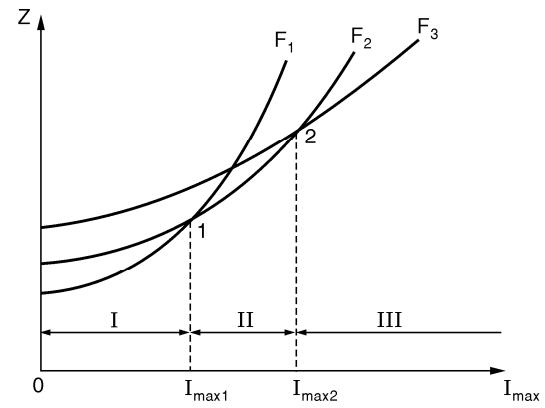
$$(a_{vh} + a_{tc}) M_i + 3I_{gh(i+1,i)}^2 \cdot r_{0,i} \cdot \tau \cdot c_0 = (a_{vh} + a_{tc}) M_{i+1} + 3I_{gh(i+1,i)}^2 \cdot r_{0,i+1} \cdot \tau \cdot c_0 \quad (8.34)$$

Giải phương trình trên ta được:

$$I_{gh(i+1,i)} = \sqrt{\frac{(a_{vh} + a_{tc})(M_{i+1} - M_i)}{3\tau c_0(r_{0,i} - r_{0,i+1})}} \quad (8.35)$$

trong đó:  $M_{i+1}$ ,  $M_i$  là giá tiền môt km chiều dài đường dây có tiết diện tiêu chuẩn lần lượt bằng  $F_{i+1}$  và  $F_i$ .

$r_{0,i+1}$ ,  $r_{0,i}$  là điện trở môt km chiều dài đường dây có tiết diện lần lượt bằng  $F_{i+1}$  và  $F_i$



Hình 8.5.  $Z = f(I_{max})$  theo các tiết diện tiêu chuẩn và cột tiêu chuẩn

( $\Omega/\text{km}$ ).

- Tiết diện dây chọn theo phạm vi kinh tế của dòng điện cực đại phải thỏa mãn tiết diện tối thiểu thỏa mãn điều kiện về vầng quang điện, đồng thời phải kiểm tra điều kiện phát nóng khi sự cố đứt một lô của đường dây lô kép hay đứt một đường dây trên mạch vòng kín tạo ra phân bố dòng nặng nề nhất sau sự cố.

**Ví dụ 8.5:** Cho mạng điện 110 kV, nguồn A, chiều dài đường dây và công suất phụ tải cho trong H.8.6.

Công suất phụ tải:  $P_2 = 36 \text{ MW}$ ,  $P_3 = 39 \text{ MW}$ ,  $P_4 = 22 \text{ MW}$ ,  $P_5 = 17 \text{ MW}$ ,  $P_6 = 41 \text{ MW}$ . Thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{\max} = 6200$  giờ, hệ số công suất của tất cả các phụ tải  $\cos\phi = 0,8$ . Đường dây dùng dây nhôm lõi thép, trụ bê tông cốt thép. Lựa chọn tiết diện dây dẫn theo phạm vi kinh tế của dòng điện.

**Giải**

Công suất trên các đoạn đường dây:

$$P_{23} = P_3 = 39 \text{ MW}$$

$$P_{A2} = P_2 + P_3 = 36 + 39 = 75 \text{ MW}$$

$$P_{56} = P_6 = 41 \text{ MW}$$

$$P_{45} = P_5 + P_6 = 17 + 41 = 58 \text{ MW}$$

$$P_{A4} = P_4 + P_5 + P_6 = 22 + 17 + 41 = 80 \text{ MW}$$

Tất cả đường dây là đường dây kép, dòng điện trên một lô đơn của đường dây:

$$I_{\max,23} = \frac{39 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 127,9 \text{ A}$$

$$I_{\max,A2} = \frac{75 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 246 \text{ A}$$

$$I_{\max,56} = \frac{41 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 134,5 \text{ A}$$

$$I_{\max,45} = \frac{58 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 190,3 \text{ A}$$

$$I_{\max,A4} = \frac{80 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 262,4 \text{ A}$$

Dòng điện tính toán của mỗi đoạn đường dây được xác định theo công thức:

$$I_{tt} = I_{\max} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T$$

trong đó chọn  $\alpha_i = 1,05$  và  $\alpha_T = 0,8$ .

$$I_{tt,23} = 127,9 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 107,4 \text{ A}$$

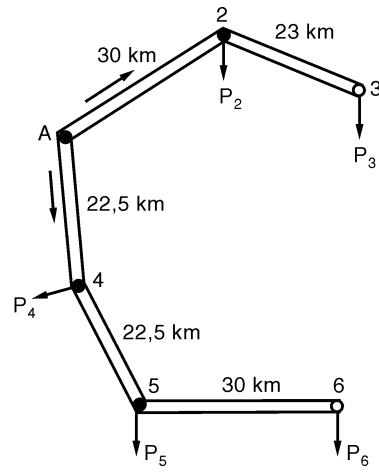
$$I_{tt,A2} = 246 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 206,6 \text{ A}$$

$$I_{tt,56} = 134,5 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 113 \text{ A}$$

$$I_{tt,45} = 190,3 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 159,9 \text{ A}$$

$$I_{tt,A4} = 262,4 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 220,4 \text{ A}$$

Tính phạm vi kinh tế ứng với bốn tiết diện tiêu chuẩn của cấp điện áp 110 kV là  $F_1 = 95 \text{ mm}^2$ ,  $F_2 = 120 \text{ mm}^2$ ,  $F_3 = 150 \text{ mm}^2$ ,  $F_4 = 185 \text{ mm}^2$ , đường dây dùng trụ bê tông ly tâm cốt thép hai mạch treo cả hai mạch với các số liệu sau:



Hình 8.6: Sơ đồ mạng điện ví dụ

Cô dây	AC-95	AC-120	AC-150	AC-185
Giá tiền $10^3$ \$ /km	27,6	28,8	30	31,6
Điện trở $\Omega/km$	0,32	0,25	0,20	0,17

Chọn các hệ số  $a_{tc} = 0,125$  (với  $T_{tc} = 8$  năm),  $a_{vh} = 0,105$  (trong đó khấu hao tài sản cố định là 8% và chi phí vận hành bảo quản mạng điện 2,5% trên vốn đầu tư). Giá điện bình quân là 0,05 \$/kWh. Với  $T_{max} = 6200$  giờ,  $\cos\phi = 0,8$ , thời gian tổn thất công suất lớn nhất  $\tau = 5000$  giờ.

Tìm các dòng điện giới hạn  $I_{gh(95,120)}$ ,  $I_{gh(120,150)}$  và  $I_{gh(150,185)}$ . Áp dụng công thức tính dòng giới hạn có được:

$$I_{gh(95,120)} = \sqrt{\frac{(0,105 + 0,125)(28,8 - 27,6) \cdot 10^3}{3,5000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot (0,32 - 0,25)}} = 72,5 \text{ A}$$

$$I_{gh(120,150)} = \sqrt{\frac{(0,105 + 0,125)(30 - 28,8) \cdot 10^3}{3,5000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot (0,25 - 0,20)}} = 85,8 \text{ A}$$

$$I_{gh(150,185)} = \sqrt{\frac{(0,105 + 0,125)(31,6 - 30) \cdot 10^3}{3,5000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot (0,20 - 0,17)}} = 127,9 \text{ A}$$

Căn cứ vào các dòng điện giới hạn chọn tiết diện cho các đoạn như sau:

Đoạn	$I_{lt}$ (A)	Cô dây	Dòng cho phép (A)
A-2	206,6	AC-185	515
2-3	107,4	AC-150	445
A-4	220,4	AC-185	515
4-5	159,9	AC-185	515
5-6	113	AC-150	445

Tất cả các tiết diện được chọn đều lớn hơn tiết diện tối thiểu ở cấp điện áp 110 kV là cô dây AC-70 và đều thỏa mãn điều kiện phát nóng khi đứt một lô của đường dây lô kép.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 8

**8.1.** Xác định tiết diện kinh tế của đường dây ba pha cung cấp cho phụ tải 10 kV theo đồ thị phụ tải:

- i) 1000 kW,  $\cos\phi = 0,8$  trong 10 giờ
- ii) 500 kW,  $\cos\phi = 0,9$  trong 8 giờ
- iii) 100 kW,  $\cos\phi = 1$  trong 6 giờ.

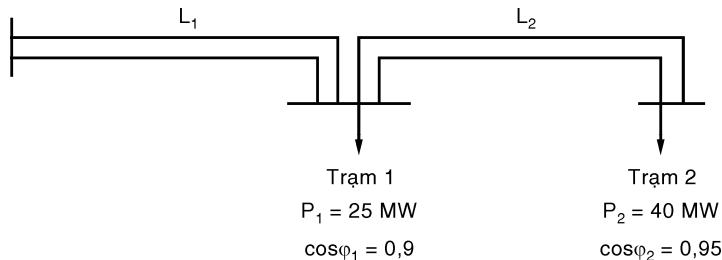
Tiền đầu tư cho mỗi km chiều dài đường dây là  $(7,7F + 930)$  \$/km với F là tiết diện,  $\text{mm}^2$ . Lãi suất và khấu hao hàng năm bằng 10% tiền đầu tư. Chi phí do tổn thất điện năng: 0,05 \$/kWh. Điện trở suất của dây dẫn  $1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

$$DS: 278 \text{ mm}^2$$

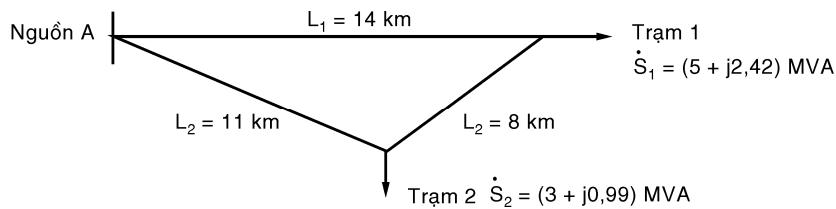
**8.2.** Tiền đầu tư cho một km đường dây ba pha trên không có tiết diện  $F \text{ cm}^2$  là  $(1980F + 1200)$  \$/km. Hệ số phụ tải  $k_{pt} = 0,4$ , hệ số tổn thất  $k_{tl} = (0,25 \cdot k_{pt} + 0,75 \cdot k_{pt}^2)$ . Lãi suất và khấu hao hàng năm bằng 10% tiền đầu tư, chi phí do tổn thất điện năng 0,1 \$/kWh. Tìm mật độ dòng kinh tế. Cho biết dùng dây đồng có điện trở suất  $1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

$$DS: 0,44 \text{ A/mm}^2$$

- 8.3.** Tìm tiết diện dây nhôm lõi thép cho mạng điện 110 kV có sơ đồ trong Hình BT8.3. Thời gian sử dụng công suất cực đại  $T_{max}$  của trạm 1 là 4500 giờ/năm và của trạm 2 là 5500 giờ/năm.

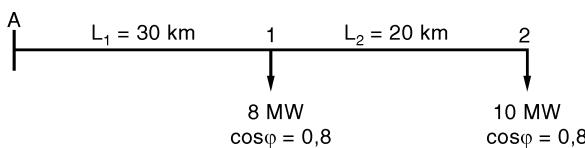


- 8.4.** Hình BT8.4 trình bày một mạng điện 35 kV với công suất phụ tải và chiều dài đường dây. Chọn tiết diện dây nhôm lõi thép theo mật độ dòng kinh tế, cho  $T_{max} = 4500$  giờ/năm đối với trạm 1 và 2500 giờ/năm đối với trạm 2.



- 8.5.** Chọn tiết diện dây theo phạm vi kinh tế của mạng điện 110 kV cho trong Hình BT8.5. Toàn đường dây dùng dây nhôm lõi thép, cột bê tông ly tâm. Cho các hệ số  $a_{tc} = 0,125$ ,  $a_{vh} = 0,1$ ,  $\alpha_i = 1,05$ ,  $\alpha_T = 0,8$ . Thời gian tổn thất công suất lớn nhất  $\tau = 5000$  giờ/năm. Giá tiền một kWh điện năng tổn thất 0,05 \$/kWh. Số liệu về tiền đầu tư 1 km đường dây và điện trở dây dẫn cho trong bảng:

Dây	Tiền đầu tư $10^3 \$/km$	$r_0 (\Omega/km)$
AC-95	16	0,33
AC-120	16,7	0,27
AC-150	17,6	0,21
AC-185	18,5	0,17
AC-240	19,8	0,132



## Chương 9

# GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

### 9.1 MỞ ĐẦU

Năng lượng là nguồn chủ yếu của sự phát triển kinh tế và xã hội trong đó điện năng chiếm một vai trò quan trọng. Tầm cỡ và cấu trúc của hệ thống điện thay đổi nhiều từ nước này sang nước khác.

Trong quá trình cung cấp điện năng đến nơi tiêu thụ, hệ thống điện phải gánh chịu tổn thất trong các cấp sản xuất, truyền tải và phân phối điện năng. Tổn thất trong khâu sản xuất thay đổi trong khoảng 1 đến 6% của tổng sản lượng điện năng tùy theo loại nhà máy (thủy điện hay nhiệt điện). Các khảo sát gần đây cho thấy, tổn thất trong truyền tải và phân phối khoảng 10% trên tổng sản lượng điện năng sản xuất ra mặc dù mức tổn thất tối ưu kinh tế có thể đạt dưới 5%. Tổn thất lớn trong truyền tải và phân phối là bài toán quan trọng mà các công ty điện lực ở hầu hết các nước đang phát triển phải đối đầu. Các thống kê gần đây cho biết khoảng 48% trong 25 nước đang phát triển đạt được mức tổn thất trên dưới 15% của sản lượng điện năng. Tổn thất được chia làm tổn thất kỹ thuật và tổn thất phi kỹ thuật. Hình 9.1 trình bày tổn thất trong các phần của hệ thống điện.

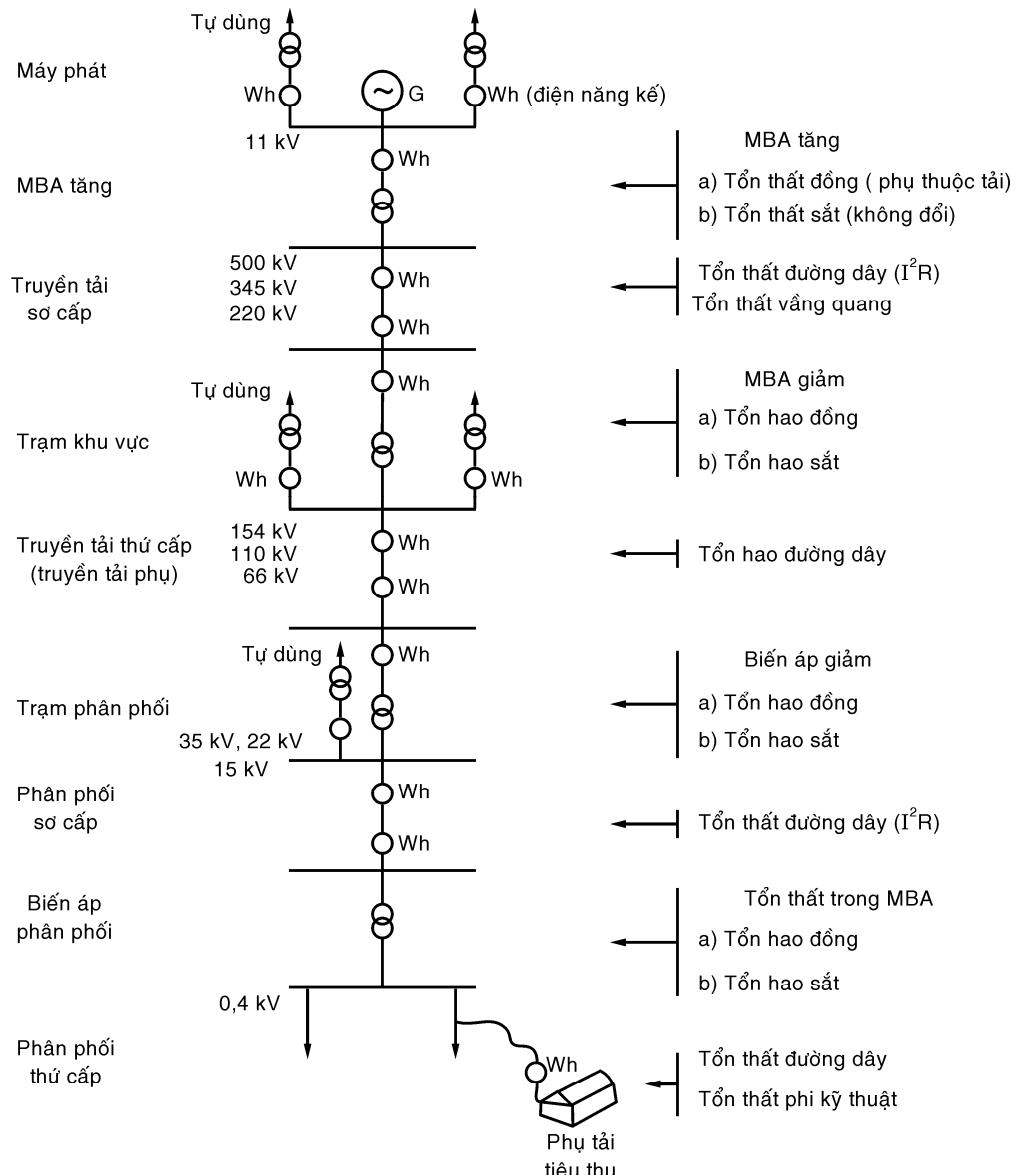
#### Các tổn thất kỹ thuật bao gồm:

- (a) Tổn thất trên đường dây do điện trở của dây dẫn;
- (b) Tổn thất trong máy biến áp và máy điều chỉnh;
  - (i) Tổn thất có tải (trong đồng);
  - (ii) Tổn thất không tải (trong sắt).
- (c) Tổn thất vầng quang trên đường dây cao áp và siêu cao áp;
- (d) Tổn thất điện môi trong đường dây cáp ngầm hay tụ điện tĩnh;
- (e) Tổn hao trong điện năng kế;
- (f) Tổn hao do hệ số công suất thấp;
- (g) Các tổn thất kỹ thuật khác.

#### Các tổn thất phi kỹ thuật bao gồm:

- (a) Trộm điện ở khách hàng có đặt điện năng kế;
  - (i) Câu trước điện kế;
  - (ii) Làm điện kế chạy chậm;
  - (iii) Không thực hiện đúng hợp đồng.
- (b) Ăn cắp điện: khách hàng không có điện kế, câu điện bất hợp pháp;
- (c) Điện kế hoạt động sai;

(d) Sự làm việc không đúng của nhân viên điện lực trong việc ghi chỉ số công tơ và thu tiền điện.



**Hình 9.1:** Tốn thất điện năng trong hệ thống

## 9.2 TỐN THẤT HỆ THỐNG TIÊU BIỂU

Khoảng 9÷10% của điện năng sản xuất ra trong nhiều hệ thống điện bị mất mát. Vì điều này phải được thực hiện đối với các công trình để cung cấp bù vào tổn thất này, các công trình này cần được xem xét kỹ lưỡng trong thiết kế.

Sự hiểu biết về tổn thất là cơ bản và không được bỏ qua trong việc so sánh các phương án và phải được nghiên cứu đầy đủ về mỗi trường hợp cụ thể.

### *Tổn thất kỹ thuật của một hệ thống tiêu biểu*

<i>Nguồn tổn thất</i>	<i>Phần trăm</i>
Máy biến áp tăng ở nhà máy	0,375
Đường dây truyền tải sơ cấp	0,750
Trạm sơ cấp	0,375
Đường dây truyền tải thứ cấp	1,700
Trạm thứ cấp	0,375
Đường dây phân phối sơ cấp	3,000
Trạm phân phối sơ cấp	0,375
Đường dây phân phối thứ cấp	4,000
Đường rẽ đến khách hàng	0,375
Thiết bị đo đếm	<u>1,500</u>
	Tổng: 12,622%

### **9.3 NGUYÊN TẮC PHÂN TÍCH TỔN THẤT**

Tổn thất thường được đánh giá theo thành phần điện năng và thành phần công suất của chúng được xem như một phụ tải yêu cầu. Một trong những khảo sát quan trọng trong việc qui hoạch và thiết kế một hệ thống điện đang phát triển là phí tổn do tổn thất trong công suất, điện năng và công suất phản kháng. Nói chung, tổn thất có thể được giảm thiểu bằng sự đầu tư nhiều hơn trong đường dây và thiết bị. Điều cần thiết là phải xác định liệu xem việc giảm chi phí về tổn thất có xứng đáng với việc tăng trong đầu tư hay không.

Phí tổn do tổn thất công suất được kể đến nếu như tổn thất làm tăng phụ tải đỉnh ở một hay nhiều thành phần của hệ thống. Phụ tải đỉnh tăng dẫn đến việc tăng khả năng mang tải của mỗi phần tử trong hệ thống sản xuất và truyền dẫn công suất đến điểm mà tổn thất xảy ra.

Phí tổn do tổn thất công suất là tác dụng của tổn thất được đánh giá trong phí tổn về khả năng tải của hệ thống trong tương lai.

Khả năng tải được yêu cầu để cung cấp cho tổn thất phải được kể vào khả năng dự trữ như đã được dành ưu tiên cho phụ tải đỉnh. Bất kỳ sự đầu tư nào về khả năng tải phụ thêm trong tương lai phải bao gồm phí tổn đầu tư về nguyên vật liệu và chi phí về bảo quản. Chi phí hàng năm về tổn thất công suất bao gồm chi phí cố định trên vốn đầu tư được yêu cầu để cung cấp cho tổn thất cộng với chi phí vận hành và bảo quản. Chi phí vận hành và bảo quản tỷ lệ với khả năng tải.

Phí tổn do thành phần điện năng tổn thất phải được kể đến vì tổn thất làm tăng chi phí sản xuất điện năng được bán hay điện năng được mua. Tổng quát, chi phí do tổn thất điện năng bằng tích số của điện năng tổn thất trong thiết bị với giá một đơn vị điện năng tại nguồn.

Phí tổn về tổn thất công suất phản kháng cũng phải được xét đến nếu chúng có tác dụng đáng kể. Tổn thất phản kháng được tính toán đối với phụ tải yêu cầu cực đại của phần hệ thống đang xét. Chi phí tổn thất phản kháng là chi phí hàng năm của thiết bị bù công suất phản kháng được thiết đặt trên phần của hệ thống nhằm tạo ra được phí tổn ít nhất đối với việc cung cấp phản kháng.

Hệ số tổn thất là tỷ số giữa tổn thất công suất trung bình với tổn thất công suất lúc phụ tải đỉnh.

$$K_{tt} = F_{LS} = \frac{\Delta P_{tb}}{\Delta P_{max}}$$

Với một phụ tải đã cho, hệ số tổn thất là một giá trị ở khoảng giữa của hệ số phụ tải và bình phương của hệ số phụ tải:

$$(K_{pt})^2 \leq K_{tt} \leq K_{pt}$$

Phương trình thường được dùng để xác định  $K_{tt}$  của hệ thống có dạng:

$$K_{tt} = a \times K_{pt} + (1 - a) K_{pt}^2$$

Trong phần lớn các tổn thất, việc dùng hệ số tổn thất thường là đủ. Đôi khi việc dùng số giờ tương đương của tổn thất cũng có thể xác định được tổn thất điện năng. Số giờ tương đương  $\tau$  của tổn thất trong một thời kỳ bằng tổn thất điện năng trong thời kỳ đó chia cho tổn thất công suất lúc phụ tải cực đại. Số giờ tương đương  $\tau$  bằng số giờ tổng của giai đoạn khảo sát nhân với hệ số tổn thất. Từ đó suy ra biểu thức tổn thất tính điện năng:

$$\Delta A = \Delta P_{tb} T = (K_{tt} \Delta P_{max}) T = (K_{tt} T) \Delta P_{max} = \tau \Delta P_{max}$$

trong đó  $T$ : tổng số giờ của giai đoạn khảo sát, ví dụ 8760 giờ/năm.

$\tau$ : số giờ tương đương (còn gọi là thời gian tổn thất công suất cực đại),  $\tau = K_{tt} T$ .

#### 9.4 SỰ PHÂN TÁN, CÔNG SUẤT DỰ TRỮ VÀ TỔN THẤT TRÊN TỔN THẤT

Do sự phân tán, tổn thất công suất cực đại của các thành phần của hệ thống có thể không trùng với phụ tải đỉnh của toàn hệ thống. Vì công suất yêu cầu được căn cứ từ tổn thất đỉnh xảy ra đồng thời với phụ tải đỉnh của phần hệ thống đó, do đó cần đưa ra một hệ số dự phần vào đỉnh của toàn hệ thống. Tổn thất không đổi, như tổn thất trong sắt của máy biến áp, được coi như trùng với phụ tải đỉnh của tất cả các phần của hệ thống. Đối với tổn thất trong điện trở, như tổn thất trong đồng của máy biến áp thì hệ số dự phần đỉnh của tổn thất bằng bình phương của hệ số dự phần đỉnh của phụ tải được cung cấp qua máy biến áp.

Việc tính toán có thể đưa vào hệ số đồng thời khi không biết hệ số dự phần đỉnh hoặc là khi các đỉnh không ổn định trong một thời gian dài. Hệ số đồng thời có thể được ước lượng từ tỷ số của các hệ số phụ tải của các phần tử của hệ thống đang xét với hệ số phụ tải của toàn hệ thống.

Lấy ví dụ, hệ số phụ tải của một tải tiêu thụ là 15% và hệ số phụ tải hệ thống là 50%. Hệ số đồng thời của phụ tải đó cho bởi:  $15/50 = 0,30$

Bình phương của hệ số đồng thời gần bằng với hệ số dự phần đỉnh của tổn thất:  $(0,3)^2 = 0,09$

Đối với phần tử của hệ thống, tổn thất công suất được tính toán đối với phụ tải cực đại của phần tử hệ thống đang xét. Việc tăng công suất tải trong bất cứ phần nào khác của hệ thống được yêu cầu để bù vào tổn thất này và lượng phụ tải tăng thêm do tổn thất được xem như một phần của phụ tải tổng trên phần tử của hệ thống vào thời gian có phụ tải đỉnh.

Tổn thất điện năng (kWh) được tính với hệ thống đang xét bằng cách nhân tổn thất công suất (kW) lúc phụ tải cực đại với hệ số tổn thất và tổng số giờ của khoảng thời gian tính tổn thất hoặc bằng tổn thất công suất (kW) lúc phụ tải cực đại nhân với số giờ tương đương  $\tau$ . Đối

với tổn thất không đổi và liên tục, như tổn thất trong sắt của máy biến áp thì kWh tổn thất điện năng bằng tổn thất kW không đổi nhân với tổng số giờ của giai đoạn.

Đầu tư cho tổn thất đỉnh sẽ được kể vào công suất dự trữ và tính bằng phần trăm của phụ tải đỉnh.

Tổn thất xảy ra trong một phần của hệ thống điện, gây ra các phụ tải phụ thêm trong các phần khác của hệ thống và ngược trở lại nguồn. Giá trị của các thành phần công suất và điện năng phải bao gồm cả tác dụng tích lũy của các số gia về tổn thất gọi là “tổn thất trên tổn thất” khi các thành phần này đi qua các phần của hệ thống điện.

Bảng sau đây cho một ví dụ điển hình về tổn thất và tổn thất trên tổn thất (theo phần trăm)

Phần của hệ thống	Tổn thất (%)	Tổn thất trên tổn thất (%)				
Truyền tải và trạm	2,25	2,25	-	-	-	-
Phân phối sơ cấp	2,00	4,25	2,0	-	-	-
Máy biến áp phân phối	0,50	4,75	2,5	0,5	-	-
Phân phối thứ cấp	3,0	7,75	5,5	3,5	3,0	
Đoạn cung cấp cho khách hàng và điện kế	1,0	8,75	6,5	4,5	4,0	
	<b>8,75</b>					

Bảng này được hiểu như sau: 1 kW tổn thất trong phân phối sơ cấp làm xuất hiện 1,0225 kW tổn thất trong phần truyền tải và 1 kW tổn thất trong phần phân phối thứ cấp làm xuất hiện 1,0475 kW tổn thất trong các phần phía trước. Càng nhiều tổn thất về phía khách hàng sẽ gây ra nhiều tổn thất trên tổn thất trong các phần của hệ thống ngược về phía nguồn.

## 9.5 TÍNH KINH TẾ CỦA VIỆC GIẢM TỔN THẤT, LỢI ÍCH CHO CÔNG TY

### 9.5.1 Tổn thất truyền tải và phân phối

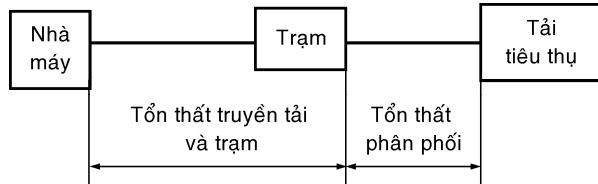
Trong quá trình phân phối điện năng từ nhà máy đến phụ tải, tổn thất là không tránh khỏi do các tính chất về điện và việc đo lường điện năng trong hệ thống điện. Tổn thất này bao gồm tổn thất truyền tải và phân phối (tổn thất T và D).

Định nghĩa suất tổn thất điện năng là phần trăm tổn thất điện năng và được định nghĩa như sau:

$$\Delta A\% = \frac{\Delta A \text{ tổn thất}}{A \text{ truyền tải}} 100\% = \frac{A \text{ truyền tải} - A \text{ bán được}}{A \text{ truyền tải}} 100\%$$

trong đó điện năng truyền tải A là điện năng còn lại sau khi trừ tổng điện năng phát với điện năng tự dùng ở các nhà máy.

Tổn thất T và D được chia ra làm tổn thất truyền tải và trạm từ đầu truyền tải đến đầu phân phối và tổn thất phân phối từ đầu phân phối đến đầu tiêu thụ (H.9.2):



Hình 9.2

### 9.5.2 Đánh giá đơn giản về công tác giảm tổn thất

Cần thiết phải liệt kê các tác dụng của các công tác giảm tổn thất điện năng để có thể

đánh giá các lợi ích kinh tế do giảm tổn thất mang lại.

Vì phụ tải có ảnh hưởng đến tổn thất không phải luôn cố định, tổn thất điện năng có thể giảm thông qua việc áp dụng hệ số phụ tải để giảm tổn thất điện năng vào lúc phụ tải đỉnh.

Có nhiều phương pháp để tính toán việc giảm tổn thất điện năng nhưng có lẽ phương pháp hợp lý nhất là đánh giá chi phí nhiên liệu trong việc cung cấp điện. Ví dụ lượng điện năng bán được là 56310 triệu kWh, điện năng tổn thất là 3509 triệu kWh, phần trăm tổn thất điện năng  $\Delta A\% = \frac{3509}{56310+3509}100\% = 5,87\%$  trước khi có biện pháp giảm tổn thất. Nếu thực hiện giảm tổn thất 0,01% trên tổn thất điện năng, nghĩa là  $\Delta A\% = 5,77\%$  tương ứng với tổn thất điện năng  $= \frac{56310}{1-0,0577} - 56310 = 3448$  triệu kWh, tiết kiệm được  $3509 - 3488 = 61$  triệu kWh.

Qui đổi lượng điện năng tổn thất về đầu phát (đầu sản xuất) với giả thiết tổn thất 5,87% ở cấp truyền tải và phân phối và 5,64% tự dùng của nhà máy. Có được kết quả sau:

$$61 \text{ triệu kWh} \times \frac{1}{1-0,0587} \times \frac{1}{1-0,0564} = 69 \text{ triệu kWh}$$

Giảm tổn thất 0,1% có nghĩa là giảm điện năng sản xuất 69 triệu kWh và từ đó giảm chi phí nhiên liệu sản xuất.

## 9.6 CÁC BIỆN PHÁP GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG

Công tác chống tổn thất được tiến hành thông qua việc phân tích tổn thất trong hệ thống, thiết lập các biện pháp phòng chống tổn thất và đánh giá tác dụng của các biện pháp này. Công ty điện lực tổ chức giám sát về mặt kỹ thuật và hành chính.

Các nhiệm vụ chủ yếu bao gồm:

- a) Phân tích và đánh giá tổn thất;
- b) Kiểm soát các tổn thất trong hệ thống;
- c) Chống ăn cắp điện.

Tác dụng của việc chống tổn thất thông qua các hoạt động nói trên được tóm lược như sau.

### 9.6.1 Chống tổn thất thông qua cải tạo lưới điện

#### a) Phát triển trực hệ thống truyền tải

Xây dựng các đường dây truyền tải chính xuyên qua các vùng trong nước có cấp điện áp 110 kV, 154 kV, 220 kV, 345 kV, 500 kV.

#### b) Xây dựng các nhà máy và các trạm ở các trung tâm phụ tải

Phần lớn điện năng được cung cấp từ các nhà máy ở xa trung tâm phụ tải. Xây dựng các nhà máy nhiệt điện lớn gần trung tâm phụ tải cải thiện sự mất cân đối trong việc điều độ hệ thống. Điều này làm giảm được sự phân chia công suất trên đường dây dài, góp phần giảm tổn thất truyền tải và phân phối.

#### c) Đơn giản hóa các cấp điện áp

Chẳng hạn ở miền Nam cấp điện áp 66 kV dần dần được thay bằng cấp 110 kV và chỉ còn cấp điện áp 110 kV, 220 kV trên lưới truyền tải cũng nhằm mục đích giảm tổn thất.

#### d) Thay các đường dây phân phối trung áp và hạ áp và biến đổi hệ thống phân phối một pha thành ba pha

Các đường dây cũ bị quá tải do phụ tải phát triển được thay bằng dây dẫn có đường kính lớn hơn hoặc là cải thiện các đường dây ba pha 220 V thành điện áp 380 V.

Các đường dây một pha trên mạng nông thôn do khoảng cách dài nên gây sụt áp và tổn thất điện năng được chuyển đổi thành đường dây ba pha.

#### e) *Dặt tụ bù để nâng cao cos φ đường dây*

Hệ số công suất thấp gây ra bởi các phụ tải động cơ cảm ứng, cùng với tính cảm của đường dây. Điều này gây ra sụt áp lớn và tổn thất điện năng nhiều hơn trên đường dây. Tụ điện bù ngang trên đường dây được dùng ở những nơi cần điều chỉnh  $\cos\phi$  cao hơn trên cơ sở của việc đo hệ số công suất trên đường dây phân phối. Các nơi tiêu thụ có động cơ bắt buộc phải đặt tụ điện lực,  $\cos\phi$  ở cuối đường dây được yêu cầu từ 0,85 đến 0,95, các phụ tải có  $\cos\phi$  thấp bị phạt với giá tiền điện cao hơn. Gần đây, các đồ điện gia dụng có hệ số công suất thấp, chẳng hạn như đèn huỳnh quang cũng đặt tụ điện bù  $\cos\phi$  ngay từ nơi sản xuất. Tuy vậy, vấn đề đặt ra cho máy phát điện có  $\cos\phi$  dung ( $\cos\phi$  sớm) vào những lúc phụ tải cực tiểu, kết hợp với dòng điện dung trên đường dây truyền tải cao áp và siêu cao áp có thể dẫn đến tự kích máy phát - một vấn đề cần được nghiên cứu.

#### f) *Giảm tổn thất trong các máy biến áp phân phối*

Tổn thất sắt của các máy biến áp phân phối chiếm một phần lớn của tổng tổn thất. Việc dùng các máy biến áp có tổn thất sắt thấp (lõi sắt cuốn) thay cho các máy biến áp cũ cũng làm giảm tổn thất đáng kể.

### 9.6.2 Chống tổn thất thông qua cải thiện điều kiện về vận hành

#### a) *Giảm tổn thất thông qua điều độ kinh tế trong hệ thống*

Với khả năng dự trữ sẵn có của các nhà máy điện để đảm bảo chất lượng điện năng về điện áp và tần số, việc điều độ hệ thống được thực hiện bởi điều độ trung tâm và điều độ địa phương.

Tác dụng của vận hành kinh tế trong hệ thống điện đã giảm được tổn thất điện năng (một trong những ràng buộc về vận hành) qua việc duy trì điện áp ổn định trong hệ thống, điều khiển máy phát nhằm cân bằng công suất trong hệ thống, cực tiểu công suất phản kháng phát ra ở nhà máy...

#### b) *Cung cấp trực tiếp bằng điện áp cao đến các phụ tải*

Các phụ tải công suất lớn có số lượng càng ngày càng tăng kết quả của nền kinh tế phát triển nhanh được khuyến khích nhận điện trực tiếp từ điện áp cao qua trạm biến áp phân phối đặt ngay tại nơi tiêu thụ. Điều này làm giảm tổn thất và tránh tổn thất điện năng do cung cấp qua nhiều cấp điện áp, chẳng hạn phát triển các cấp điện áp 110 kV, 35 kV,... để dễ dàng nối đến các phụ tải lớn bằng các cấp điện áp này thay vì cung cấp từ các cấp điện áp 6, 10, 15, 22 kV.

#### c) *Giảm tổn thất thông qua cải thiện hệ số phụ tải*

Hệ số phụ tải còn được gọi là hệ số điện kín phụ tải. Khi hệ số phụ tải của hệ thống thấp, khả năng phát để cung cấp cho phụ tải cực đại càng lớn. Điều này có nghĩa là phải đầu tư nhiều hơn cho nguồn và lối và tổn thất công suất tỷ lệ với bình phương của cường độ dòng điện cũng từ đó mà tăng lên.

Hệ số phụ tải có thể được cải thiện nâng lên nếu làm cho đồ thị phụ tải được bằng phẳng

hơn bằng cách hạn chế sử dụng điện vào những giờ cao điểm và chuyển sang sử dụng vào những giờ thấp điểm, thay đổi qui trình sản xuất của các phụ tải công nghiệp để có đồ thị phụ tải hợp lý. Điều này không phải dễ dàng làm được theo ý muốn của công ty điện lực, chỉ có cách là điều chỉnh lại giá bán điện theo giờ nghĩa là bán giá cao vào lúc phụ tải đỉnh và giá thấp hơn vào lúc phụ tải cực tiểu để người tiêu thụ điện ý thức về một kế hoạch sử dụng điện cho chính họ.

**d) Giảm diện tích trung bình phân phối điện trên mỗi kWh điện năng do phụ tải yêu cầu tăng lên**

Trong một vùng cho trước, việc tăng công suất tiêu thụ cũng có nghĩa là giảm được khoảng cách tải điện truyền tải và diện tích vùng phân phối cho mỗi kWh điện năng cung cấp vì sẽ xây dựng thêm nhiều trạm biến áp trong vùng và do đó giảm được tổn thất điện năng. Tất nhiên điều này khó có thể đạt được bằng mọi cố gắng của công ty điện lực nhằm giảm tổn thất điện năng. Đây chỉ là một kiểu giảm tổn thất tự nhiên mà yếu tố chính của giảm tổn thất là khi yêu cầu sử dụng điện tăng lên nhanh chóng. Với cùng một lý do này mà các trạm biến áp phân phối đặt ở nơi thích hợp cũng có tác dụng giảm tổn thất tương tự.

### 9.6.3 Công tác giảm tổn thất đối với tổn thất phi kỹ thuật

Tổn thất phi kỹ thuật bao gồm ăn cắp điện, tổn thất do sự khác nhau về thời điểm đo lường, tổn thất do sai số trong việc tính toán tổn thất trong hệ thống phân phối.

**a) Chống ăn cắp điện**

Vấn đề này là rất quan trọng trong tổn thất phi kỹ thuật và cần có các biện pháp về mặt kỹ thuật và hành chính.

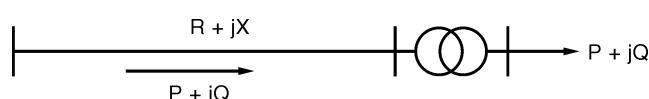
Có thể nâng chiều cao đoạn dây nối từ đường dây vào nhà, dùng xà dài hơn để tránh câu móc điện và dùng dây cáp bọc từ chõ nối đến điện năng kế để tránh móc điện trái phép phía trước công tơ, dùng loại công tơ chống quay ngược... Công tơ điện có thể lắp đặt bên ngoài thay vì bên trong nhà.

**b) Kiểm tra chặt chẽ điện năng kế**

Để quản lý bán buôn không bị sai sót, biện pháp tích cực được thực hiện trước hết là chỉnh định lại các điện năng kế chạy sai, thay thế ngay các công tơ hoạt động sai. Thứ hai là giám sát định kỳ các công tơ điện, kiểm tra các máy biến dòng đặt ở các phụ tải lớn, đặt đèn tín hiệu để báo đứt dây chì ở các máy biến điện áp đo lường, kiểm tra các đấu nối vào công tơ để tránh mắc sai đầu dây vào công tơ, kiểm tra điện năng kế không những tiến hành ở những nơi tiêu thụ mà còn ở trạm điện, nhà máy điện để tránh sai sót trong phân tích tổn thất.

## 9.7 NÂNG CAO cosφ ĐƯỜNG DÂY

Phụ tải của mạng điện phần lớn là các động cơ không đồng bộ có cosφ thấp. Với cùng một công suất tác dụng cung cấp cho phụ tải, khi hệ số công suất càng thấp thì công suất kháng tải trên đường dây càng lớn tạo ra tổn thất công suất tác dụng và phản kháng đáng kể. Ví dụ một mạng điện như trên H.9.3. với phụ tải  $P + jQ$ .

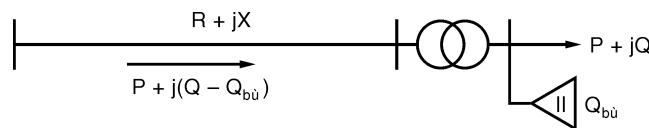


**Hình 9.3**

Tổn thất công suất tác dụng và phản kháng:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X \quad (9.1)$$

Bây giờ đặt tại phụ tải một tụ điện tinh hay máy bù đồng bộ để phát ra một lượng công suất phản kháng là  $Q_{bù}$  thì công suất kháng tải trên đường dây giảm xuống bằng  $Q - Q_{bù}$  theo H.9.4.

**Hình 9.4**

Tổn thất công suất tác dụng và phản kháng sau khi đặt tụ bù:

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{bù})^2}{U^2} R \quad \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{bù})^2}{U^2} X \quad (9.2)$$

Sau khi bù  $\cos\phi$  của đường dây được nâng cao còn  $\cos\phi$  của phụ tải vẫn như cũ không được nâng cao.

Tụ bù ngang trong hệ thống cung cấp điện có các nhiệm vụ chính như sau:

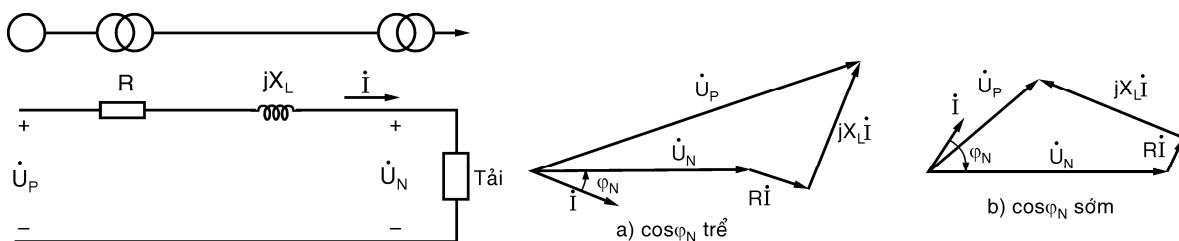
- Đảm bảo công suất kháng cung cấp cho vùng phụ tải từ nguồn phát điện được giữ trong giới hạn hợp lý;

- Tránh quá tải của đường dây hay máy biến áp giữa nguồn và nơi đặt tụ;
- Nâng cao hệ số công suất của phần mạng điện giữa nguồn và nơi đặt tụ;
- Giảm quá tải máy phát;
- Giảm tổn thất công suất tác dụng và tổn thất điện năng;
- Giảm tổn thất phản kháng;
- Giảm tổn thất điện áp.

Tụ điện không phải là thiết bị duy nhất bù công suất phản kháng và nâng cao hệ số công suất của hệ thống. Việc cải thiện này cũng có thể được thực hiện bằng máy bù đồng bộ hay máy bù tinh. Máy bù đồng bộ thường đặt ở đầu nhận của đường dây tải điện dài, có khả năng phát hay thu công suất kháng. Trong mạng phân phối dùng tụ bù là phổ biến do tổn thất trong tụ nhỏ (từ 2 đến 4 watt/kVAr tùy theo nhà chế tạo), lắp đặt đơn giản, ít bảo trì.

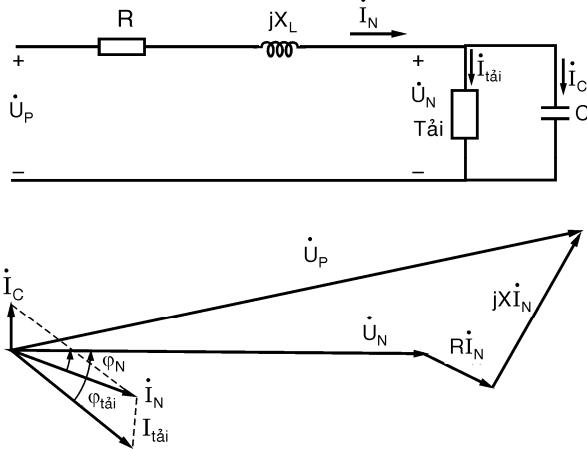
**Tác dụng nâng cao hệ số công suất**

Xét mạch điện phân phối hình tia đơn giản dưới đây (H.9.5):



**Hình 9.5:** Đường dây hình tia – Ảnh hưởng của hệ số công suất đến sụt áp đường dây

Bù ngang bằng cách mắc song song tụ điện ở đầu nhận nhằm nâng cao hệ số công suất của đầu nhận (cũng là nâng cao  $\cos\phi$  đường dây) như trình bày trong H.9.6:

**Hình 9.6:** Tác dụng nâng cao  $\cos\phi$  đường dây của tụ bù ngang

Giả thiết điện áp đầu nhận được giữ không đổi bằng cách thay đổi điện áp đầu phát. Điện áp pha đầu phát cho bởi phương trình:

$$U_P^2 = (U_N \cos \varphi_N + RI)^2 + (U_N \sin \varphi_N + X_L I)^2 \quad (9.3)$$

Tổn thất công suất tác dụng:

$$\Delta P = 3 \cdot RI^2 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \quad (9.4)$$

$$= \frac{P_N^2}{U_N^2 \cos^2 \varphi_N} \cdot R \cdot 10^{-3} \text{ kW} \quad (9.5)$$

trong đó:

$P_N$  (kW) là công suất tác dụng ở đầu nhận

$U_N$  (kV) là điện áp đầu nhận.

Từ đồ thị vectơ và các phương trình trên có các nhận xét sau:

### a) Sụt áp

- Ảnh hưởng của sụt áp do cảm kháng là đáng kể khi tỷ số  $X/R$  của đường dây lớn và hệ số công suất của phụ tải nhỏ. Ảnh hưởng này giảm khi hệ số công suất lớn.

- Nếu hệ số công suất trở nên sớm, trị số của điện áp đầu phát  $U_P$  sẽ giảm xuống và với góc hệ số công suất sớm lớn ( $\cos\phi$  sớm càng nhỏ) thì  $U_P$  sẽ nhỏ hơn điện áp đầu nhận  $U_N$ . Tuy nhiên, điện áp đầu nhận không được cao hơn đầu phát khoảng 5 – 6% và hệ số công suất đầu nhận không được để cho có quá nhiều tính dung.

### b) Tổn thất công suất

Tổn thất công suất trên đường dây giảm khi  $\cos\varphi_N$  tăng và cuối cùng giảm đến trị số:

$$\Delta P = \left| \frac{P_N^2}{U_R^2} \cdot R \cdot 10^{-3} \right| \text{ kW}$$

khi hệ số công suất  $\cos\varphi_N = 1$ , tổn thất công suất là ít nhất. Tác dụng của hệ số công suất sớm rõ ràng làm tăng tổn thất do  $\cos\varphi_R$  lại giảm thấp.

### c) Dòng điện đường dây

Dòng điện đường dây giảm do  $\cos\varphi_R$  tăng, dòng thấp nhất khi  $\cos\varphi_R$  bằng đơn vị.

Tóm tắt các lợi ích của bù ngang:

i) Giảm độ sụt áp và giảm sự thay đổi điện áp giữa tải cực tiểu và cực đại nếu dùng tụ điện tự động đóng theo tải (tụ ứng động). Mặt khác, đối với một độ sụt áp cho trước, khả năng tải của đường dây truyền tải / phân phối được tăng lên.

ii) Đối với một phụ tải kW cho trước, dòng điện và công suất kVA tỷ lệ nghịch với hệ số công suất. Do đó, việc nâng cao hệ số công suất dẫn đến sự giảm dòng điện và phụ tải kVA yêu cầu.

iii) Định mức của máy cắt và máy biến áp chọn trên cơ sở của phụ tải dòng điện hay kVA. Do đó khi hệ số công suất được cải thiện, quá tải các thiết bị điện được tránh khỏi hay một phụ tải kW lớn hơn được phép truyền qua các thiết bị.

Việc chọn định mức các thiết bị thường dựa trên các phỏng đoán phát triển của phụ tải trong tương lai và nếu nâng cao hệ số công suất được kể đến vào lúc chọn thiết bị thì thực tế chứng tỏ có thể chọn các định mức về dòng điện hay kVA thấp hơn.

iv) Giảm tổn thất công suất  $RI^2$ , dẫn đến tiết kiệm chi phí vận hành và giảm được yêu cầu kW ở nguồn phát.

v) Giảm tổn thất công suất phản kháng trên đường dây ( $XI^2$ ) và giảm yêu cầu kVAr ở nguồn phát.

Công suất tụ bù để nâng cao  $\cos\varphi$  của đường dây.

Giả thiết hệ số công suất của phụ tải là  $\cos\varphi_1$ , cần nâng cao hệ số công suất của đường dây cung cấp lên  $\cos\varphi_2$  (H.9.7).

Công suất tụ bù cho bởi:

$$Q_{bu} = Q_1 - Q_2 = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (9.6)$$

Vai trò và lợi ích của tụ bù ngang được xem xét chi tiết hơn trong khảo sát sau đây về áp dụng thực tế trong hệ thống điện.

#### Tụ bù ngang trong hệ thống truyền tải

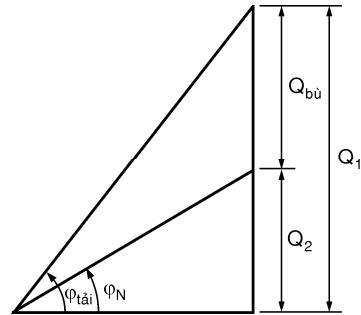
Theo quan điểm kinh tế thì có một giá trị tối ưu của công suất kháng được truyền tải từ nhà máy. Trong hệ thống điện liên kết, công suất kháng tối ưu thay đổi theo từng giờ. Khảo sát cung cấp công suất kháng có kể đến chi phí về phát và truyền tải công suất kháng và so sánh với chi phí cung cấp công suất kháng từ các nguồn trong vùng phụ tải (tức là bằng tụ điện hay máy bù)

*Lợi ích của việc chuyển công suất kháng phát từ nhà máy về vùng phụ tải.*

Các điểm sau đây cần xem xét khi một nhà máy hay hệ thống truyền tải mới được thiết kế.

Đối với một phụ tải kW cho trước, nếu công suất kháng kVAr của nguồn phát và của hệ thống truyền tải cho phụ tải giảm thì:

a) Tổn thất công suất tác dụng và điện năng sẽ giảm xuống và tổn thất phản kháng trong hệ thống truyền tải cũng giảm theo. Kết quả là qui hoạch được công suất tác dụng và phản



**Hình 9.7: Nâng cao hệ số công suất đường dây bằng tụ bù**

kháng của nguồn nhỏ hơn.

- b) Khả năng tải dòng điện của đường dây và máy biến áp sẽ nhỏ hơn.
- c) Khả năng kích từ và định mức công suất kháng của máy phát sẽ nhỏ hơn.

Một vấn đề quan trọng khác là việc điều khiển điện áp của vùng phụ tải. Điều này sẽ trở nên khó khăn hơn nếu một lượng công suất kháng kVAr đáng kể được tải từ nhà máy điện. Nếu thiết bị điều áp hay đầu phân áp của máy biến áp là cần thiết để đảm bảo sụt áp cho phép thì chi phí của các thiết bị này phải được xem trong bất kỳ khảo sát nào liên quan đến giảm công suất kháng truyền tải bằng bù ngang. Trong tình trạng sự cố, việc vận hành thỏa mãn sẽ dễ duy trì hơn nếu công suất kháng truyền tải từ nguồn đang ở mức thấp. Nói cách khác, biến động trong hệ thống do cắt đường dây sẽ ít nặng nề nếu như chênh lệch giữa điện áp đầu phát và đầu nhận là nhỏ. Một yếu tố quan trọng là khả năng duy trì điện áp phụ tải của tụ bù ngang; việc cắt một mạch làm tăng tổng trở đến phụ tải và tụ điện sẽ tạo ra một độ tăng điện áp lớn hơn trước. Người vận hành sẽ đánh giá độ tăng điện áp này sau khi một mạch được cắt ra.

#### *Ôn định của hệ thống*

Việc dùng tụ điện để giảm bớt yêu cầu công suất kháng cung cấp cho vùng phụ tải sẽ cải thiện được hệ số công suất của máy phát. Tuy vậy khi phụ tải cực tiểu máy phát có thể vận hành ở hệ số công suất sớm. Điều này dẫn đến giảm kích từ máy phát nhưng vấn đề là hệ số công suất sớm của máy phát không được vượt quá giới hạn cho phép.

Đối với các máy phát điện cũ có điều chỉnh kích từ điều khiển bằng tay thì khi vận hành gần đầy tải với mức kích từ thấp có thể dẫn tới mất ổn định và trong trường hợp này phải thiết kế sao cho máy phát phát một lượng công suất kháng nhất định. Các máy phát đời mới có bộ điều chỉnh kích từ tác động nhanh thì ràng buộc trên không đến đổi quá chặt chẽ và có giới hạn công suất kháng thấp hơn tránh cho kích từ máy phát giảm xuống quá mức an toàn.

#### *Tụ bù ngang trong mạng phân phối*

##### *Tăng khả năng tải của đường dây*

Khả năng tải của đường dây được giới hạn bởi điều kiện phát nóng hay bởi độ sụt áp. Việc lắp đặt tụ bù ngang cải thiện được hệ số công suất và giảm dòng điện trong mạch với một công suất kW cho trước. Do đó, đường dây có thể cung cấp nhiều phụ tải hơn trước khi được nâng cấp nếu cần.

Trong việc qui hoạch đường dây mới, có thể đầu tư các thiết bị như máy cắt, máy biến áp, đường dây có khả năng tải dòng điện thấp hơn nếu như đảm bảo hệ số công suất lớn hơn bằng cách bù công suất kháng ngay từ lúc qui hoạch.

##### *Giảm tổn thất công suất và tổn thất điện năng*

Giảm tổn thất công suất và tổn thất điện năng là kết quả trực tiếp từ việc giảm dòng điện đối với một phụ tải kW cho trước và làm tăng hiệu suất trong phân phối.

##### *Cải thiện tình trạng điện áp*

Tụ bù ngang như đã trình bày, cho thấy tác dụng tăng điện áp. Nếu dùng tụ tự động đóng cắt theo tải (còn gọi là tụ ứng động) thì điện áp được cải thiện do tụ bù cung cấp công suất kháng thay đổi tùy theo yêu cầu của phụ tải phản kháng.

**Ví dụ 9.1:** Một trạm điện cung cấp cho phụ tải 300 kVA ở hệ số công suất  $\cos\phi_1 = 0,8$  trễ. Một động cơ đồng bộ được đặt song song với tải. Tải của trạm là 300 kW với  $\cos\phi_2 = 0,95$  trễ. Xác

định:

- a) Công suất kVA của động cơ đồng bộ;
- b) Hệ số công suất của động cơ.

### Giải

Tải của trạm trước khi có động cơ:

$$P = S \cos\varphi = 300 \times 0,80 = 240 \text{ kW.}$$

Công suất phản kháng tương ứng:

$$Q = S \sin\varphi_1 = 300 \times 0,60 = 180 \text{ kVA}$$

Tải tổng khi có động cơ:

$$P_t = P + P_m = 300 \text{ kW (đã cho)}$$

trong đó

$$P_m = 300 - 240 = 60 \text{ kW.}$$

Hệ số công suất tổng hợp  $\cos\varphi_2 = 0,95$  (đã cho), với  $\varphi_2 = 18^\circ 12'$ ,  $\tan\varphi_2 = 0,3288$ .

Công suất kháng tổng:

$$Q_t = (P + P_m) \tan\varphi_2 = 300 \times 0,3288 = 98,64 \text{ kVAr}$$

$$Q - Q_t = 180 - 98,64 = 81,36 \text{ kVAr.}$$

Sự sai biệt về công suất kháng này được cân bằng bởi công suất kháng sớm (có tính dung) của động cơ đồng bộ, do đó công suất tác dụng và phản kháng của động cơ là:

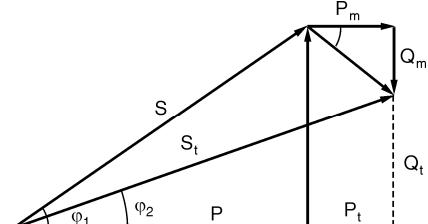
$$P_m = 60 \text{ kW và } Q_m = 81,36 \text{ kVAr (sớm).}$$

Công suất biểu kiến của động cơ:

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} = \sqrt{60^2 + 81,36^2} = 100 \text{ kVA}$$

Hệ số công suất của động cơ:

$$\cos\varphi_m = \frac{P_m}{S_m} = \frac{60}{100} = 0,6 \text{ (sớm).}$$



**Hình 9.8**

Các quan hệ về công suất được vẽ trong H.9.8.

**Ví dụ 9.2:** Một động cơ cảm ứng 250 HP, 3300 V, ba pha, hiệu suất 0,86,  $\cos\varphi = 0,707$  trễ. Để cải thiện  $\cos\varphi$  của đường dây lên 0,9, dùng tụ bù mắc ở động cơ.

Tính:

- i) Công suất kVAr của tụ bù.
- ii) Điện dung của tụ bù khi a) mắc Y, b) mắc Δ.
- iii) Tốn thất công suất tác dụng trên đường dây trước và sau khi bù, giả thiết điện trở mỗi pha của đường dây là  $1 \Omega$ .

### Giải

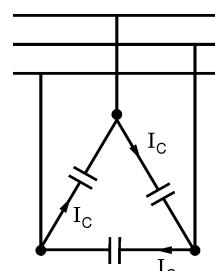
i) Công suất điện của động cơ:  $P = \frac{250 \times 0,746}{0,86} = 216,8 \text{ kW}$

$$\cos\varphi_1 = 0,707 \Rightarrow \varphi_1 = 45^\circ, \tan\varphi_1 = 1$$

$$\cos\varphi_2 = 0,90 \Rightarrow \varphi_2 = 25^\circ 50', \tan\varphi_2 = 0,4841$$

Ban đầu:

Công suất kháng của động cơ:



$$Q_1 = P_1 \operatorname{tg} \varphi_1 = 216,8 \times 1 = 216,8 \text{ kVAr}$$

Sau khi nâng hệ số công suất ở cuối đường dây lên 0,90

Công suất phản kháng ở cuối đường dây:

$$Q_2 = P_1 \operatorname{tg} \varphi_2 = 216,8 \times 0,4841 = 105 \text{ kVAr}$$

**Hình 9.9**

Công suất phản kháng cung cấp bởi bộ tụ điện:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 216,8 - 105 = 111,8 \text{ kVAr}$$

bỏ qua tổn thất trong tụ điện, công suất định mức của bộ tụ là 111,8 kVAr.

ii) Nếu tụ điện mắc hình tam giác

$$I_{\text{dây}} = \frac{111,8}{\sqrt{3} \cdot 3,3} = 19,55 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{19,55}{\sqrt{3}} = 11,3 \text{ A}$$

Dung kháng mỗi pha của tụ điện:

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{3300}{11,3} = 292,2 \Omega = \frac{10^6}{2\pi f C} \quad (\text{với } C [\mu\text{F}])$$

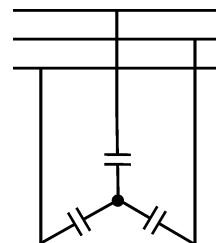
$$\text{suy ra} \quad C = \frac{10^6}{2\pi f X_c} = \frac{10^6}{2\pi \times 50 \times 292,2} = 10,9 \mu\text{F}.$$

- Nếu tụ điện mắc hình sao:

$$I_c = I_{\text{dây}} = 19,55 \text{ A}$$

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{3300}{\sqrt{3} \times 19,55} = 97,43 \Omega$$

$$C = \frac{10^6}{2\pi f X_c} = \frac{10^6}{2\pi \times 50 \times 97,43} = 32,7 \mu\text{F}.$$



**Hình 9.10**

iii) Tổn thất công suất trên đường dây trước khi đặt tụ bù

$$\Delta P_1 = \frac{P^2 + Q_1^2}{U^2} R = \frac{216,8^2 + 216,8^2}{3,3^2} 1 = 8632 \text{ W} = 8,632 \text{ kW}$$

Tổn thất công suất trên đường dây sau khi đặt tụ bù:

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + Q_2^2}{U^2} R = \frac{216,8^2 + 105^2}{3,3^2} 1 = 5328 \text{ W} = 5,328 \text{ kW}.$$

**Ví dụ 9.3:** Tính giá biểu hai thành phần.

Một xí nghiệp được cung cấp điện từ lưới điện với giá biểu như sau:

i) Giá biểu trên công suất:

- 500 kVA đầu tiên: 7,5 \$/kVA hàng tháng
- 1000 kVA kế tiếp: 7,25 \$/kVA hàng tháng
- trên 1500 kVA: 7 \$/kVA hàng tháng

ii) Giá biểu điện năng:

- 50000 kWh đầu: 0,05 \$/kWh
- 150000 kWh kế tiếp: 0,048 \$/kWh
- 300000 kWh kế tiếp: 0,045 \$/kWh

- lớn hơn 500000 kWh: 0,042 \$/kWh

Nếu phụ tải cực đại yêu cầu là 3240 kW với hệ số công suất 0,9 và hệ số phụ tải 0,8. Tìm lượng điện năng tiêu thụ trung bình hàng tháng (30 ngày) và giá điện bình quân cho mỗi kWh.

**Giải**

$$\text{Công suất biếu kiến: } S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{3240}{0,9} = 3600 \text{ kVA}$$

Phụ tải trung bình:  $3240 \times 0,8 = 2592 \text{ kW}$

Điện năng tiêu thụ hàng tháng:  $A = 2592 \times 30 \times 24 = 1866240 \text{ kWh}$

Tiền điện hàng tháng:

i) Theo công suất phụ tải cực đại yêu cầu:

$$\begin{aligned} - 500 \text{ kVA đầu:} & \quad 500 \times 7,5 = 3750 \$ \\ - 1000 \text{ kVA kế:} & \quad 1000 \times 7,25 = 7250 \$ \\ - 2100 \text{ kVA còn lại:} & \quad 2100 \times 7 = 14700 \$ \\ \text{Tổng 3600 kVA} & \quad = 25700 \$ \end{aligned}$$

ii) Theo điện năng tiêu thụ:

$$\begin{aligned} - 5000 \text{ kWh đầu:} & \quad 50000 \times 0,05 = 2500 \$ \\ - 150000 \text{ kWh tiếp:} & \quad 150000 \times 0,048 = 7200 \$ \\ - 300000 \text{ kWh giờ tiếp} & \quad 300000 \times 0,045 = 13500 \$ \\ - 1366240 \text{ kWh còn lại} & \quad 1366240 \times 0,042 = 57380 \$ \\ \text{Tổng số tiền} & \quad 1866240 \text{ kWh} = 80580 \$ \end{aligned}$$

Tiền điện hàng tháng i) và ii)

$$25700 + 80580 = 106280 \$$$

Suy ra giá điện bình quân:

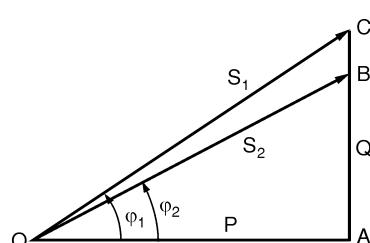
$$\frac{106280}{1866240} = 0,0569 \$/\text{kWh}$$

## 9.8 HỆ SỐ CÔNG SUẤT KINH TẾ

Nếu gọi B là chi phí hàng năm cho mỗi kVA trên chi phí đầu tư của thiết bị bù công suất kháng và điện năng cung cấp theo giá biếu hai thành phần, trong đó bao gồm chi phí A hàng năm cho mỗi kVA của phụ tải cực đại yêu cầu thì hệ số công suất kinh tế nhất cho bởi:

$$\cos \varphi_{kt} = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2} \quad (9.6)$$

và  $\cos \varphi_{kt}$  độc lập với  $\cos \varphi$  ban đầu trước khi đặt thiết bị bù, giả thiết rằng thiết bị bù không tiêu thụ công suất tác dụng.



### Hình 9.11

Gọi P là công suất tác dụng biểu diễn bởi đoạn OA, với  $\cos\varphi_1$  ban đầu, công suất biến kiến  $S_1$  cho bởi:

$$OC = \frac{P}{\cos\varphi_1} \quad (9.7)$$

và công suất phản kháng  $Q_1$ :

$$AC = P \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \quad (9.8)$$

Hệ số công suất ở cuối đường dây cung cấp cho phụ tải được nâng lên  $\cos\varphi_2$  bằng cách đặt thiết bị bù. Công suất biến kiến  $S_2$  sau khi bù:

$$OB = \frac{P}{\cos\varphi_2} \quad (9.9)$$

và công suất phản kháng sau khi bù  $Q_2$ :

$$AB = P \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 \quad (9.10)$$

Phí tổn hàng năm tính trên công suất kVA cực đại sau khi bù là:

$$\frac{A \times P}{\cos\varphi_2} \quad (9.11)$$

Công suất của thiết bị bù:

$$Q_{bu} = BC = AC - AB = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (9.12)$$

Giả sử thiết bị bù không tổn thất công suất tác dụng

$$S_{bu} = Q_{bu}.$$

Nếu gọi x là phí tổn mỗi kVA công suất bù và r% là suất chi phí hàng năm thì chi phí hàng năm cho mỗi KVA công suất bù là  $rx/100 = B$  và tổng chi phí hàng năm của thiết bị bù là  $B \cdot Q_{bu} = B \cdot P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$ . Chi phí hàng năm của khách hàng tính cho phần công suất đặt (thiết bị bù và thiết bị cung cấp điện):

$$C = \frac{A \times P}{\cos\varphi_2} + B \cdot P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (9.13)$$

Để cực tiểu chi phí C, lấy đạo hàm của C theo  $\varphi_2$  và cho bằng không:

$$\frac{dC}{d\varphi_2} = A \cdot P \cdot \frac{\sin\varphi_2}{\cos^2\varphi_2} + B \cdot P \left( -\frac{1}{\cos^2\varphi_2} \right) = 0 \quad (9.14)$$

$$A \sin\varphi_2 = B \quad (9.15)$$

hay  $\varphi_2 = \arcsin\left(\frac{B}{A}\right) \quad \text{với } B \leq A \quad (9.16)$

Suy ra hệ số công suất kinh tế:

$$\cos\varphi_2 = \cos\varphi_{kt} = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2} \quad (9.17)$$

## 9.9 VẬN HÀNH KINH TẾ TRẠM BIẾN ÁP

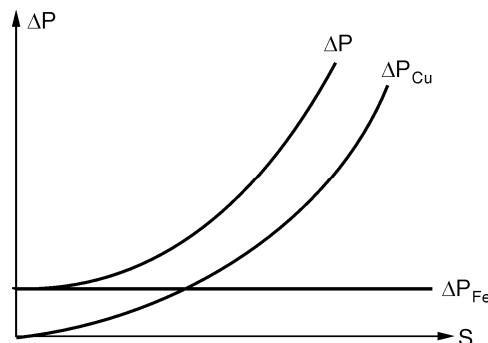
Trạm biến áp có thể có nhiều máy biến áp ghép song song. Phụ tải của trạm thay đổi theo

đồ thị phụ tải. Điều kiện để có sự phân bố công suất qua các máy biến áp tỷ lệ với công suất định mức của mỗi máy là các máy biến áp phải có phần trăm điện áp ngắn mạch  $U_N\%$  bằng nhau, cùng tỷ số biến áp, cùng tổ đấu dây ba pha ở hai phía sơ cấp và thứ cấp, cùng đấu phân áp, cùng thứ tự pha. Khi thỏa mãn các điều kiện làm việc song song thì công suất qua mỗi máy biến áp, của trạm có ba máy chẵng hạn, được tính như sau:

$$S_1 = S \frac{S_{dm1}}{\sum S_{dm}} \quad S_2 = S \frac{S_{dm2}}{\sum S_{dm}} \quad S_3 = S \frac{S_{dm3}}{\sum S_{dm}} \quad (9.18)$$

Cần đưa ra phương thức vận hành các máy biến áp song song sao cho có lợi nhất về mặt tổn thất công suất. Xét đường cong tổn thất công suất  $\Delta P$  của một máy biến áp (H.9.11):

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S}{S_{dm}} \right)^2 \quad (9.19)$$



Hình 9.12

$\Delta P_{Fe}$  gần như không đổi,  $\Delta P_{Cu}$  tỷ lệ với  $S^2$ , từ đó đường cong  $\Delta P = f(S)$  có dạng đường thẳng nằm ngang  $\Delta P_{Fe}$  cộng với parabol  $\Delta P_{Cu}$ :

Tương tự, có thể vẽ đường cong tổn thất khi vận hành hai máy, ba máy song song (H.9.13.).

Ví dụ, khi vận hành 2 máy song song:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Fe2} + \Delta P_{Cu,dm1} \cdot \left( \frac{S}{S_{dm1} + S_{dm2}} \right)^2 + \Delta P_{Cu,dm2} \cdot \left( \frac{S}{S_{dm1} + S_{dm2}} \right)^2 \quad (9.20)$$

Khi vận hành ba máy song song:

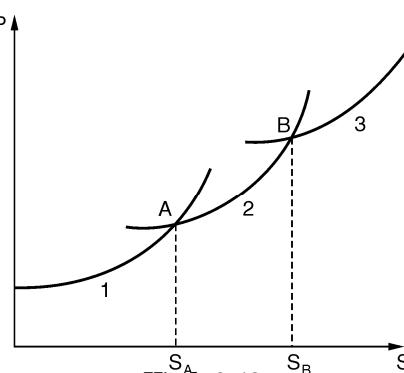
$$\begin{aligned} \Delta P = & \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Fe2} + \Delta P_{Fe3} + \Delta P_{Cu,dm1} \cdot \left( \frac{S}{S_{dm1} + S_{dm2} + S_{dm3}} \right)^2 + \\ & \Delta P_{Cu,dm2} \cdot \left( \frac{S}{S_{dm1} + S_{dm2} + S_{dm3}} \right)^2 + \Delta P_{Cu,dm3} \cdot \left( \frac{S}{S_{dm1} + S_{dm2} + S_{dm3}} \right)^2 \end{aligned} \quad (9.21)$$

Từ đó rút ra được các phương thức vận hành như sau:

- Khi  $S < S_A$  vận hành một máy;
- Khi  $S_A < S < S_B$  vận hành hai máy;
- Khi  $S > S_B$  vận hành ba máy.

$S_A, S_B$  là các công suất giới hạn để chuyển từ phương thức này sang phương thức khác.

Trường hợp có n máy giống nhau ghép song song thì công suất giới hạn chuyển từ n sang (n-1) máy vận hành song song hay ngược lại cho bởi công thức:



Hình 9.13

$$(n-1)\Delta P_{Fe} + \frac{1}{n-1} \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S_{gh}}{S_{dm}} \right)^2 = n \cdot \Delta P_{Fe} + \frac{1}{n} \Delta P_{Cu,dm} \left( \frac{S_{gh}}{S_{dm}} \right)^2 \quad (9.22)$$

Suy ra công suất giới hạn:

$$S_{gh} = S_{dm} \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu,dm}}} \quad (9.23)$$

## 9.10 BÙ KINH TẾ TRONG MẠNG ĐIỆN

Như đã biết, đặt tụ bù ngang ở phụ tải có tác dụng nâng cao  $\cos\phi$  và giảm tổn thất điện năng. Trong mạng điện, tụ bù được dùng phổ biến hơn máy bù đồng bộ chủ yếu là tụ bù tiêu thụ rất ít công suất tác dụng, khoảng  $0,3 \div 0,5\%$  công suất định mức và vận hành sửa chữa đơn giản.

Tụ điện hay máy bù dùng trong việc giảm tổn thất điện năng chỉ có lợi khi nào khoảng tiền tiết kiệm được do hiệu quả giảm tổn thất điện năng được bù vào vốn đầu tư thiết bị bù sau một khoảng thời gian tiêu chuẩn nhất định và sau đó được lợi tiếp tục trong suốt thời gian tuổi thọ của thiết bị bù. Vấn đề là đặt tụ ở đâu (trong mạng phức tạp), công suất bao nhiêu. Đó là lời giải của bài toán kinh tế dựa trên tiêu chuẩn chi phí tính toán hàng năm là nhỏ nhất.

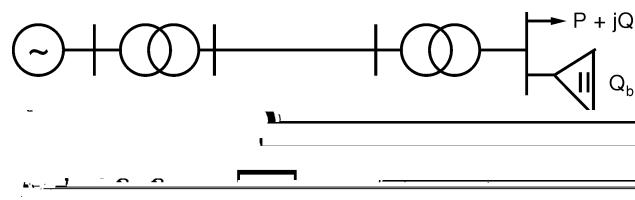
Nội dung của bài toán được phát biểu như sau:

Với các ẩn số là  $Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn}$  là công suất bù đặt ở  $n$  nút, thành lập hàm chi phí tính toán  $Z$  để xác định dung lượng bù tối ưu thỏa mãn điều kiện ràng buộc  $Q_{bu} \geq 0$ . Ẩn số  $Q_{bu}$  là nghiệm của hệ phương trình:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bu1}} = 0, \frac{\partial Z}{\partial Q_{bu2}} = 0, \dots, \frac{\partial Z}{\partial Q_{bu,n}} = 0 \quad (9.24)$$

Trong quá trình giải, nếu xuất hiện một nghiệm có giá trị âm, chẳng hạn  $Q_{bu,k} < 0$  có nghĩa là nút  $k$  không cần bù, cho  $Q_{bu,k} = 0$  và giải lại hệ  $(n-1)$  phương trình để tìm  $(n-1)$  ẩn còn lại.

Sau đây trình bày cách thành lập hàm chi phí  $Z$  và tính toán  $Q_{bu}$  đối với mạng điện đơn giản gồm một đường dây với một phụ tải:



Hình 9.14

Hàm chi phí tính toán gồm ba thành phần:

$Z_1$ : Thành phần liên quan đến vốn đầu tư thiết bị bù:

$$Z_1 = (a_{vh} + a_{tc}) K_0 \cdot Q_{bu} \quad (9.25)$$

với  $K_0$  là giá tiền nột đơn vị dung lượng bù.

$Z_2$ : Thành phần tổn thất điện năng trong thiết bị bù:

$$Z_2 = C_0 \Delta P_0 Q_{bu} T \quad (9.26)$$

trong đó:  $C_0$  - tiền 1 KWh điện năng

$\Delta P_0$  - tổn thất công suất trên một đơn vị thiết bị bù,  $0,003 \div 0,005 \text{ kW/kVAr}$

T - thời gian đóng tụ.

$Z_3$ : Thành phần tổn thất điện năng trong mạng điện sau khi đặt thiết bị bù:

$$Z_3 = \frac{P^2 + (Q - Q_{bù})^2}{U^2} \cdot R\tau C_0 \quad (9.27)$$

vì thành phần  $\frac{P^2}{U^2} R\tau C_0$  giống nhau đối với mọi phuong án bù nên không cần phải kể vào khi so sánh phuong án và  $Z_3$  được viết như sau:

$$Z_3 = \frac{(Q - Q_{bù})^2}{U^2} \cdot R\tau C_0 \quad (9.28)$$

Tóm lại, hàm chi phí tính toán Z có dạng:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = (a_{vh} + a_{tc}) K_0 \cdot Q_{bù} + C_0 \cdot \Delta P_0 \cdot Q_{bù} \cdot T + \frac{(Q - Q_{bù})^2}{U^2} \cdot R\tau C_0 \quad (9.29)$$

Lấy đạo hàm  $\partial Z / \partial Q_{bù}$  và cho bằng không:

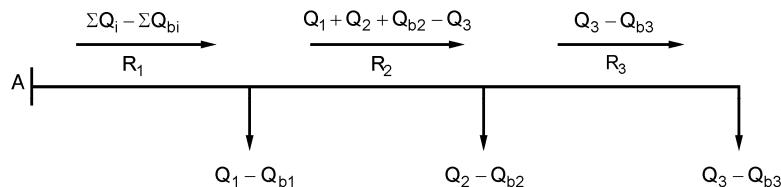
$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bù}} = (a_{vh} + a_{tc}) K_0 + C_0 \cdot \Delta P_0 \cdot T - \frac{2C_0 R\tau}{U^2} (Q - Q_{bù}) = 0 \quad (9.30)$$

Giải được  $Q_{bù}$ :

$$Q_{bù} = Q - \frac{U^2 [(a_{vh} + a_{tc}) K_0 + C_0 \cdot \Delta P_0 \cdot T]}{2C_0 R\tau} \quad (9.31)$$

Trường hợp  $Q_{bù} < 0$  có nghĩa là đặt thiết bị bù là không kinh tế.

Đối với đường dây liên thông gồm một nguồn và nhiều phụ tải dọc theo đường dây, ẩn số là các dung lượng bù  $Q_1, Q_{b2}, Q_{b3}$  lần lượt đặt tại các phụ tải 1, 2, 3 dòng công suất kháng sau khi đặt thiết bị bù được ghi trên H.9.15:



Hình 9.15

Hàm chi phí tính toán Z được viết như sau:

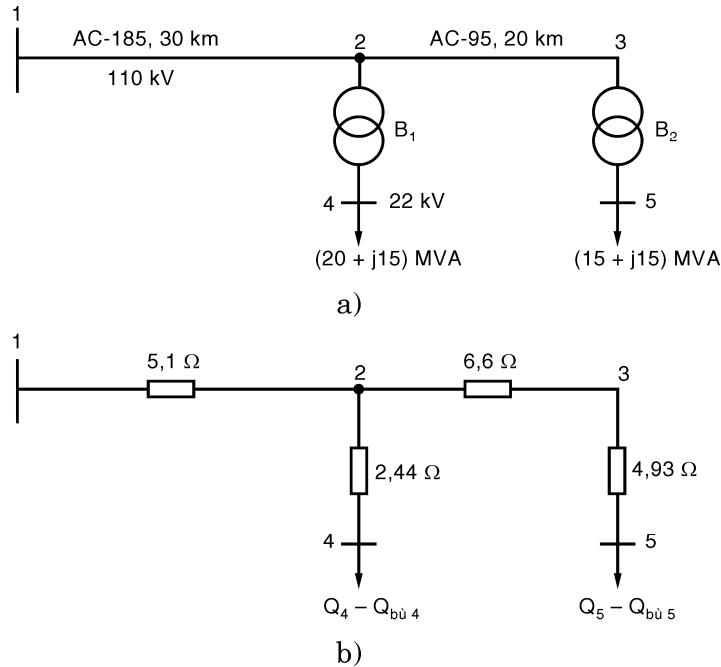
$$\begin{aligned} Z = & (a_{vh} + a_{tc}) K_0 (Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) + C_0 \cdot \Delta P_0 \cdot T (Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) \\ & + \frac{C_0 \tau}{U^2} [(Q_3 - Q_{b3})^2 R_3 + (Q_2 + Q_3 - Q_{b2} - Q_{b3})^2 R_2] \\ & + (Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{b1} - Q_{b2} - Q_{b3})^2 R_1. \end{aligned} \quad (9.32)$$

Công suất kháng cần bù là nghiệm của hệ phuong trình:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} = 0 \quad \frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} = 0 \quad \frac{\partial Z}{\partial Q_{b3}} = 0 \quad (9.33)$$

Nếu có nghiệm  $Q_{b,i}$  âm thì nút i không cần bù và cho  $Q_{b,i} = 0$  bắt đi một phuong trình ứng với  $Q_{bi}$  và giải lại.

**Ví dụ 9.4:** Cho mạng điện 110 kV có sơ đồ trong H.9.16a. Chiều dài đường dây và công suất phụ tải cho trên hình vẽ.



**Hình 9.16**

Dây dẫn AC-185 có  $r_0 = 0,17 \Omega/km$ , dây AC-95 có  $r_0 = 0,33 \Omega/km$

Máy biến áp B1 110/22 kV, 31,5 MVA,  $\Delta P_N = 200 \text{ kW}$ . Máy biến áp B2 110/22 kV, 20 MVA,  $\Delta P_N = 163 \text{ kW}$ .

Thời gian tổn thất công suất lớn nhất  $\tau = 5500 \text{ giờ/năm}$ . Tiền đầu tư tụ điện 22 kV 5000 \$/MVar, tiền điện năng tổn thất 50 \$/MWh, tổn thất công suất tương đối trong tụ bù  $\Delta P^* = 0,005$ , hệ số  $(a_{vh} + a_{tc}) = 0,225$ . Giả thiết đóng tụ suốt năm ( $T = 8760 \text{ giờ/năm}$ ).

Hãy xác định dung lượng bù tại các nút 4 và 5 nhằm giảm tổn thất điện năng.

### Giải

Điện trở đoạn 12:

$$R_{12} = 0,17 \cdot 30 = 5,1 \Omega$$

Điện trở đoạn 23:

$$R_{23} = 0,33 \cdot 20 = 6,6 \Omega$$

Điện trở dây quấn máy biến áp B1 qui về phía 110 kV:

$$R_{B1} = \frac{\Delta P_N U_{dm}^2}{S_{dm}^2} 10^3 = \frac{200 \cdot 110^2}{31500^2} 10^3 = 2,44 \Omega$$

Điện trở dây quấn máy biến áp B2:

$$R_{B2} = \frac{163 \cdot 110^2}{20000} 10^3 = 4,93 \Omega$$

Sơ đồ thay thế dùng để tính bù công suất kháng được vẽ trong H.9.15b.

Hàm chi phí tính toán:

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 + Z_2 + Z_3 \\ Z_1 &= (a_{vh} + a_{tc}) K_o \cdot (Q_{bù4} + Q_{bù5}) \\ &= 0,225 \cdot 5000 \cdot (Q_{bù4} + Q_{bù5}) = 1125(Q_{bù4} + Q_{bù5}) \\ Z_2 &= c \cdot \Delta P^* \cdot T \cdot (Q_{bù4} + Q_{bù5}) \\ &= 50 \cdot 0,005 \cdot 8760 \cdot (Q_{bù4} + Q_{bù5}) \\ &= 2190 \cdot (Q_{bù4} + Q_{bù5}) \\ Z_3 &= \frac{c\tau}{U^2} \left[ (Q_4 - Q_{bù4})^2 R_{B1} + (Q_5 - Q_{bù5})^2 (R_{23} + R_{B2}) + (Q_4 + Q_5 - Q_{bù4} - Q_{bù5})^2 \cdot R_{12} \right] \\ &= \frac{50.5500}{110^2} \left[ (15 - Q_{bù4})^2 \cdot 2,44 + (15 - Q_{bù5})^2 (6,6 + 4,93) + (15 + 15 - Q_{bù4} - Q_{bù5})^2 \cdot 5,1 \right] \\ &= 22,727 \left[ 2,44 \cdot (15 - Q_{bù4})^2 + 11,53 \cdot (15 - Q_{bù5})^2 + 5,1 \cdot (30 - Q_{bù4} - Q_{bù5})^2 \right] \end{aligned}$$

Các phương trình đạo hàm riêng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial Q_{bù4}} &= 1125 + 2190 + 22,727 \left[ -2 \cdot 2,44 \cdot (15 - Q_{bù4}) - 2 \cdot 5,1 \cdot (30 - Q_{bù4} - Q_{bù5}) \right] = 0 \\ 342,727 \cdot Q_{bù4} + 231,813 \cdot Q_{bù5} &= 5303,182 \end{aligned} \quad (\text{a})$$

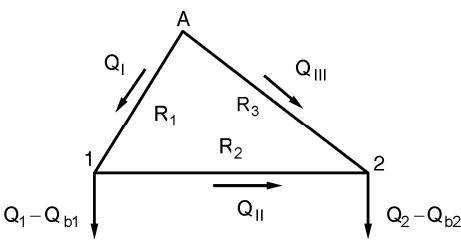
Tương tự:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial Q_{bù5}} &= 1125 + 2190 + 22,727 \left[ -2 \cdot 11,53 \cdot (15 - Q_{bù5}) - 2 \cdot 5,1 \cdot (30 - Q_{bù4} - Q_{bù5}) \right] = 0 \\ 231,813 \cdot Q_{bù4} + 755,909 \cdot Q_{bù5} &= 11500,909 \end{aligned} \quad (\text{b})$$

Giải hệ phương trình (a) và (b) có được:

$$Q_{bù4} = 6,539 \text{ MVAr} \quad Q_{bù5} = 13,209 \text{ MVAr}$$

Để tìm phân bố dung lượng bù tối ưu trong mạng điện kín như trong H.9.17, trước hết tìm sự phân bố gần đúng công suất phản kháng trên mạng điện trở (đây chỉ là sự gần đúng và chỉ có thể chấp nhận cho mạng đồng nhất).



**Hình 9.17**

$$Q_I = \frac{(Q_1 - Q_{b1})(R_2 + R_3) + (Q_2 - Q_{b2})R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (9.34)$$

$$Q_{III} = \frac{(Q_1 - Q_{b1})R_1 + (Q_2 - Q_{b2})(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (9.35)$$

$$Q_{II} = Q_I - (Q_1 - Q_{b1}) \quad (9.36)$$

Hàm chi phí tính toán của mạng điện kín:

$$Z = (a_{vh} + a_{tc}) K_0 (Q_{b1} + Q_{b2}) + C_0 \cdot \Delta P_0 \cdot T (Q_{b1} + Q_{b2}) + \frac{C_0 \tau}{U^2} (Q_I^2 R_1 + Q_{II}^2 R_2 + Q_{III}^2 R_3). \quad (9.37)$$

Thay  $Q_I$ ,  $Q_{II}$  và  $Q_{III}$  tính theo  $Q_{b1}$  và  $Q_{b2}$  trong hàm chi phí  $Z$  và giải hệ phương trình:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} = 0 \quad \frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} = 0 \quad (9.38)$$

## 9.11 TÍNH TOÁN BÙ KINH TẾ BẰNG PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN

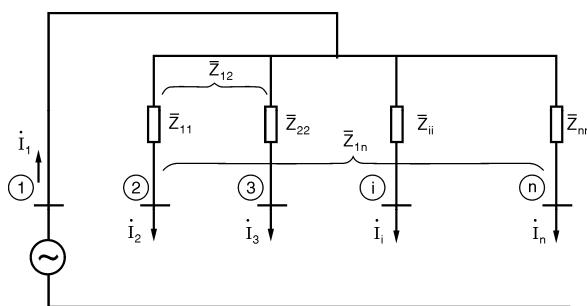
### 9.11.1 Lý thuyết

Tổn thất công suất trong hệ thống tính theo ma trận  $Z_{TC}$  hay  $Z_{bus}$  (xem mục 12.6).

$$\Delta P + j\Delta Q = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n I_i^* \bar{Z}_{ij} I_j \quad (9.39)$$

với nút 1 là nút cân bằng và  $I_i, I_j$  lần lượt là dòng điện ở nút  $i$  và  $j$  (trong đơn vị tương đối)

Mạch tương đương hình cào dùng để tính tổn thất được vẽ trong H.9.18.



Hình 9.18

Để biểu diễn dòng điện nút theo công suất nút, trước hết cần phân tích phương trình (9.39) thành phần thực và phần ảo.

$$\sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n I_i^* \bar{Z}_{ij} I_j = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n (I_{iRE} - jI_{iIM})(R_{ij} + jX_{ij})(I_{jRE} + I_{jIM}) \quad (9.40)$$

Phần thực của (9.40) là  $\Delta P$ :

$$\Delta P = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n (I_{iRE} R_{ij} I_{jRE} - I_{iRE} X_{ij} I_{jIM} + I_{iIM} X_{ij} I_{jRE} + I_{iIM} R_{ij} I_{jIM}) \quad (9.41)$$

Các số hạng thứ hai và thứ ba triệt tiêu lẫn nhau do chúng có các số hạng giống nhau khi triển khai toàn bộ tổng số. Như vậy:

$$\Delta P = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n (I_{iRE} R_{ij} I_{jRE} + I_{iIM} R_{ij} I_{jIM}) \quad (9.42)$$

nhưng:

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{U_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{|U_i|} (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (9.42)$$

trong đó  $\delta_i$  là góc pha của điện áp nút  $U_i$

$$I_i = \frac{P_i \cos \delta_i + Q_i \sin \delta_i}{|U_i|} + j \frac{P_i \sin \delta_i - Q_i \cos \delta_i}{|U_i|} \quad (9.43)$$

$$= I_{iRE} + j I_{iIM}$$

Phương trình (9.43) cũng được viết tương tự cho dòng điện  $I_j$  ở thanh cái  $j$  bằng cách thay  $i$  bằng  $j$ .

Thay phần thực và phần ảo của phương trình (9.43) vào phương trình (9.42) có được:

$$\Delta P = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n R_{ij} \left[ \frac{(P_i \cos \delta_i + Q_i \sin \delta_i)(P_j \cos \delta_j + Q_j \sin \delta_j)}{|U_i| |U_j|} + \frac{(P_i \sin \delta_i - Q_i \cos \delta_i)(P_j \sin \delta_j - Q_j \cos \delta_j)}{|U_i| |U_j|} \right] \quad (9.44)$$

$$\begin{aligned} \Delta P = & \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \frac{R_{ij}}{|U_i||U_j|} [P_i P_j (\cos \delta_i \cos \delta_j + \sin \delta_i \sin \delta_j) \\ & + P_i Q_j (\sin \delta_j \cos \delta_i - \sin \delta_i \cos \delta_j) + Q_i P_j (\sin \delta_i \cos \delta_j - \sin \delta_j \cos \delta_i) \\ & + Q_i Q_j (\sin \delta_i \sin \delta_j + \cos \delta_i \cos \delta_j)] \end{aligned} \quad (9.45)$$

Áp dụng công thức lượng giác vào phương trình (9.45) có được:

$$\Delta P = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \left[ \frac{R_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i)}{|U_i||U_j|} (P_i P_j + Q_i Q_j) + \frac{R_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i)}{|U_i||U_j|} (P_i Q_j - Q_i P_j) \right] \quad (9.46)$$

Gần đúng có thể đơn giản như sau:

$$\Delta P = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \left[ \frac{R_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i)}{|U_i||U_j|} (P_i P_j + Q_i Q_j) \right] \quad (9.47)$$

với giả thiết  $(\delta_j - \delta_i)$  nhỏ có thể biểu diễn gần đúng tiếp theo:

$$\Delta P = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \left[ \frac{R_{ij}}{|U_i||U_j|} (P_i P_j + Q_i Q_j) \right] \quad (9.48)$$

Từ đó có thể tách riêng thành phần tổn thất công suất tác dụng do công suất phản kháng gây ra với  $U_i \approx U_j \approx U_{dm}$

$$\Delta P_{do Q} = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \left[ \frac{R_{ij}}{U_{dm}^2} Q_i Q_j \right] \quad (9.49)$$

Biểu thức (9.49) áp dụng được cho đơn vị tương đối và đơn vị có tên.

### 9.11.2 Các bước tính toán bù kinh tế

*Bước 1:* Thành lập ma trận Zbus với thanh cái cân bằng làm chuẩn có được

$$Z_{bus} = R_{bus} + j X_{bus} \quad (9.50)$$

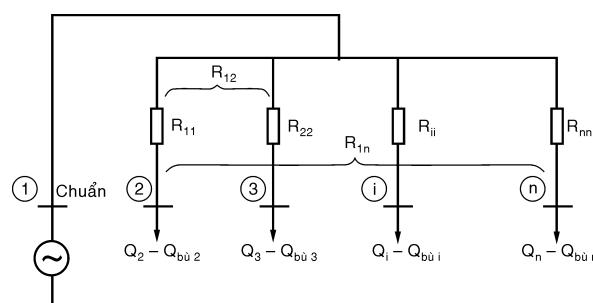
Áp dụng phương pháp rã dần từng nhánh để thành lập  $Z_{bus}$

*Bước 2:* Viết biểu thức tổn thất công suất tác dụng do thành phần công suất phản kháng qua các nhánh của mạng điện sau khi đặt thiết bị bù tại các nút

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{1}{U_{dm}^2} \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n (Q_i - Q_{bu,i}) R_{ij} (Q_j - Q_{bu,j}) \quad (9.51)$$

với  $R_{ij}$  là phần tử của ma trận  $R_{bus}$ .

Mạch tương đương hình cào dùng để tính tổn thất công suất tác dụng gây ra do phụ tải phản kháng sau khu bù được vẽ trong H.9.19:



Hình 9.19

Bước 3: Viết biểu thức đạo hàm riêng:

$$\frac{\partial \Delta P_{\Sigma}}{\partial Q_{bu,i}} = -\frac{2}{U^2} \sum_{j=2}^n R_{ij}Q_j + \frac{2}{U^2} \sum_{j=2}^n R_{ij}Q_{bu,j} = 0 \quad (9.52)$$

Hãy chứng minh biểu thức trên.

Ví dụ với mạng điện có năm nút với nút 1 là nút cân bằng thì theo (9.51) biểu thức tổng thất tác dụng do thành phần công suất phản kháng tạo ra là:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{1}{U^2} \sum_{i=2}^5 \sum_{j=2}^5 (Q_i - Q_{bu,i}) R_{ij} (Q_j - Q_{bu,j}) \\ &= \frac{1}{U^2} [(Q_2 - Q_{bu,2}) R_{22} (Q_2 - Q_{bu,2}) + (Q_2 - Q_{bu,2}) R_{23} (Q_3 - Q_{bu,3}) + (Q_2 - Q_{bu,2}) R_{24} (Q_4 - Q_{bu,4}) + \\ &\quad + (Q_2 - Q_{bu,2}) R_{25} (Q_5 - Q_{bu,5}) + (Q_3 - Q_{bu,3}) R_{32} (Q_2 - Q_{bu,2}) + (Q_3 - Q_{bu,3}) R_{33} (Q_3 - Q_{bu,3}) + \\ &\quad + (Q_3 - Q_{bu,3}) R_{34} (Q_4 - Q_{bu,4}) + (Q_3 - Q_{bu,3}) R_{35} (Q_5 - Q_{bu,5}) + (Q_4 - Q_{bu,4}) R_{42} (Q_2 - Q_{bu,2}) + \\ &\quad + (Q_4 - Q_{bu,4}) R_{43} (Q_3 - Q_{bu,3}) + (Q_4 - Q_{bu,4}) R_{44} (Q_4 - Q_{bu,4}) + (Q_4 - Q_{bu,4}) R_{45} (Q_5 - Q_{bu,5}) + \\ &\quad + (Q_5 - Q_{bu,5}) R_{52} (Q_2 - Q_{bu,2}) + (Q_5 - Q_{bu,5}) R_{53} (Q_3 - Q_{bu,3}) + (Q_5 - Q_{bu,5}) R_{54} (Q_4 - Q_{bu,4}) + \\ &\quad + (Q_5 - Q_{bu,5}) R_{55} (Q_5 - Q_{bu,5})] \end{aligned}$$

Ghi chú: Nếu nút nào không cần bù thì cho  $Q_{bu}$  ở nút đó bằng không.

Biểu thức đạo hàm  $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,i}}$ :

Ví dụ lấy đạo hàm  $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,2}}$  có dạng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,2}} &= \frac{-1}{U^2} [2.R_{22}(Q_2 - Q_{bu,2}) - R_{23}(Q_3 - Q_{bu,3}) - R_{24}(Q_4 - Q_{bu,4}) - R_{25}(Q_5 - Q_{bu,5}) \\ &\quad - (Q_3 - Q_{bu,3})R_{32} - (Q_4 - Q_{bu,4})R_{42} - (Q_5 - Q_{bu,5})R_{52}] \\ &= \frac{2}{U^2} \left\{ -\sum_{j=2}^5 R_{2j}Q_j + \sum_{j=2}^5 R_{2j}Q_{bu,j} \right\} \text{ vì } R_{23} = R_{32}, \dots \quad (9.54) \end{aligned}$$

Tổng quát

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,i}} = \frac{2}{U^2} \left\{ -\sum_{j=2}^5 R_{ij}Q_j + \sum_{j=2}^5 R_{ij}Q_{bu,j} \right\} \text{ với } i = 2, 3, 4, 5 \quad (9.55)$$

Bước 4: Đạo hàm riêng biểu thức  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$  theo các biến  $Q_{bu,i}$  có được hệ phương trình bậc nhất n ẩn số  $Q_{bu}$  được sắp xếp như sau, lấy ví dụ cho  $n = 5$  với nút cân bằng là nút 1:

$$\begin{aligned} Z &= (a_{vh} + a_{lc})K^0(Q_{bu,2} + Q_{bu,3} + Q_{bu,4} + Q_{bu,5}) \\ &\quad + c.t.\Delta P^*(Q_{bu,2} + Q_{bu,3} + Q_{bu,4} + Q_{bu,5}) + c.t.\Delta P \quad (9.56) \end{aligned}$$

Đạo hàm  $\frac{\partial Z}{\partial Q_{bu,i}} = 0$  có dạng:

$$\sum_{j=2}^5 B_{ij} \cdot Q_{bu,j} + C_i = 0 \quad (9.57)$$

$$\text{Đặt } A = (a_{vh} + a_{lc})K^0 + c.\Delta P^*.t, \quad b = \frac{2c\tau}{U^2}, \quad C_i = -b \cdot \sum_{j=2}^n R_{ij}Q_j + A, \quad B_{ij} = b \cdot R_{ij}$$

với  $i = 2, 3, 4, 5\dots$

Từ ma trận  $R_{BUS}$  viết cho mạng điện n nút với nút 1 là nút cân bằng làm chuẩn:

MA TRẬN  $R_{BUS}$

2	3	...	n
$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{2\dots}$	$R_{2n}$
$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{3\dots}$	$R_{3n}$
$R_{\dots 2}$	$R_{\dots 3}$	...	$R_{\dots n}$
$R_{n2}$	$R_{n3}$	$R_{n\dots}$	$R_{nn}$

Đạo hàm hàm chi phí tính toán  $\frac{\partial Z}{\partial Q_{bu,i}} = 0$ , các hệ số của phương trình đạo hàm riêng được

sắp xếp thành dạng bảng như sau (ví dụ với mạng điện có năm nút phụ tải tính toán bù kinh tế), nút 1 là nút cân bằng:

STT nút	$Q_{bu,2}$	$Q_{bu,3}$	$Q_{bu,4}$	$Q_{bu,5}$	Hằng số	=	Vết phải
2	$B_{22}$	$B_{23}$	$B_{24}$	$B_{25}$	$C_2$	=	0
3	$B_{32}$	$B_{33}$	$B_{34}$	$B_{35}$	$C_3$	=	0
4	$B_{42}$	$B_{43}$	$B_{44}$	$B_{45}$	$C_4$	=	0
5	$B_{52}$	$B_{53}$	$B_{54}$	$B_{55}$	$C_5$	=	0

$$\text{Ví dụ: } \frac{\partial Z}{\partial Q_{bu,2}} = B_{22} \cdot Q_{bu,2} + B_{23} \cdot Q_{bu,3} + B_{24} \cdot Q_{bu,4} + B_{25} \cdot Q_{bu,5} + C_2 = 0$$

$$\text{trong đó đặt } A = (a_{vh} + a_{lc})K^0 + c \cdot \Delta P^* \cdot t \quad b = \frac{2 \cdot c \cdot \tau}{U^2}$$

Nếu đóng tụ suốt năm thì  $t = 8760$  giờ/năm

$$B_{22} = b \cdot R_{22} \quad B_{23} = b \cdot R_{23} \quad B_{24} = b \cdot R_{24} \quad B_{25} = b \cdot R_{25}$$

Tổng quát  $B_{ij} = b \cdot R_{ij}$

$$C_2 = (-b \cdot \sum_{j=2}^5 R_{2j} Q_j) + A \quad \text{với } Q_j \text{ công suất phản kháng của phụ tải tại nút j}$$

$$\text{Tổng quát } C_i = (-b \cdot \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_j) + A$$

Tính toán cụ thể các hệ số và lập bảng như trên.

*Bước 5:* Giải hệ phương trình trên để xác định  $Q_{bu,2}, Q_{bu,3}, \dots, Q_{bu,n}$ . Có thể giải bằng cách nghịch đảo ma trận hay bằng các lệnh của MatLab.

*Bước 6:*

### Trường hợp có nghiệm âm

Ví dụ giải được  $Q_{bu,3} < 0$ , có nghĩa phụ tải 3 không cần đặt bù. Khi đó cho  $Q_{bu,3} = 0$  và giải lại hệ phương trình trên bằng cách bỏ hàng 3 và cột 3:

STT nút	$Q_{bu,2}$	$Q_{bu,4}$	$Q_{bu,5}$	Hằng số	=	Vết phải
2	$B_{22}$	$B_{24}$	$B_{25}$	$C_2$	=	0
4	$B_{42}$	$B_{44}$	$B_{45}$	$C_4$	=	0
5	$B_{52}$	$B_{54}$	$B_{55}$	$C_5$	=	0

Lưu ý: Mặc dù nút 3 không cần bù nhưng các trị số  $C_i$  vẫn tính theo công thức tổng quát trên.

Quá trình giải được tiếp tục cho đến khi tất cả các nghiệm đều dương. Mỗi lần giải, lập bảng như trên và trình bày phép giải.

**Ví dụ 9.5:** Cho mạng điện 110 kV 5 nút trong H.9.20. Phụ tải nút 4 ( $40 + j40$ ) MVA, phụ tải nút 5 ( $20 + j15$ ) MVA. Điện áp định mức nút 4 và 5 là 22 kV.

Tổng trở các nhánh:

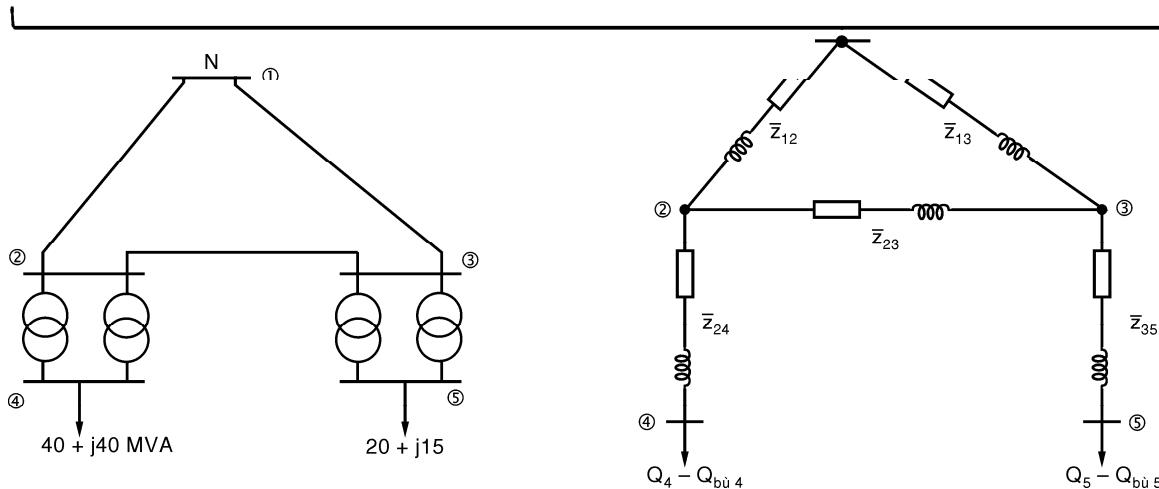
$$\bar{z}_{12} = 5,1 + j12,21 \Omega$$

$$\bar{z}_{13} = 4,2 + j8,3 \Omega$$

$$\bar{z}_{23} = 18,4 + j17,6 \Omega$$

$$\bar{z}_{24} = 1,22 + j20,16 \Omega$$

$$\bar{z}_{35} = 2,465 + j31,76 \Omega$$



Hình 9.20

Xác định công suất kháng cần bù tại các nút 4 và 5 nhằm giảm tổn thất điện năng.

Cho:

- Tiền tụ bù: 5000 \$/MVAr
- Tiền tổn thất điện năng: 50 \$/MWh
- Hệ số  $a_{vh} + a_{lc} = 0,225$
- Tổn thất công suất trong tụ bù:  $\Delta P^* = 0,005 \cdot Q_{bu}$
- Thời gian tổn thất công suất lớn nhất:  $\tau = 5000$  giờ/năm

### Giải

Kết quả tính toán ma trận  $Z_{bus}$  tính ra  $\Omega$  với nút 1 làm chuẩn:

	2	3	4	5
2	$4,4976 + j8,5427$	$0,6099 + j2,5404$	$4,4976 + j8,5427$	$0,6099 + j2,5404$
3	$0,6099 + j2,5404$	$3,6425 + j6,5500$	$0,6099 + j2,5404$	$3,6425 + j6,5500$
4	$4,4976 + j8,5427$	$0,6099 + j2,5404$	$5,7176 + j28,7027$	$0,6099 + j2,5404$
5	$0,6099 + j2,5404$	$3,6425 + j6,5500$	$0,6099 + j2,5404$	$6,1075 + j38,3100$

Suy ra ma trận  $R_{bus}$ :

$$\begin{array}{cc}
 & \begin{matrix} 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \left[ \begin{matrix} 4,4976 & 0,6099 & 4,4976 & 0,6099 \\ 0,6099 & 3,6425 & 0,6099 & 3,6425 \\ 4,4976 & 0,6099 & 5,7176 & 0,6099 \\ 0,6099 & 3,6425 & 0,6099 & 6,1075 \end{matrix} \right]
 \end{array}$$

$$b = \frac{2ct}{U^2} = \frac{2.50.5000}{110^2} = 41,322$$

Vì chỉ bù ở nút 4 và 5:

$$B_{44} = b.R_{44} = 41,322. 5,7176 = 236,264$$

$$B_{45} = b.R_{45} = 41,322. 0,6099 = 25,201$$

$$B_{54} = b.R_{54} = 41,322. 0,6099 = 25,201$$

$$B_{55} = b.R_{55} = 41,322. 6,1075 = 252,377$$

$$A = (a_{vh} + a_{lc})K^0 + c.\Delta P^*.t = 0,225. 5000 + 50. 0,005. 8760 = 3315$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -b(R_{42}.Q_2 + R_{43}.Q_3 + R_{44}.Q_4 + R_{45}.Q_5) + A \\
 &= -41,322.(0 + 0 + 5,7176. 40 + 0,6099. 15) + 3315 = -6513,578
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_5 &= -b(R_{52}.Q_2 + R_{53}.Q_3 + R_{54}.Q_4 + R_{55}.Q_5) + A \\
 &= -41,322. (0 + 0 + 0,6099. 40 + 6,1075. 15) + 3315 = -1478,692
 \end{aligned}$$

Các phương trình đạo hàm riêng:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bu,4}} = 236,264. Q_{bu,4} + 25,201. Q_{bu,5} - 6513,578 = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bu,5}} = 25,201. Q_{bu,4} + 252,377. Q_{bu,5} - 1478,692 = 0$$

Giải hệ phương trình này có được:

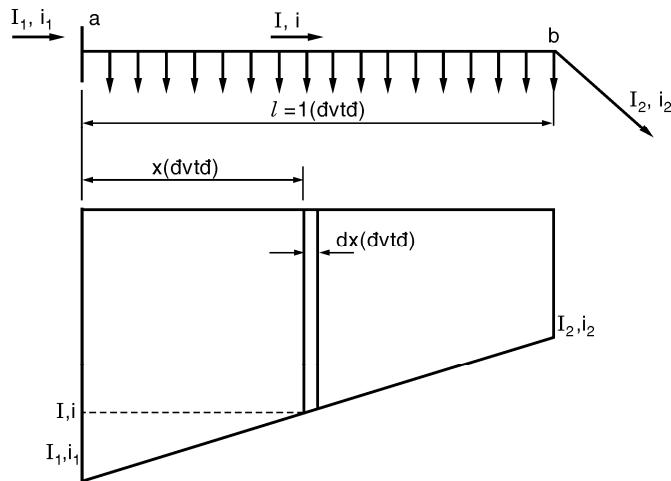
$$Q_{bu,4} = 27,234 \text{ MVAr}$$

$$Q_{bu,5} = 3,14 \text{ MVAr}$$

## 9.12 BÙ COANG SUAAT KHAUNG TREAN ĐƯỜNG DAAY PHAAN PHOAI

### 9.12.1 Tổn thất công suất trên một đoạn của phát tuyến phân phối

Xét phụ tải phản kháng của đoạn ab của một phát tuyến có phụ tải tập trung và phân bố trong H.9.21.

**Hình 9.21**

Gọi:

$I_1$ : dòng điện phản kháng đầu đoạn đường dây lúc phụ tải cực đại.

$I_2$ : dòng điện phản kháng của phụ tải tập trung ở cuối đoạn đường dây lúc phụ tải cực đại.

Tương tự,  $i_1$  và  $i_2$  lần lượt là dòng điện phản kháng ở đầu đoạn đường dây và của phụ tải tập trung ở cuối đoạn đường dây vào một thời điểm bất kỳ của đồ thị phụ tải.

$I, i$  lần lượt là dòng điện phản kháng cực đại và dòng vào thời điểm bất kỳ tại vị trí cách đầu đoạn đường dây khoảng cách  $x$  tính trong đơn vị tương đối (chiều dài đoạn đường dây bằng 1 đvtđ).

Tất cả các dòng điện trên là thành phần phản kháng của dòng điện hiệu dụng.

Dòng điện  $i$  tại vị trí  $x$ :

$$i = i_1 - (i_1 - i_2)x \quad (9.58)$$

Tổn thất công suất vi cấp trên đoạn  $dx$  của phát tuyến do thành phần dòng điện phản kháng tạo ra:

$$d(\Delta P) = 3 \cdot [i_1 - (i_1 - i_2)x]^2 \cdot R \cdot dx \quad (9.59)$$

với  $R$ : điện trở của đoạn  $ab$

$dx$ : chiều dài vi cấp (đvtđ)

Tổn thất công suất toàn đoạn đường dây vào một thời điểm của đồ thị phụ tải:

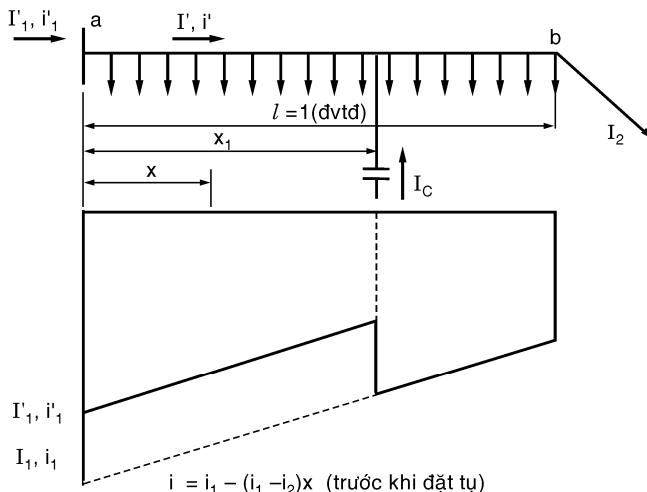
$$\begin{aligned} \Delta P &= \int d\Delta P = 3 \int_0^1 [i_1 - (i_1 - i_2)x]^2 R dx \\ &= (i_1^2 + i_1 i_2 + i_2^2) R \end{aligned} \quad (9.60)$$

Suy ra tổn thất công suất lúc phụ tải cực đại do thành phần dòng điện phản kháng tạo ra:

$$\Delta P_{\max} = (I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2) R \quad (9.61)$$

### 9.12.2 Tổn thất công suất trên đường dây có đặt tụ bù

Xét một đoạn đường dây ab có phụ tải phân bố đều và phụ tải tập trung, để giảm tổn thất công suất và điện năng đặt tụ bù tại vị trí cách đầu a một khoảng cách  $x_1$  như trong H.9.22:



Hình 9.22

Gọi  $i$  là dòng điện ở vị trí  $x$  trước khi đặt tụ bù,  $I_C$  là dòng điện của tụ bù. Dòng trong khoảng từ đầu đoạn đường dây đến vị trí đặt tụ:

$$i' = i - I_C = i_1 - (i_1 - i_2)x - I_C \quad (9.62)$$

Tổn thất công suất trên đoạn ab:

$$\Delta P' = 3 \int_{x=0}^{x=x_1} [i_1 - (i_1 - i_2)x - I_C]^2 R dx + 3 \int_{x=x_1}^1 [i_1 - (i_1 - i_2)x]^2 R dx \quad (9.63)$$

$$\Delta P' = 3 \int_0^1 [i_1 - (i_1 - i_2)x]^2 R dx + 3 \int_0^{x_1} I_C^2 R dx - 6 \int_0^{x_1} [i_1 - (i_1 - i_2)x] R dx$$

$$\Delta P' = (i_1^2 + i_2^2 + i_1 i_2) \cdot R + 3R I_C^2 x_1 - 6R I_C i_1 x_1 + 3R I_C (i_1 - i_2) x_1^2$$

$$\Delta P' = (i_1^2 + i_2^2 + i_1 i_2) \cdot R + 3R I_C^2 x_1 - 6R I_C i_1 x_1 + 3R I_C i_1 x_1^2 - 3R I_C i_2 x_1^2$$

$$\Delta P' = (i_1^2 + i_1 i_2 + i_2^2) R + 3x_1 [(x_1 - 2) \cdot i_1 \cdot I_C - x_1 \cdot i_2 \cdot I_C + I_C^2] \cdot R \quad (9.64)$$

Suy ra lượng giảm tổn thất công suất sau khi bù:

$$\text{Giảm } \Delta P = \Delta P - \Delta P' = 3x_1 [(2 - x_1) \cdot i_1 \cdot I_C + x_1 \cdot i_2 \cdot I_C - I_C^2] \cdot R \quad (9.65)$$

Nếu gọi  $x$  là vị trí đặt tụ bù (thay vì là  $x_1$ ) thì biểu thức giảm tổn thất được viết lại:

$$\text{Giảm } \Delta P = \Delta P - \Delta P' = 3x [(2 - x) \cdot i_1 \cdot I_C + x \cdot i_2 \cdot I_C - I_C^2] \cdot R \quad (9.66)$$

### 9.12.3 Giảm tổn thất điện năng khi đặt tụ bù

Giảm tổn thất điện năng trong thời gian T (chẳng hạn 1 năm) cho bởi tích phân:

$$\text{Giảm } \Delta A = 3x \left[ (2 - x) I_C \int_0^T i_1 dt + x I_C \int_0^T i_2 dt - I_C^2 \int_0^T dt \right] \cdot R \quad (9.67)$$

$$\text{Giảm } \Delta A = 3x [(2 - x) I_C \cdot k'_{pt} \cdot I_1 \cdot T + x \cdot I_C \cdot I_2 \cdot k'_{pt} \cdot T - I_C^2 \cdot T] \cdot R \quad (9.68)$$

trong đó  $k'_{pt}$  là hệ số phụ tải phản kháng,

$I_1, I_2$  là dòng điện phản kháng cực đại.

Có thể viết:

$$\text{Giảm } \Delta A = 3RI_1^2cx [(2-x)k'_{pt} + x\lambda k'_{pt} - c].T \quad (9.69)$$

trong đó:

$$I_C = c \cdot I_1 \quad I_2 = \lambda I_1 \quad (\lambda < 1) \quad (9.70)$$

$$c = \frac{\text{kVar tụ bù}}{\text{tổng kVar phụ tải}} = \frac{I_C}{I_1} \quad (9.71)$$

$$\lambda = \frac{Q_{\text{phụ tải tập trung ở cuối}}}{Q_{\text{phụ tải phân bố}} + Q_{\text{phụ tải tập trung ở cuối}}} = \frac{\text{dòng phản kháng ở cuối}}{\text{dòng phản kháng ở đầu đoạn}} = \frac{I_2}{I_1} \quad (9.72)$$

T: thời gian đóng tụ cố định

x: vị trí đặt tụ

Vị trí đặt tụ tối ưu nhằm giảm tổn thất điện năng nhiều nhất có được bằng cách lấy đạo hàm bậc nhất của Giảm  $\Delta A$  theo x và cho bằng không:

$$\frac{\partial(\text{Giảm } \Delta A)}{\partial x} = 0 \Leftrightarrow 2k'_{pt}(\lambda - 1)x + 2k'_{pt} - c = 0 \quad (9.73)$$

$$\text{và } \frac{\partial^2(\text{Giảm } \Delta A)}{\partial x^2} = -2k'_{pt}(1 - \lambda) < 0 \quad (9.74)$$

Suy ra vị trí đặt tụ tối ưu  $x_{opt}$ :

$$x_{opt} = \frac{1}{1 - \lambda} - \frac{c}{2(1 - \lambda)k'_{pt}} \quad (9.75)$$

Tương tự, công suất tối ưu của tụ bù (hay hệ số bù c) tìm được như sau:

$$\frac{\partial(\text{Giảm } \Delta A)}{\partial c} = 0 \Leftrightarrow x[(2-x)k'_{pt} + x\lambda k'_{pt} - c] - cx = 0 \quad (9.76)$$

$$\Leftrightarrow 2xk'_{pt} - x^2k'_{pt} + x^2\lambda k'_{pt} - 2cx = 0 \quad (9.77)$$

$$\Leftrightarrow 2c = k'_{pt}(2-x+\lambda x) = k'_{pt}[2-(1-\lambda)x] \quad (9.78)$$

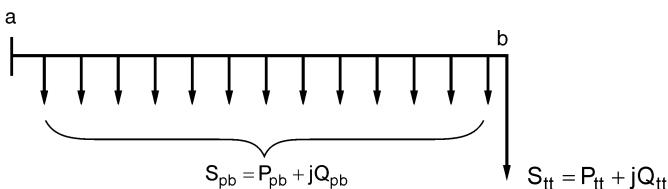
thay  $x = x_{opt} = \frac{1}{1 - \lambda} - \frac{c}{2(1 - \lambda)k'_{pt}}$  có được:

$$c = \frac{1}{2}k'_{pt}\left(2 - 1 + \frac{c}{2k'_{pt}}\right) \quad (9.79)$$

$$c = \frac{2}{3}k'_{pt} \quad (9.80)$$

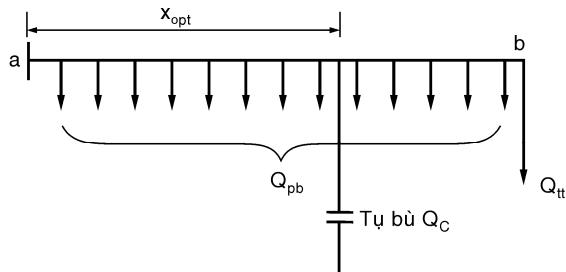
và  $x_{opt} = \frac{1}{1 - \lambda} - \frac{\frac{2}{3}k'_{pt}}{2(1 - \lambda)k'_{pt}} = \frac{2}{3(1 - \lambda)}$  (9.81)

Tóm lại, xét một đoạn đường dây phân phối H.9.23:



**Hình 9.23**

Phụ tải phản kháng tương ứng ở H.9.24:



**Hình 9.24**

Giả thiết phụ tải  $Q_{pb}$  và  $Q_{tt}$  có cùng hệ số phụ tải  $k'_{pt}$ .

- Tính:

$$\lambda = \frac{Q_{tt}}{Q_{pb} + Q_{tt}} \quad (9.82)$$

- Vị trí đặt tụ tối ưu:

$$x_{opt} = \frac{2}{3(1-\lambda)} \quad (9.83)$$

[nếu  $\lambda > 1/3$ , cho  $x_{opt} = 1$  và chỉ xét:

$$\frac{\partial(\text{giảm } \Delta A)}{\partial c} = 0 \quad \text{với } x = 1 \quad (9.84)$$

$$\text{khi đó } 2c = k'_{pt}(1 + \lambda) \quad \text{suy ra } c = \frac{k'_{pt}(1+\lambda)}{2} \quad ] \quad (9.85)$$

- Hệ số bù:

$$c = \frac{2}{3}k'_{pt} \quad (9.86)$$

- Công suất tụ bù:

$$Q_C = \frac{2}{3}k'_{pt}(Q_{tt} + Q_{pb}) = \frac{2}{3}Q_{\text{trung bình}} \quad (9.87)$$

- Giảm tổn thất điện năng trên đoạn:

$$\text{Giảm } \Delta A = 3RI_1^2cx_{opt} [(2-x_{opt})k'_{pt} + x_{opt}\lambda k'_{pt} - c].T \quad (9.88)$$

- Các trường hợp riêng:

\* Chỉ có phụ tải phân bố:  $\lambda = 0$

$$- Vị trí đặt tụ bù tối ưu: x_{opt} = \frac{2}{3} \quad (9.89)$$

$$- Hệ số bù: c = \frac{2}{3}k'_{pt} \quad (9.90)$$

$$\text{Công suất tụ bù: } Q_C = \frac{2}{3}k'_{pt}Q_{pb} \quad (9.91)$$

\* Chỉ có phụ tải tập trung ở cuối:  $\lambda = 1$

$$- Vị trí đặt tụ: x = 1 \quad (9.92)$$

- Hệ số bù:

Từ  $\frac{\partial(\text{Giảm}\Delta A)}{\partial c} \Big|_{x=1} = 0$  có được  $c = k'_{pt}$  (9.93)

- Công suất tụ bù:  $Q_C = k'_{pt} \cdot Q_{tt}$  (9.94)

#### 9.12.4 Giảm tổn thất điện năng có xét chi phí đặt tụ bù

Xét một đoạn đường dây có đặt một vị trí tụ bù. Tổng tiền tiết kiệm được sau khi đặt tụ bù (chẳng hạn trong một năm):

$\Sigma \$$  = tiết kiệm do giảm tổn thất điện năng trong một năm

+ tiết kiệm chi phí vận hành trong một năm của nguồn phát để bù vào tổn thất công suất tính theo phần trăm tiền đầu tư nguồn phát

- Chi phí vận hành hàng năm của tụ bù tính theo phần trăm tiền đầu tư của tụ bù

$$\begin{aligned} &= 3RI_1^2 cx[(2-x)k'_{pt} + x\lambda k'_{pt} - c] \cdot T \cdot K_1 \\ &\quad + 3RI_1^2 cx[(2-x) + x\lambda - c] \cdot K_2 \\ &\quad - c \cdot Q_{max\Sigma} \cdot K_3 \end{aligned} \quad (9.95)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{RQ_{max}^2}{U^2} cx \left[ (2-x)k'_{pt} + x\lambda k'_{pt} - c \right] \cdot T \cdot K_1 \\ &\quad + \frac{RQ_{max}^2}{U^2} cx \left[ (2-x) + x\lambda - c \right] \cdot K_2 \\ &\quad - c Q_{max} \cdot K_3 \end{aligned} \quad (9.96)$$

Xác định vị trí tối ưu đặt tụ bù bằng cách lấy đạo hàm bậc nhất và cho bằng không:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Sigma \$)}{\partial x} &= \frac{RQ_{max}^2}{U^2} T \cdot K_1 \left[ 2k'_{pt}(\lambda-1)x + 2k'_{pt} - c \right] + \frac{RQ_{max}^2}{U^2} K_2 [2(\lambda-1)x + 2 - c] = 0 \\ \Leftrightarrow 2(1-\lambda)x \cdot [TK_1 \cdot k'_{pt} + K_2] &= 2 [TK_1 \cdot k'_{pt} + K_2] - c [TK_1 + K_2] \end{aligned} \quad (9.97)$$

Suy ra vị trí đặt tụ:

$$x = \frac{1}{1-\lambda} - \frac{c[TK_1 + K_2]}{2(1-\lambda)[TK_1 k'_{pt} + K_2]} \quad (9.98)$$

Tương tự công suất tối ưu của tụ bù (hệ số bù c) cho bởi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Sigma \$)}{\partial c} &= \frac{RQ_{max}^2}{U^2} TK_1 \left\{ x \left[ (2-x)k'_{pt} + x\lambda k'_{pt} - c \right] - cx \right\} \\ &\quad + \frac{RQ_{max}^2}{U^2} K_2 \left\{ x \left[ (2-x) + x\lambda - c \right] - cx \right\} - K_3 Q_{max} = 0 \end{aligned} \quad (9.99)$$

$$\Leftrightarrow \frac{RQ_{max}}{U^2} \left[ (-TK_1 k'_{pt} + TK_1 \lambda k'_{pt} - K_2 + K_2 \lambda) \cdot x^2 + 2(TK_1 k'_{pt} - TK_1 c + K_2 - K_2 c) \cdot x \right] - K_3 = 0 \quad \text{đơn}$$

vị:  $U$  – kV,  $Q_{max}$  – kVar,  $R$  – ohm,  $K_1$  –  $\$/\text{kWh}$ : tiền điện,  $K_2$  –  $\$/\text{kW}$ : chi phí vận hành hàng năm 1 kW công suất nguồn phát.

$K_3$  –  $\$/\text{kVar}$ : chi phí vận hành hàng năm 1 kVar công suất tụ bù.

Lưu ý nhân thêm  $\frac{RQ_{max}}{U^2}$  cho  $10^{-3}$  để phù hợp đơn vị. (9.100)

Giải đồng thời hai phương trình (9.98) và (9.100) để tìm  $x$  và  $c$ . Trình tự giải như sau:

- Phương trình (9.98):

Đặt:

$$A = \frac{1}{1-\lambda}$$

$$B = \frac{TK_1 + K_2}{2(1-\lambda)[TK_1 k'_{pt} + K_2]}$$

Phương trình (9.98) có dạng  $x = A - B.c$  (9.101)

- Phương trình (9.100)):

Đặt:

$$C = -TK_1 k'_{pt} + TK_1 \lambda k'_{pt} - K_2 + K_2 \lambda$$

$$D = TK_1 k'_{pt} + K_2$$

$$E = TK_1 + K_2$$

$$F = \frac{K_3 U^2 \cdot 10^3}{R \cdot Q_{max}}$$

(9.100) có dạng:

$$Cx^2 + 2(D-E.c)x - F = 0 \quad (9.102)$$

Thay (9.101) vào (9.102) có được:

$$C(A-Bc)^2 + 2(D-Ec)(A-Bc) - F = 0$$

$$C(A^2 - 2ABC + B^2c^2) + 2[AD - (AE + BD)c + EBc^2] - F = 0$$

Sắp xếp lại thành phương trình bậc hai theo c:

$$(B^2C + 2EB)c^2 - 2(ABC + AE + BD)c + (A^2C + 2AD - F) = 0$$

hay

$$c^2 - 2Gc + H = 0$$

với

$$G = \frac{ABC + AE + BD}{B^2C + 2EB} \quad H = \frac{A^2C + 2AD - F}{B^2C + 2EB}$$

Giải phương trình bậc hai:

$$\Delta' = G^2 - H$$

ta có hai nghiệm:  $c_1 = G - \sqrt{\Delta'}$  và  $c_2 = G + \sqrt{\Delta'}$

Chọn nghiệm c thỏa mãn điều kiện  $0 < c < 1$

Có c thay vào (9.101) để có x.

Trường hợp  $c < 0$  có nghĩa là không cần bù

Trường hợp  $c > 1$  có thể chọn  $c = 1$  và tính kiểm lại  $\cos\varphi$  đầu đoạn đường dây không vượt quá 0,95.

\* Nếu giải  $x > 1$  thì chọn lại  $x = 1$  (tự đặt ở cuối đoạn) và tìm c từ  $\frac{\partial(\Sigma\$)}{\partial c} = 0$  với  $x = 1$  có

được:

$$\frac{\partial(\Sigma\$)}{\partial c} = \frac{RQ_{max} \cdot 10^{-3}}{U^2} [(-TK_1 k'_{pt} + TK_1 k'_{pt} \lambda - K_2 + K_2 \lambda) + 2(TK_1 k'_{pt} - TK_1 c + K_2 - K_2 c)] - K_3 = 0$$

hay

$$\frac{RQ_{max} \cdot 10^{-3}}{U^2} \cdot 2 \cdot (TK_1 + K_2) \cdot c = \frac{RQ_{max} \cdot 10^{-3}}{U^2} (-TK_1 k'_{pt} + TK_1 \lambda k'_{pt} - K_2 + K_2 \lambda + 2TK_1 k'_{pt} + 2K_2) - K_3$$

Suy ra:

$$c = \frac{(TK_1 k_{pt} + K_2)(1+\lambda)}{2(TK_1 + K_2)} - \frac{K_3 \cdot U^2 \cdot 10^3}{2(TK_1 + K_2) \cdot RQ_{max}} \quad (9.103)$$

\* Nếu  $\lambda = 1$  (chỉ có phụ tải tập trung), tụ đặt ở cuối đoạn thì cho  $\lambda = 1$  vào biểu thức (9.103) vừa tính được:

$$c = \frac{TK_1 k_{pt} + K_2}{TK_1 + K_2} - \frac{K_3 \cdot U^2 \cdot 10^3}{2(TK_1 + K_2) \cdot RQ_{max}} \quad (9.104)$$

**Ví dụ 9.6:** Một phát tuyến phân phối 22 kV, dây AC-120 có  $r_0 = 0,27 \Omega/km$ , dài 10 km. Phụ tải phân bố đều trên suốt đường dây có tổng công suất 8000 kVA ở  $\cos\varphi = 0,8$ . Phụ tải tập trung ở cuối đường dây có công suất 3000 kVA ở  $\cos\varphi = 0,8$ . Hệ số phụ tải phản kháng  $k_{pt} = 0,7$ . Hãy xác định công suất và vị trí đặt tụ bù nhằm giảm tổn thất điện năng.

Cho biết thời gian đóng tụ  $T = 8760$  giờ/năm, tiền điện năng 0,05 \$/kWh, tiền một kW công suất nguồn phát để bù vào tổn thất 300 \$/kW, tiền một kVAr tụ bù 5\$/kVAr. Chi phí hàng năm cho nguồn phát và tụ điện bằng 10% tiền đầu tư.

### Giải

Công suất kháng phụ tải tập trung:

$$Q_{tt} = 3000 \cdot 0,6 = 1800 \text{ kVAr}$$

Công suất kháng phụ tải phân bố:

$$Q_{pb} = 8000 \cdot 0,6 = 4800 \text{ kVAr}$$

Tổng công suất kháng đầu phát tuyến:

$$Q_{max\Sigma} = Q_{tt} + Q_{pb} = 1800 + 4800 = 6600 \text{ kVAr}$$

Suy ra:  $\lambda = \frac{Q_{tt}}{Q_{pb} + Q_{tt}} = \frac{1800}{6600} = 0,2727$

Các chi phí:  $K_1 = 0,05 \text{ $/kWh}$  ;  $K_2 = 0,1 \cdot 300 = 30 \text{ $/kW/năm}$

$$K_3 = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ $/kVAr/năm}$$

Điện trở toàn đường dây:

$$R = 0,27 \cdot 10 = 2,7 \Omega$$

Dùng các phương trình từ (9.100) đến (9.103) có được:

$$A = 1,38 ; B = 0,96 ; C = -244,8 ; D = 336,6 ;$$

$$E = 468 ; F = 13,58 ; G = 0,96 ; H = 0,67$$

Giải được  $c_1 = 0,459$  ;  $c_2 = 1,459$

Chọn  $c = c_1 = 0,459$

Vị trí đặt tụ:

$$x = 0,946 \text{ hay } x = 0,946 \cdot 10 = 9,46 \text{ km}$$

Công suất tụ bù:

$$Q_C = c \cdot Q_{max\Sigma} = 0,459 \cdot 6600 = 3029,4 \text{ kVAr.}$$

## 9.13 PHÂN BỐ DUNG LƯỢNG BÙ TRONG MẠNG ĐIỆN XÍ NGHIỆP

Trong mạng điện xí nghiệp, yêu cầu phải nâng cao hệ số công suất của đường dây cung cấp nhằm giảm tổn thất công suất và điện năng từ  $\cos\varphi_1$  lên  $\cos\varphi_2$ . Hệ số công suất  $\cos\varphi_2$

thường lấy bằng hệ số công suất do công ty điện lực qui định thường trong khoảng từ 0,8 đến 0,95. Dung lượng bù được xác định theo công thức:

$$Q_{bù,\Sigma} = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \text{ kVAr} \quad (9.105)$$

trong đó  $P$  – kW, là công suất tính toán của toàn xí nghiệp.

Sau khi tính toán dung lượng bù, vấn đề là bố trí thiết bị bù trong mạng điện sao cho hiệu quả nhất. Tụ điện có thể đặt trong mạng điện áp cao (trung áp) hay trong mạng điện áp thấp (hạ áp).

- Tụ điện điện áp cao (10, 15, 22 kV) đặt tập trung ở thanh cái của trạm biến áp trung gian hoặc trạm biến áp phân phối hay trạm biến áp phân xuổng. Việc đặt tập trung có ưu điểm là dễ vận hành, thuận tiện trong tự động hóa điều khiển, tận dụng hết khả năng của thiết bị bù nhưng có nhược điểm là không bù được công suất phản kháng ở mạng điện áp thấp và do đó không giảm được tổn thất công suất và tổn thất điện áp trong mạng điện áp thấp.

- Tụ điện điện áp thấp (0,4 kV) có thể đặt theo ba cách: đặt tập trung tại thanh cái điện áp thấp của trạm biến áp phân xuổng, đặt thành nhóm ở tủ phân phối động lực hay đặt phân tán đến từng thiết bị điện.

Đặt phân tán đến từng thiết bị điện có lợi nhất về giảm tổn thất điện năng nhưng khi thiết bị nghỉ làm việc thì tụ điện cũng nghỉ theo nên hiệu quả sử dụng không cao, khó quản lý.

Đặt tụ điện thành nhóm ở tủ phân phối động lực được dùng nhiều hơn vì hiệu suất sử dụng cao, giảm được tổn thất trong cả mạng điện áp cao lẫn điện áp thấp. Nhược điểm là khó theo dõi trong vận hành cũng như thực hiện tự động hóa điều chỉnh dung lượng bù.

Đặt tập trung ở thanh cái điện áp thấp của trạm biến áp phân xuổng có ưu điểm là giảm được tổn thất qua máy biến áp, thích hợp khi dung lượng bù khá lớn và dễ thực hiện tự động điều chỉnh dung lượng bù để ổn định điện áp. Nhược điểm của phương pháp này là không giảm được tổn thất trong mạng điện áp thấp.

Phân phối dung lượng bù trong mạng hình tia khi biết tổng dung lượng bù.

Bài toán đặt ra là, trong một mạng điện hình tia có  $n$  nhánh (H.9.25), tổng dung lượng cần bù là  $Q_{bù,\Sigma}$ , hãy phân phối dung lượng bù tổng đến các phụ tải trên các nhánh sao cho tổn thất công suất tác dụng trong mạng là ít nhất.

Gọi  $Q_{bù1}, Q_{bù2}, \dots, Q_{bùn}$  là công suất kháng cần bù,  $r_1, r_2, \dots, r_n$  là điện trở của các nhánh tia. Tổn thất công suất tác dụng do công suất phản kháng gây ra được tính như sau:

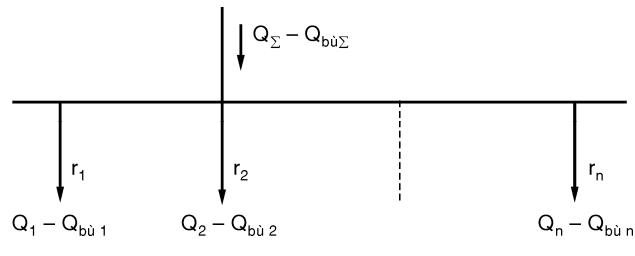
$$\Delta P = \frac{(Q_1 - Q_{bù1})^2}{U^2} r_1 + \frac{(Q_2 - Q_{bù2})^2}{U^2} r_2 + \dots + \frac{(Q_n - Q_{bùn})^2}{U^2} r_n = f(Q_{bù1}, Q_{bù2}, \dots, Q_{bùn}) \quad (9.106)$$

Cực tiểu hàm  $f$  với điều kiện ràng buộc:

$$\varphi(Q_{bù1}, Q_{bù2}, \dots, Q_{bùn}) = Q_{bù1} + Q_{bù2} + \dots + Q_{bùn} - Q_{bù\Sigma} = 0 \quad (9.107)$$

Để tìm cực tiểu của hàm  $f$  có thể dùng phương pháp thừa số Lagrange gọi là  $\lambda$  với hàm mục tiêu:

$$F = f(Q_{bù1}, Q_{bù2}, \dots, Q_{bùn}) + \lambda \varphi(Q_{bù1}, Q_{bù2}, \dots, Q_{bùn}) \quad (9.108)$$



Điều kiện để  $\Delta P$  cực tiểu thỏa điều kiện ràng buộc là các đạo hàm riêng của  $F$  theo  $Q_{bù,I}$  phải bằng không:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial Q_{bu1}} = -\frac{2(Q_1 - Q_{bu1}) \cdot r_1}{U^2} + \lambda = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial Q_{bu2}} = -\frac{2(Q_2 - Q_{bu2}) \cdot r_2}{U^2} + \lambda = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial Q_{bu,n}} = -\frac{2(Q_n - Q_{bu,n}) \cdot r_n}{U^2} + \lambda = 0 \end{array} \right\} \quad (9.109)$$

Giải hệ phương trình có được:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\lambda}{r_1} = \frac{2(Q_1 - Q_{bu1})}{U^2} \\ \frac{\lambda}{r_2} = \frac{2(Q_2 - Q_{bu2})}{U^2} \\ \dots \\ \frac{\lambda}{r_n} = \frac{2(Q_n - Q_{bu,n})}{U^2} \end{array} \right\} \quad (9.110)$$

Cộng phương trình (9.110) vế với vế:

$$\begin{aligned} \lambda \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right) &= \frac{2}{U^2} \left[ (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) - (Q_{b1} + Q_{b2} + \dots + Q_{bn}) \right] \\ &= \frac{2}{U^2} (Q_\Sigma - Q_{b\Sigma}) \end{aligned} \quad (9.111)$$

$$\text{Suy ra: } \lambda = \frac{2}{I^2} (Q_{\Sigma} - Q_{bu\Sigma}) \cdot R_{td} \quad (9.112)$$

trong đó:  $Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$ : tổng công suất kháng của phu tải

## O<sub>bù</sub> $\Sigma$ : tổng dung lượng bù

$$R_{td} = \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right)^{-1} : \text{điện trở tương đương của } n \text{ nhánh hình tam giác}$$

Thay (9.112) vào (9.109) có được:

$$\left. \begin{array}{l} Q_{b_1} = Q_1 - \frac{(Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})}{r_1} R_{td} \\ Q_{b_2} = Q_2 - \frac{(Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})}{r_2} R_{td} \\ \dots \\ Q_{b_n} = Q_n - \frac{(Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})}{r_n} R_{td} \end{array} \right\} \quad (9.113)$$

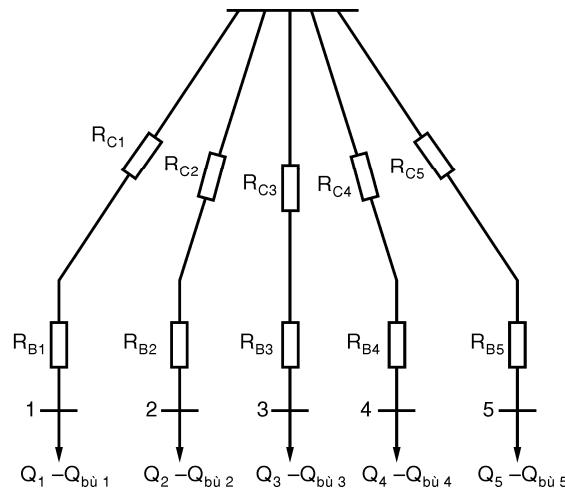
**Ví dụ 9.7:** Cho mạng điện xí nghiệp 10 kV cung cấp cho năm phân xưởng có sơ đồ thay thế hình tia H.9.26. Mỗi phụ tải được cung cấp từ trạm phân phối trung tâm qua đường cáp và trạm biến áp phân xưởng 10/0,4 kV.

Phụ tải tính toán các phân xưởng và điện trở của máy biến áp phân xưởng cho trong bảng:

Tên trạm	Phụ tải phân xưởng, $S_{tt}$ (kVA)	$R_B$ (Ω)
$B_1$	$600 + j400$	1,5
$B_2$	$450 + j600$	1,5
$B_3$	$500 + j500$	1,5
$B_4$	$400 + j300$	3
$B_5$	$300 + j300$	3

Điện trở đường cáp và điện trở tổng của một nhánh tia cho trong bảng:

Nhánh	$R_B$ (Ω)	$R_C$ (Ω)	$R = R_B + R_C$
1	1,5	0,0368	1,5368
2	1,5	0,0515	1,5515
3	1,5	0,0735	1,5735
4	3	0,0588	3,0588
5	3	0,0882	3,0882



Hình 9.26

Hãy xác định dung lượng cần bù tại các thanh cái của trạm biến áp phân xưởng để nâng  $\cos\phi$  của xí nghiệp lên 0,95.

### Giải

Công suất tính toán và  $\cos\phi$  của toàn xí nghiệp:

$$S_{tt} = 2250 + j2100 \text{ kVA}$$

$$\cos\phi_1 = \frac{2250}{\sqrt{2250^2 + 2100^2}} = 0,73$$

Để nâng cao hệ số công suất từ  $\cos\phi_1 = 0,73$  lên  $\cos\phi_2 = 0,95$ , tổng công suất kháng cần bù:

$$Q_{bù\Sigma} = P_{tt}(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) = 2250(0,935 - 0,33) = 1350 \text{ kVAr}$$

Điện trở tương đương toàn mạng:

$$R_{\text{td}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}} = 0,389 \Omega$$

Áp dụng công thức (9.113) xác định dung lượng bù tại các thanh cái trạm biến áp phân xuổng:

$$Q_{bù1} = 400 - (2100 - 1350) \frac{0,389}{1,5368} = 210 \text{ kVAr}$$

$$Q_{bù2} = 600 - (2100 - 1350) \frac{0,389}{1,5515} = 412 \text{ kVAr}$$

$$Q_{bù3} = 500 - (2100 - 1350) \frac{0,389}{1,5735} = 315 \text{ kVAr}$$

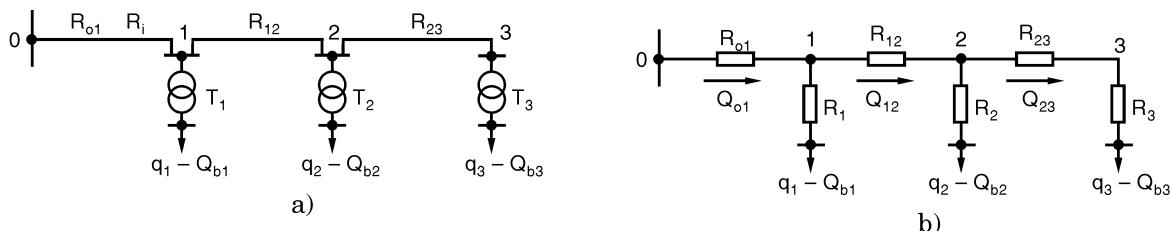
$$Q_{bù4} = 300 - (2100 - 1350) \frac{0,389}{3,0588} = 206 \text{ kVAr}$$

$$Q_{bù5} = 300 - (2100 - 1350) \frac{0,389}{3,0882} = 207 \text{ kVAr}$$

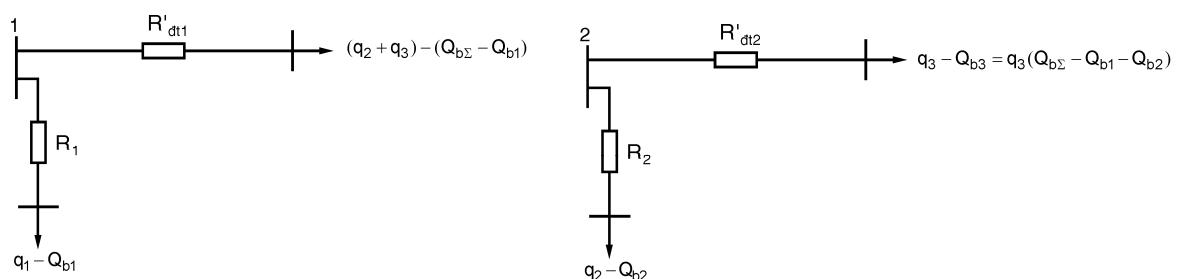
Kiểm tra lại  $Q_{bù1} + Q_{bù2} + Q_{bù3} + Q_{bù4} + Q_{bù5} = Q_{bù\Sigma} = 1350 \text{ kVAr}$

*Phân phối dung lượng bù trong mạng hình tia liên thông khi biết tổng dung lượng cần bù*

Giả thiết có mạng hình tia liên thông gồm ba phụ tải như trong H.9.27. Tổng dung lượng cần bù là  $Q_{bù\Sigma}$  và được phân bổ đến các phụ tải sao cho tổn thất công suất trong mạng là ít nhất.



Hình 9.27



Hình 9.28

Hình 9.29

Vì tổn thất trên đoạn  $R_{01}$  không đổi đối với mọi phương án đặt thiết bị bù nên có thể vẽ sơ đồ thay thế H.9.28 bắt đầu từ nút 1 với giả thiết điện áp tại các nút phụ tải bằng  $U_{dm}$  (đẳng thế) với  $R'_{dt1} = [(R_{23} + R_3) // R_2] + R_{12}$  (9.114)

Áp dụng công thức tính dung lượng bù cho mạng hình tia có được:

$$Q_{b1} = q_1 - \frac{[(q_1 + q_2 + q_3) - Q_{b\Sigma}]R_{dt1}}{R_1} \quad (9.115)$$

trong đó:  $R_{dt1} = R'_{dt1} // R_1$

Sau khi tính dung lượng bù cho phụ tải 1 thì tổn thất công suất trên đoạn 12 không phụ thuộc vào các phương án phân bố dung lượng bù tổng ( $Q_{b\Sigma} - Q_{b1}$ ) cho các phụ tải 2 và 3 và tương tự cũng có sơ đồ thay thế hình tia bắt đầu từ nút 2 (H.9.29).

Áp dụng công thức tính dung lượng bù cho mạng hình tia có được:

$$Q_{b2} = q_2 - \frac{[(q_2 + q_3) - (Q_{b\Sigma} - Q_{b1})]R_{dt2}}{R_2} \quad (9.116)$$

trong đó  $R'_{dt2} = R_{23} + R_3$ ,  $R_{dt2} = R'_{dt2} // R_2$

Cuối cùng:

$$Q_{b3} = q_3 - \frac{[(q_2 + q_3) - (Q_{b\Sigma} - Q_{b1})]R_{dt2}}{R'_{dt2}} = Q_{b\Sigma} - (Q_{b1} + Q_{b2}) \quad (9.117)$$

## 9.14 PHÂN BỐ KINH TẾ CÔNG SUẤT TRONG MẠNG ĐIỆN KÍN

Giả sử một mạng điện kín như trên H.9.30. Công suất phân bố tự nhiên trên các đoạn 1 và 3 cho bởi:

$$S_1^* = \frac{\dot{S}_b(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) + \dot{S}_c \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} \quad (9.118)$$

và:

$$S_3^* = \frac{\dot{S}_c(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2) + \dot{S}_b \bar{Z}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} \quad (\text{dấu } * \text{ chỉ số phức liên hiệp}) \quad (9.119)$$

Với mạng điện không đồng nhất (tỷ số  $r_0/x_0$  khác nhau trên mỗi đoạn đường dây) thì sự phân bố công suất tự nhiên khác với sự phân bố công suất kinh tế. Phân bố công suất kinh tế ứng với tổn thất công suất tác dụng trong mạng là ít nhất. Tổn thất công suất tác dụng trong mạng điện cho bởi:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{S_1^2}{U^2} R_1 + \frac{S_2^2}{U^2} R_2 + \frac{S_3^2}{U^2} R_3 \\ \Delta P &= \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} R_1 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} R_2 + \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U^2} R_3 \end{aligned}$$

Thay:

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 - p_b ; & Q_2 &= Q_1 - q_b \\ P_3 &= -(P_1 - p_b - p_c) ; & Q_3 &= -(Q_1 - q_b - q_c) \end{aligned}$$

vào biểu thức của  $\Delta P$

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} R_1 + \frac{(P_1 - p_b)^2 + (Q_1 - q_b)^2}{U^2} R_2 + \frac{(P_1 - p_b - p_c)^2 + (Q_1 - q_b - q_c)^2}{U^2} R_3$$

Tổn thất công suất tác dụng trong mạng ít nhất khi:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_1} = \frac{2P_1}{U^2} R_1 + \frac{2(P_1 - p_b)}{U^2} R_2 + \frac{2(P_1 - p_b - p_c)}{U^2} R_3 = 0$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1} = \frac{2Q_1}{U^2} R_1 + \frac{2(Q_1 - q_b)}{U^2} R_2 + \frac{2(Q_1 - q_b - q_c)}{U^2} R_3 = 0$$

Giải hệ phương trình này có được:

$$P_{1,kte} = \frac{p_b(R_2 + R_3) + p_c R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (9.120)$$

$$Q_{1,kte} = \frac{q_b(R_2 + R_3) + q_c R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (9.121)$$

và:

$$S_{1,kte} = P_{1,kte} + jQ_{1,kte}$$

Đó là điều kiện phân bố kinh tế công suất trong mạng điện. Nếu tổng trở đường dây là thuần điện trở hay mạng điện đồng nhất (tỷ số  $r_0/x_0$  giống nhau trên các đoạn đường dây) thì phân bố công suất tự nhiên sẽ trùng với phân bố công suất kinh tế.

Đối với mạng điện không đồng nhất để có thể chuyển phân bố tự nhiên về phân bố kinh tế thì trên mạch vòng kín phải đặt thêm sức điện động phụ để tạo ra dòng công suất cân bằng  $S_{cb}$  chạy luân lưu trên mạch vòng kín

$$S_{cb} = S_{1,kte} - S_1 \quad (9.122)$$

Nếu tổng trở mạch vòng kín là

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = R + jX$$

thì để tạo ra dòng công suất cân bằng cần phải có một sức điện động bằng:

$$e_{cb} = \frac{\dot{S}_{cb}^* \bar{Z}}{U_{dm}} = \frac{(P_{cb} - jQ_{cb})(R + jX)}{U_{dm}} = e_{cb}^* \pm j e_{cb}'' \quad (\text{tính theo điện áp dây}) \quad (9.123)$$

trong đó  $e_{cb}^*$  là thành phần cùng pha với điện áp gọi là sức điện động dọc.

$$e_{cb}^* = \frac{P_{cb}R + Q_{cb}X}{U_{dm}} \quad (9.124)$$

$e_{cb}''$  là thành phần lệch pha với điện áp của mạng điện một góc  $+90^\circ$  hay  $-90^\circ$  gọi là sức điện động ngang.

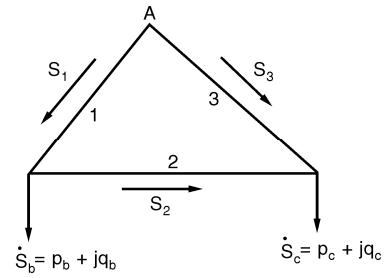
$$e_{cb}'' = \frac{P_{cb}X - Q_{cb}R}{U_{dm}} \quad (9.125)$$

Mặt khác, có thể viết dòng điện cân bằng như sau:

$$I_{cb} = \frac{e_{cb}}{\sqrt{3}\bar{Z}} = \frac{e_{cb}^* \pm j e_{cb}''}{\sqrt{3}\bar{Z}} \quad (9.126)$$

Đối với đường dây tải điện cao áp, dây dẫn có tiết diện lớn, thường  $R$  nhỏ hơn nhiều so với  $X$ , do đó có thể viết gần đúng như sau:

$$I_{cb} = \frac{e_{cb}^* \pm j e_{cb}''}{\sqrt{3} \cdot jX} \quad (9.127)$$



**Hình 9.30:** Phân bố công suất trong mạng điện kín

Biểu thức (9.127) cho thấy đối với mạng điện kín và khi  $R \ll X$  thì thành phần  $e'_{cb}$  chủ yếu dùng để phân bố lại công suất phản kháng và thành phần  $e''_{cb}$  chủ yếu dùng để phân bổ lại công suất tác dụng tải trên đường dây.

Sức điện động phụ  $e'_{cb}$  có thể được tạo ra nhờ sự không cân bằng các tỷ số biến áp trên mạch vòng kín và thay đổi các tỷ số biến áp bằng máy điều áp dưới tải. Để đảm bảo tính kinh tế, chọn máy biến áp nào có công suất nhỏ trong mạch vòng kín làm máy biến áp điều áp dưới tải.

Xét mạch vòng kín H.9.31. Máy biến áp  $B_1$  có tỷ số biến áp  $k_1 = \frac{U_{pa,b}}{U_{kt,c}}$ , trong đó  $U_{pa,b}$  là điện áp của đầu phân áp ở phía thanh cái b,  $U_{kt,c}$  là điện áp lúc không tải của máy biến áp  $B_1$ . Tương tự, máy biến áp  $B_2$  có tỷ số biến áp  $k_2 = \frac{U_{pa,a}}{U_{kt,d}}$ .

Khi cân bằng, tích số các tỷ số biến đổi tính theo chiều đi vòng mạch vòng kín phải bằng 1, nghĩa là theo mạch vòng abcd刎:

$$k_1 \cdot \left( \frac{1}{k_2} \right) = 1 \quad (9.128)$$

Nếu thay đổi đầu phân áp sao cho tích số này nhỏ hơn 1 thì sẽ tạo ra sức điện động  $e'_{cb}$ :

$$e'_{cb} = U_{dm} \left( 1 - \frac{k_1}{k_2} \right) \quad (9.129)$$

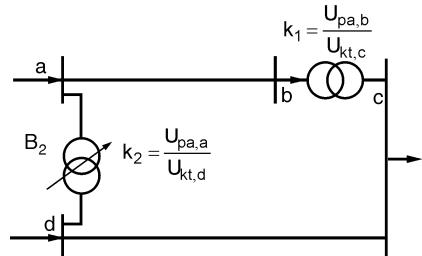
và sức điện động này sẽ tạo dòng công suất kháng cân bằng luân lưu trong mạch vòng kín theo chiều abcda. Lý luận tương tự nếu thay đổi đầu phân áp sao cho tích số các tỷ số biến đổi tính theo chiều abcda lớn hơn 1 thì sẽ có dòng công suất kháng luân lưu theo chiều adcba ngược lại.

Máy biến áp được thiết kế đặc biệt để điều chỉnh trị số và góc pha điện áp với trị số biến thiên nhỏ gọi là máy biến áp điều chỉnh (còn gọi là máy biến áp bổ trợ để tạo ra các sức điện động dọc và ngang. Hình 9.32 là sơ đồ một máy biến áp điều chỉnh trị số điện áp dùng để điều khiển trị số (độ lớn) điện áp bằng cách thêm vào một điện áp tăng cùng pha với điện áp pha trên đường dây.

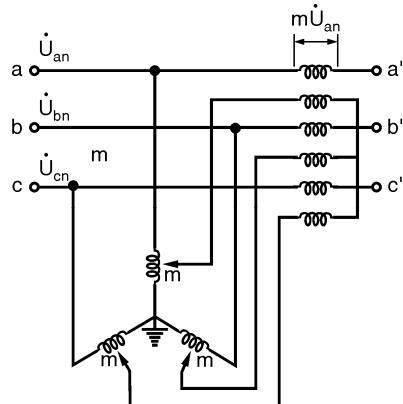
$$\dot{U}_{an}^{\square} = (\dot{U}_{an} + m \dot{U}_{an}) = (1+m) \dot{U}_{an}^{\square} = \alpha \dot{U}_{an}^{\square} = \dot{U}_{an}^{\square} + e'_{cb} \quad (\alpha \text{ là số thực}) \quad (9.130)$$

Hình 9.33. trình bày sơ đồ máy biến áp điều chỉnh cho phép dịch góc pha điện áp mà không làm thay đổi đáng kể trị số điện áp.

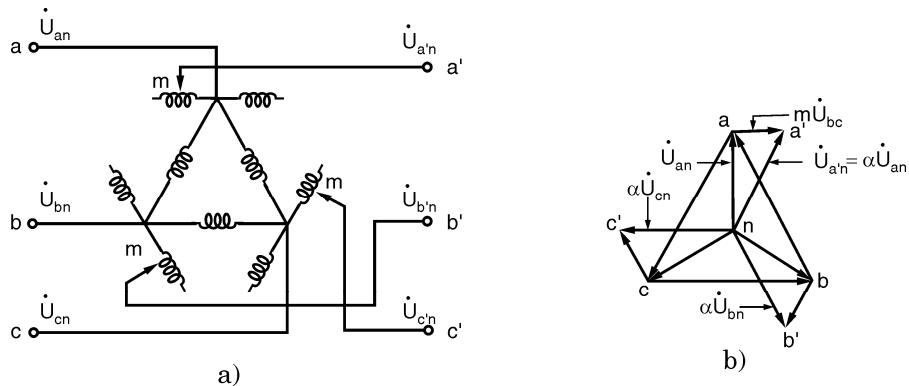
Sự điều khiển góc pha điện áp được thực hiện bằng cách thêm nối tiếp một điện áp lệch pha  $\pm 90^\circ$  vào điện áp pha tương ứng của đường dây như giải thích trong H.9.33b. Ở đây:



Hình 9.31



Hình 9.32: Máy biến áp điều chỉnh dùng điều khiển độ lớn điện áp



**Hình 9.33:** Máy biến áp điều chỉnh dùng để điều khiển góc pha điện áp

$$\dot{U}'_{an} = (\dot{U}_{an} + m \dot{U}_{bc}) = (1 - j\sqrt{3}m) \dot{U}_{an} = \alpha \dot{U}_{an} = \dot{U}_{an} + j e_{cb} \quad (\alpha \text{ là số phức}) \quad (9.131)$$

trong đó  $\alpha = (1 - j\sqrt{3}m) \approx 1 \angle -\arctg \sqrt{3}m$

Sự có mặt của máy biến áp điều chỉnh trên đường dây làm thay đổi ma trận  $Y_{bus}$  và do đó làm thay đổi lời giải phân bố công suất. Xét một đường dây nối giữa hai thanh cái có đặt máy biến áp điều chỉnh ở một đầu của đường dây, máy này có tỷ số biến áp  $\alpha$  khác định mức (H.9.34).



**Hình 9.34:** Đường dây với máy biến áp điều chỉnh và mạch điện biểu diễn

Máy điều chỉnh được biểu diễn bằng một máy biến áp lý tưởng bỏ qua tổng trở của nó, đường dây được thay bằng tổng dẫn  $\bar{y}$  nối tiếp.

Công suất phức đầu vào và ra máy biến áp lý tưởng bằng nhau:

$$\dot{S}_1 = \dot{U}_1 \dot{I}_1^* = \alpha \dot{U}_1 \dot{I}_1^*$$

hay:

$$\dot{I}_1 = \alpha^* \dot{I}_1'$$

Đối với đường dây truyền tải:

$$\dot{I}_1' = \bar{y}(\alpha \dot{U}_1 - \dot{U}_2)$$

$$\text{Suy ra: } \dot{I}_1 = \alpha^* \dot{I}_1' = |\alpha|^2 y \dot{U}_1 - \alpha^* \bar{Y} \dot{U}_2$$

và:

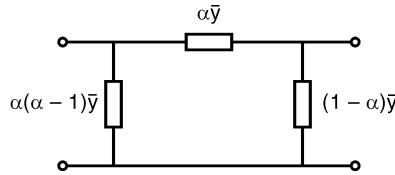
$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 = \bar{y}(\dot{U}_2 - \alpha \dot{U}_1) = -\alpha \bar{Y} \dot{U}_1 + \bar{y} \dot{U}_2$$

Ma trận  $Y_{bus}$  ứng với mạng điện có hai nút cho bởi:

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} |\alpha|^2 \bar{y} & -\alpha^* \bar{y} \\ -\alpha \bar{y} & \bar{y} \end{bmatrix} \quad (9.132)$$

Các phần tử của  $\bar{Y}_{bus}$  này dùng để bổ sung vào ma trận  $\bar{Y}_{bus}$  của toàn hệ thống.

Đối với máy biến áp điều chỉnh chỉ điều khiển độ lớn điện áp thì  $\alpha$  là số thực và có thể được biểu diễn bằng mạch tương đương hình  $\pi$  như trong H.9.35.



**Hình 9.35:** Mạch tương đương của máy biến áp điều chỉnh điều khiển độ lớn điện áp

**Ví dụ 9.8:** Hãy thành lập ma trận  $\bar{Y}_{bus}$  của phần mạng điện gồm hai nút trong H.9.32. Cho tổng dẫn nối tiếp của đường dây bằng  $(2 - j6)$  đvtđ và máy biến áp điều chỉnh được chỉnh định đầu phân áp sao cho:

- a)  $U_1/U' = 1,04$  hay  $\alpha = 1 / 1,04$
- b)  $U_1/U' = e^{j3^0}$  hay  $\alpha = 1 / e^{j3^0} = e^{-j3^0}$

**Giải**

- a) Máy biến áp chỉ điều chỉnh độ lớn điện áp

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ \frac{1}{(1,04)^2}(2-j6) & -\frac{1}{1,04}(2-j6) \\ -\frac{1}{1,04}(2-j6) & 2-j6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,849-j5,5473 & -1,923+5,7692 \\ -1,923+5,7692 & 2-j6 \end{bmatrix}$$

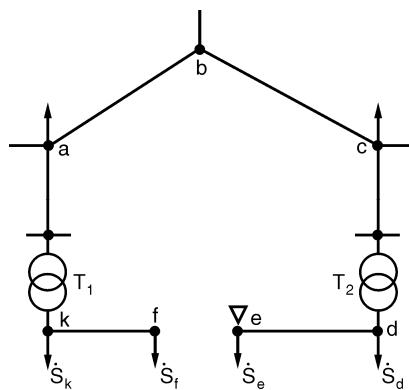
- b) Máy biến áp điều khiển dịch pha:

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ (2-j6) & -e^{j3^0}(2-j6) \\ -e^{-j3^0}(2-j6) & 2-j6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2-j6 & -2,3113+j5,8871 \\ -1,683+j6,0965 & 2-j6 \end{bmatrix}$$

Để ý ma trận này không đối xứng.

Việc đặt thêm máy biến áp điều chỉnh (máy biến áp bù trợ) để đi tới phân bù công suất kinh tế đòi hỏi phải thêm vốn đầu tư, cho nên cần phải tiến hành so sánh kinh tế. Việc đặt máy biến áp điều chỉnh nên chọn tại đoạn đường dây nào có công suất vận chuyển thấp nhất trong mạch vòng kín.

Nếu mạng điện có hai cấp điện áp mà việc sử dụng máy biến áp bổ trợ là không hợp lý thì có thể dùng phương pháp vận hành hở ở cấp điện áp thấp (H.9.36). Trước hết tính sự phân bố công suất kinh tế và tìm điểm phân công suất. Sau đó tại điểm phân công suất tách mạng kín thành hai mạng điện hở và phân chia phụ tải ở hai bên điểm hở ra bằng đúng các phân lượng tại điểm phân công suất. Các phụ tải  $S_k$ ,  $S_f$ ,  $S_e$ ,  $S_d$  có thể thay đổi theo đồ thị phụ tải nhưng phải giữ một tỷ lệ không đổi giữa chúng, nếu không điểm phân công suất sẽ dịch chuyển và việc chia cắt mạng điện tại một điểm cố định sẽ không hợp lý.



**Hình 9.36:** Vận hành hở mạng điện có hai cấp điện áp

## BÀI TẬP CHƯƠNG 9

**9.1.** Một trạm cung cấp cho các phụ tải có công suất:

- a) Thắp sáng, hệ số công suất bằng 1      100 kW
- b) Động cơ cảm ứng số 1 có hệ số công suất trung bình 0,9 trễ và hiệu suất trung bình 89%
- c) Động cơ cảm ứng số 2 có hệ số công suất trung bình 0,8 trễ và hiệu suất trung bình 90%
- d) Động cơ đồng bộ có hệ số công suất trung bình 0,707 sớm và hiệu suất trung bình 93%
- i) Tìm hệ số công suất của trạm. Cho 1 HP = 746 W
- ii) Nếu tổng phụ tải được cung cấp bằng một đường dây, tìm phụ tải mà đường dây này có thể cung cấp với hệ số công suất bằng 1 và có cùng điều kiện phát nóng.

ĐS: i) 0,965 sớm ; ii) 821,3 kW

**9.2.** Một trạm cung cấp 300 kVA ở hệ số công suất 0,8 trễ. Một động cơ đồng bộ được mắc làm việc song song với tải. Nếu phụ tải tổng là 300 kW với hệ số công suất 0,95 trễ. Tìm a) Công suất kVA của động cơ đồng bộ, b) Hệ số công suất của động cơ đồng bộ.

ĐS: a) 100 kVA b) 0,6 sớm.

**9.3.** Một trạm điện cung cấp cho các phụ tải:

- i) Các động cơ cảm ứng: tổng HP, 100 ; hệ số công suất, 0,8 ; hiệu suất, 88%.
- ii) Các động cơ đồng bộ: tổng HP, 60 ; hiệu suất 85%.
- iii) Tải nhiệt, 25 kW, hệ số công suất, 1.

Khi tất cả các tải đạt cực đại, tìm hệ số công suất của động cơ đồng bộ sao cho hệ số công suất của trạm bằng: a) 1 ; b) 0,95 trẽ. (1 HP = 746 W)

ĐS: a) 0,638 sôrm b) 0,982 sôrm.

**9.4.** Một động cơ đồng bộ ba pha 400 V tiêu thụ 50 kW được mắc song song với một động cơ cảm ứng tiêu thụ 200 kW ở hệ số công suất 0,8 trẽ.

- a) Tính dòng điện đường dây cung cấp khi hệ số công suất của động cơ đồng bộ bằng i) 1; ii) 0,707 sôrm
- b) Động cơ đồng bộ vận hành ở hệ số công suất bằng bao nhiêu để dòng điện đường dây là ít nhất?

ĐS: a) i) 421 A ii) 389 A b) 0,3156 sôrm, 361 A

**9.5.** Một động cơ cảm ứng ba pha 250 HP, 3300 V, 50 Hz, mắc Y có hiệu suất lúc đầy tải là 86% ở hệ số công suất 0,707 trẽ. Bây giờ muốn nâng cao hệ số công suất của đường dây cung cấp lên 0,9 trẽ bằng cách mắc tụ bù. Tìm: i) Công suất kVAr của tụ bù, ii) Điện dung mỗi pha của tụ bù nếu tụ điện mắc a)  $\Delta$ , b) Y.

ĐS: i) 111,8 kVAr; ii) a) 10,9  $\mu F$  b) 32,7  $\mu F$

**9.6.** Gọi B \$ là chi phí hàng năm cho mỗi kVAr công suất kháng của thiết bị bù (giả thiết không có tổn thất) và điện năng được cung cấp theo giá biểu hai thành phần trong đó giá biểu theo công suất là A \$/kVA trong một năm. Chứng tỏ trị số kinh tế của hệ số công suất cho bù:

$$\cos\varphi_{kt} = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2}$$

hay chứng tỏ rằng giới hạn kinh tế mà hệ số công suất có thể được nâng lên độc lập với hệ số công suất ban đầu khi giá biểu điện năng được tính theo hai thành phần gồm giá công suất và giá điện năng.

**9.7.** Một phụ tải công nghiệp có công suất trung bình 300 kW ở  $\cos\varphi = 0,707$  trẽ, làm việc 3000 giờ/năm. Phụ tải cực đại yêu cầu ghi được lớn hơn phụ tải trung bình 25%. Hệ số công suất của phụ tải được nâng lên 0,96 trẽ bằng cách đặt thiết bị bù. Tiền đầu tư thiết bị bù là 100 \$ mỗi kVAr và chi phí vận hành và khấu hao hàng năm bằng 10% trên tiền đầu tư. Giá biểu điện năng là 72 \$ hàng năm cho mỗi kVA công suất cực đại cộng với 0,03 \$ mỗi KWh. Bỏ qua tổn thất trong thiết bị bù, hãy tính tiền tiết kiệm được hàng năm.

ĐS: 6380 \$

**9.8.** Một xưởng sản xuất có một động cơ ba pha 200 kVA, 440 V ở hệ số công suất 0,8 trẽ. Nếu một bộ tụ điện 75 kVAr được thiết đặt và phụ tải của động cơ được tăng lên mà dòng điện của đường dây cung cấp vẫn không thay đổi. Tìm:

- a) Lượng kVA tăng thêm của phụ tải động cơ;
- b) Lượng kW tăng thêm của phụ tải động cơ;

c) Lượng giảm dòng điện trên đường dây nếu phụ tải động cơ vẫn không đổi ở 200 kVA ở  $\cos\varphi = 0,8$  trễ sau khi đặt tụ bù.

$$\text{ĐS: } a) 37,5 \text{ kVA} \quad b) 28,56 \text{ kW} \quad c) 44,4 \text{ A}$$

**9.9.** Một hệ thống đang vận hành ở phụ tải kVA cực đại yêu cầu với hệ số công suất 0,707 trễ.

Việc tăng thêm khả năng tải cấp cho phụ tải có thể được thực hiện theo hai cách:

- a) Nâng cao  $\cos\varphi$  của hệ thống lên 0,866 bằng cách đặt thiết bị bù.
- b) Đặt thêm máy phát ở gần để cung cấp đủ công suất cho phụ tải tăng thêm. Tổng chi phí để xây dựng nhà máy phát điện là 100 \$ mỗi kVA.

Hãy ước lượng giới hạn của chi phí mỗi kVAR thiết bị bù để phương án a) có thể được chấp nhận. Giả thiết suất chi phí hàng năm tính trên tiền đầu tư máy phát và thiết bị bù là bằng nhau.

$$\text{ĐS: } 61,44 \text{ $}$$

**9.10.** Một phụ tải tiêu thụ công suất không đổi 500 KW  $\cos\varphi = 0,8$  trễ. Giá biểu điện năng là 60 \$ hàng năm cho mỗi kVA công suất cực đại yêu cầu cộng với 0,05 \$ cho mỗi kWh điện năng tiêu thụ. Nếu hệ số công suất được nâng lên 0,95 bằng cách đặt thiết bị bù, hãy tính tiền tiết kiệm được hàng năm. Chi phí đặt thiết bị bù là 100 \$ / kVAr và hệ số vận hành, khấu hao hàng năm là 10% trên tiền đầu tư.

$$\text{ĐS: } 3815 \text{ $}$$

**9.11.** Một xí nghiệp có phụ tải 300 kW ở hệ số công suất 0,8 trễ. Giá biểu điện năng gồm 60 \$ hàng năm cho mỗi kVA công suất cực đại yêu cầu cộng với 0,05 \$ mỗi kWh điện năng tiêu thụ. Tiền đầu tư thiết bị bù là 150 \$/kVA và lãi suất, chí phí vận hành và khấu hao lấy bằng 10% tiền đầu tư.

- a) Tìm trị số của hệ số công suất kinh tế có thể được nâng lên.
- b) Bỏ qua tổn thất trong thiết bị bù, tìm công suất của thiết bị bù.
- c) Tìm tiền điện mới hàng năm giả thiết xí nghiệp làm việc 4000 giờ/năm.

$$\text{ĐS: } a) \cos\varphi_{kt} = 0,968 \text{ trễ} \quad b) 147,42 \text{ kVAr} \quad c) 80811 \text{ $}$$

# Chương 10

## ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

### 10.1 KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP

Nếu điện áp đặt vào phụ tải không hoàn toàn đúng với điện áp định mức do phụ tải yêu cầu thì ít hay nhiều tình trạng làm việc của phụ tải cũng trở nên không tốt. Nói cách khác, độ lệch điện áp càng lớn thì chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật của thiết bị dùng điện áp cũng thấp.

Theo định nghĩa độ lệch điện áp bằng:

$$\text{đl U\%} = \frac{U - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100\% \quad (10.1)$$

trong đó: U: điện áp đặt vào phụ tải

$U_{dm}$ : điện áp định mức của phụ tải

Độ lệch điện áp sinh ra ở nơi tiêu thụ điện là do:

- Nguyên nhân phát sinh ở bản thân các hộ dùng điện, phụ tải của các hệ thống dùng điện luôn luôn thay đổi làm cho sự phân bố công suất trong mạng điện cũng thay đổi theo.

- Nguyên nhân do sự thay đổi tình trạng làm việc của hệ thống điện chẳng hạn như việc thay đổi phương thức vận hành của nhà máy điện hoặc một sự thay đổi nào đó trong sơ đồ mạng điện cũng làm cho sự phân bố công suất trong mạng điện thay đổi theo làm ảnh hưởng đến tổn thất điện áp, tạo nên các độ lệch về điện áp khác nhau ở các nơi dùng điện.

Độ lệch điện áp cao nhất thường xuất hiện trong lúc sự cố: dây đứt hoặc máy phát lớn nhất của nhà máy bị hỏng phải ngừng hoạt động.

Trên thực tế không thể nào giữ được điện áp ở phụ tải luôn luôn đúng bằng định mức, nhưng nếu giữ được với độ lệch điện áp tương đối nhỏ thì các phụ tải vẫn giữ được chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật tốt.

Theo “Qui trình trang bị điện”: điện áp trên cực của động cơ không được khác với điện áp định mức là 5%, trong trường hợp đặc biệt cho phép tăng điện áp đến +10%. Đối với các đèn thắp sáng thì điện áp không được thấp hơn định mức là 2,5% (đối với xí nghiệp) và 5% đối với nhà ở. Trong tình trạng sự cố, điện áp trên đèn không được giảm quá -12% so với điện áp định mức.

### 10.2 ĐIỆN ÁP SỬ DỤNG

Điện áp sử dụng là điện áp đo được ở đầu của thiết bị dùng điện, điện áp sử dụng vốn có một độ trai điện áp trong vận hành hệ thống phân phối. Đó là một dải điện áp có ở mỗi điểm sử dụng điện. Bề rộng của dải điện áp và vị trí của dải đối với điện áp cơ bản tùy thuộc vào vị trí của hộ tiêu thụ đối với cấu trúc của hệ thống phân phối. Trước khi xét sự

thay đổi cho phép của điện áp ở điểm sử dụng đối với việc vận hành của thiết bị và sự thay đổi này ảnh hưởng đến hoạt động của thiết bị như thế nào thì cần hiểu rõ khái niệm về độ trễ điện áp.

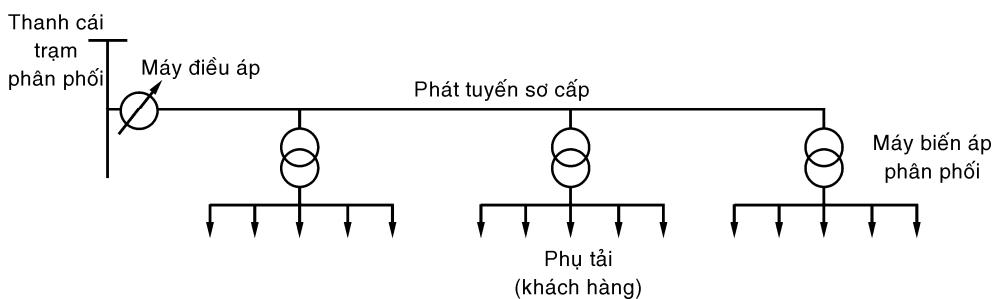
### 10.3 ĐỘ TRỄ ĐIỆN ÁP

Độ trễ điện áp – là hiệu số giữa giá trị điện áp cực đại và cực tiểu ở một điểm nhất định trong hệ thống phân phối, độ trễ có giá trị thay đổi tùy theo vị trí mà ở đó độ trễ được đo. Không những nó thay đổi về trị số mà sự quan hệ độ trễ so với giá trị làm chuẩn sẽ thay đổi tùy theo vị trí đo. H.10.2 minh họa các độ trễ điện áp có ở điểm sử dụng.

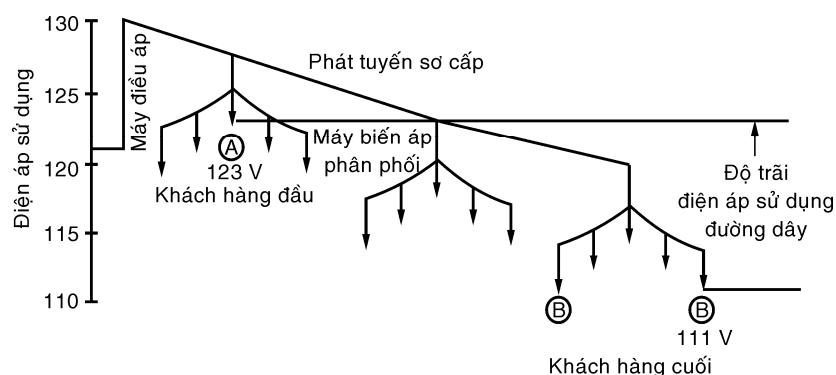
Hộ tiêu thụ A là hộ đầu tiên, có độ trễ đúng bằng 1 volt từ phụ tải cực tiểu (122 volt) đến phụ tải cực đại (123 volt). Hộ tiêu thụ B là hộ cuối cùng của đường dây nhánh phân phối, có độ trễ điện áp bằng 7 volt: 111 volt ở tình trạng cực đại và 118 volt ở tình trạng cực tiểu.

Điện áp sử dụng ở các hộ tiêu thụ A và B đối với tình trạng phụ tải trong khoảng từ tải cực đại đến cực tiểu sẽ có giá trị trong khoảng các giá trị cực đại và cực tiểu của các độ trễ điện áp. Điện áp ở điểm sử dụng của bất kỳ hộ tiêu thụ nào ở trên đường dây sẽ có độ trễ điện áp từ 1 đến 7 volt, tùy theo vị trí của chúng. Các độ trễ điện áp tương tự cũng có thể tìm ở các điểm sử dụng của mỗi hộ tiêu thụ trên hệ thống.

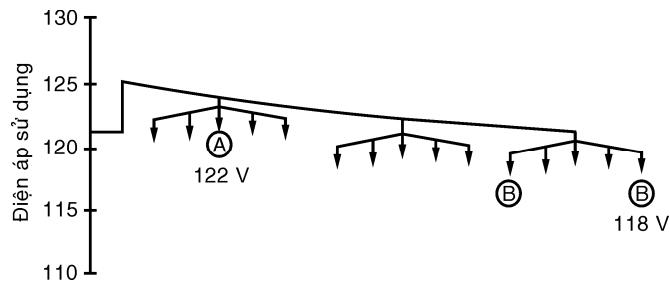
Ngoài ra còn có độ trễ điện áp sử dụng đường dây là sự sai biệt về điện áp sử dụng cực đại và cực tiểu của các hộ tiêu thụ trên đường dây. Đối với đường dây trên hình vẽ độ trễ của điện áp sử dụng đường dây là 12 volt (123 V – 111 V)



**Hình 10.1:** Sơ đồ đường dây phân phối



**Hình 10.2:** Trắc đồ điện áp khi phụ tải cực đại



**Hình 10.3:** Trắc đồ điện áp khi phụ tải cực tiểu

## 10.4 NHỮNG PHƯƠNG TIỆN ĐỂ ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG

Việc điều chỉnh điện áp trong phạm vi cho phép là vấn đề phức tạp vì hệ thống liên kết nhiều nguồn với nhiều phụ tải ở mọi cấp bậc của hệ thống điện. Kết quả là giữ điện áp chỉ ở một điểm của hệ thống là chưa đủ mà trái lại phải giữ ở nhiều điểm ở mọi cấp bậc theo chiều ngang cũng như theo chiều dọc của hệ thống.

Nói cách khác, vấn đề điều chỉnh điện áp là xuyên suốt toàn hệ thống và đòi hỏi một số lượng lớn các thiết bị đặt trong hệ thống để phục vụ cho mục đích này.

Việc lựa chọn và phối trí các thiết bị điều áp là một trong những vấn đề lớn của kỹ thuật hệ thống điện.

Các phương tiện điều chỉnh điện áp có thể được chia làm ba nhóm lớn dựa trên đặc tính vận hành của chúng:

1. Nguồn công suất kháng như máy bù đồng bộ và tụ điện tĩnh, máy bù đồng bộ và kích từ máy phát
2. Giảm sụt áp của đường dây bằng tụ điện nối tiếp
3. Máy biến áp điều chỉnh và máy biến áp có đầu phân áp.

Vận hành đường dây tải điện cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa công suất kháng và điện áp. Điện áp có thể giữ ở bất kỳ trị số mong muốn nào ở cả đầu phát và đầu nhận của một đường dây truyền tải với tổng trở đường dây có tính cảm chiếm ưu thế ( $X > R$ ) nếu có đầy đủ các nguồn công suất kháng ở hai đầu đường dây.

Tổng quát, bất kỳ một nguồn công suất phản kháng nào trong hệ thống có thể giữ hoặc điều áp, hoặc hệ số công suất hoặc là dòng công suất kháng ở một và chỉ một điểm đã chọn tùy ý trong hệ thống điện. Dĩ nhiên, để cho việc vận hành được đơn giản và thuận tiện, thường điểm điều chỉnh ở rất gần hoặc là ở tại đầu cực của nguồn công suất kháng.

Mỗi nhà máy điện là nguồn công suất tác dụng cũng là nguồn công suất phản kháng, nhưng điện áp phải được điều chỉnh ở một số lớn các điểm trong hệ thống, hậu quả là phải dùng đến các nguồn công suất kháng phụ thêm và thiết bị điều chỉnh điện áp khác. Hai nguồn công suất kháng thông thường là máy bù đồng bộ và tụ điện tĩnh. Sau đây là những điểm so sánh giữa máy bù và tụ điện tĩnh.

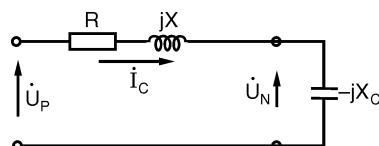
Máy bù và tụ điện tĩnh có những ảnh hưởng giống nhau trong vai trò điều chỉnh điện áp, tuy vậy, những đặc tính kỹ thuật và khai thác có khác:

Tụ điện tinh	Máy bù đồng bộ
Tụ điện rẽ tiền hơn và tổn thất ít hơn nhưng vận hành kém linh hoạt hơn. Với tụ điện tinh, công suất kháng không thay đổi liên tục (theo từng bậc) và chỉ có thể phát công suất kháng.	Máy bù đồng bộ là nguồn công suất phản kháng rất linh động vì công suất phản kháng của nó có thể thay đổi liên tục về độ lớn và về chiều từ công suất phản kháng cảm sang công suất dung hâu như rất đơn giản bằng cách thay đổi từ trường kích thích.
Công suất phản kháng cung cấp bởi tụ điện có khuynh hướng giảm khi điện áp ở thanh cái giảm xuống.	Công suất phản kháng cung cấp bởi máy bù đồng bộ có khuynh hướng tăng khi điện áp thanh cái giảm xuống. Kết quả là máy bù đồng bộ vận hành tốt hơn trong tình trạng hệ thống có sự cố và giảm được nhấp nháy về ánh sáng.
Khi phụ tải cực đại, tụ điện tinh không thể quá tải vì lúc phụ tải cực đại điện áp thanh cái giảm xuống mà công suất phản kháng của nó định bởi điện dung và điện áp thanh cái, công suất phản kháng này tỷ lệ với bình phương điện áp. Chính vì thế mà tụ điện có thể bị quá tải nguy hiểm vào những lúc phụ tải cực tiểu.	Máy bù đồng bộ có thể quá tải ngắn hạn bằng cách điều chỉnh kích thích và làm giảm được sự nhấp nháy về ánh sáng.
Sử dụng trực tiếp ở nhiều cấp điện áp khác nhau. Tụ điện tinh dễ dàng di chuyển từ nơi này sang nơi khác trong mạng điện và cũng dễ dàng tăng công suất của bộ tụ điện bằng cách lắp thêm một số tụ điện khi nhu cầu tiêu thụ công suất kháng của hệ thống tăng lên. Đặc biệt quan trọng là tụ điện có thể được phân cấp quản lý, chia thành các đơn vị nhỏ đi sâu vào các cấp điện áp trong hệ thống xuống các mạng phân phối hạ áp của các xí nghiệp, đặt gần các động cơ điện. v.v...	Điện áp đầu cực bị giới hạn, đôi khi cần đến máy biến áp để nối với hệ thống. Công suất nhỏ quá sẽ không có lợi về mặt kinh tế, dung lượng càng nhỏ thì giá thành trên một đơn vị công suất càng đắt. Máy bù đồng bộ sẽ tiếp tục dùng ở cấp truyền tải cùng với tụ điện tinh do các tính chất của chúng theo quan điểm vận hành.
Hệ thống bảo vệ đơn giản. Điều hành dễ Sự đóng cắt tụ điện thường dẫn theo quá điện áp và xung dòng điện lớn	Bảo vệ bằng hệ thống rôle phức tạp Bảo trì khó và thường xuyên cần người điều hành trực tiếp trông nom

Các vấn đề có liên quan đến việc áp dụng tụ điện mắc rẽ và máy bù đồng bộ trên đường dây truyền tải cao áp đã được đề cập trong khảo sát vận hành đường dây tải điện, trong chương này chủ yếu là đề cập đến áp dụng của tụ điện tinh trên các đường dây hình tia, đặc biệt là ở cấp phân phối của hệ thống.

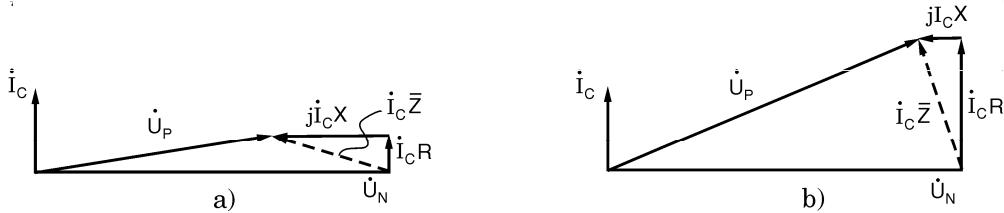
## 10.5 BÙ NGANG TRÊN MẠNG ĐIỆN HÌNH TIA

Mạng điện hình tia có chủ yếu ở cấp truyền tải phụ và cấp phân phối của hệ thống điện. Đường dây ở các cấp này thường là đường dây ngắn và như vậy có thể được biểu diễn bằng mạch tương đương của đường dây ngắn, giả thiết đặt ở cuối đường dây một tụ điện mắc rẽ (bù ngang) có tổng trắc tương đương cho mỗi pha bằng  $X_C$  (H.10.4)



**Hình 10.4:** Mạch tương đương đơn giản của một pha tuyến hình tia với tụ bù ngang

Gọi  $U_P$  và  $U_N$  lần lượt là điện áp pha ở đầu phát và đầu nhận. H.10.5 trình bày đồ thị vectơ của mạch điện với dòng điện thuần dung  $I_C$ .



**Hình 10.5 (a) và (b):** Đồ thị vectơ của phát tuyến hình tia với tải thuần dung

Độ tăng điện áp gây bởi dòng điện dung có thể viết như sau:

$$\Delta U_C = U_N - U_P = U_N - \sqrt{(U_N - I_C X)^2 + (I_C R)^2} \quad (10.2)$$

vì  $I_C R \ll (U_N - I_C X)$  trên các đường dây thực tế nên có thể tính gần đúng:

$$\Delta U_C \approx I_C X - \frac{(I_C R)^2}{2(U_N - I_C X)} \quad (10.3)$$

với  $I_C = \frac{U_N}{X_C}$

trong đó:  $X_C$  là dung kháng của tụ điện cho bởi:

$$X_C = \frac{U_N^2}{Q_C} \text{ với } U_N \text{ (volt): điện áp pha, } Q_C \text{ (VAr): công suất một pha của tụ điện}$$

Độ tăng áp trong đơn vị tương đối

$$\mathcal{R}_C = \frac{\Delta U_C}{U_N} = \frac{\Delta U_C}{I_C X_C} = \frac{I_C X}{I_C X_C} - \frac{(I_C R)^2}{2 I_C X_C (I_C X_C - I_C X)} \quad (10.4)$$

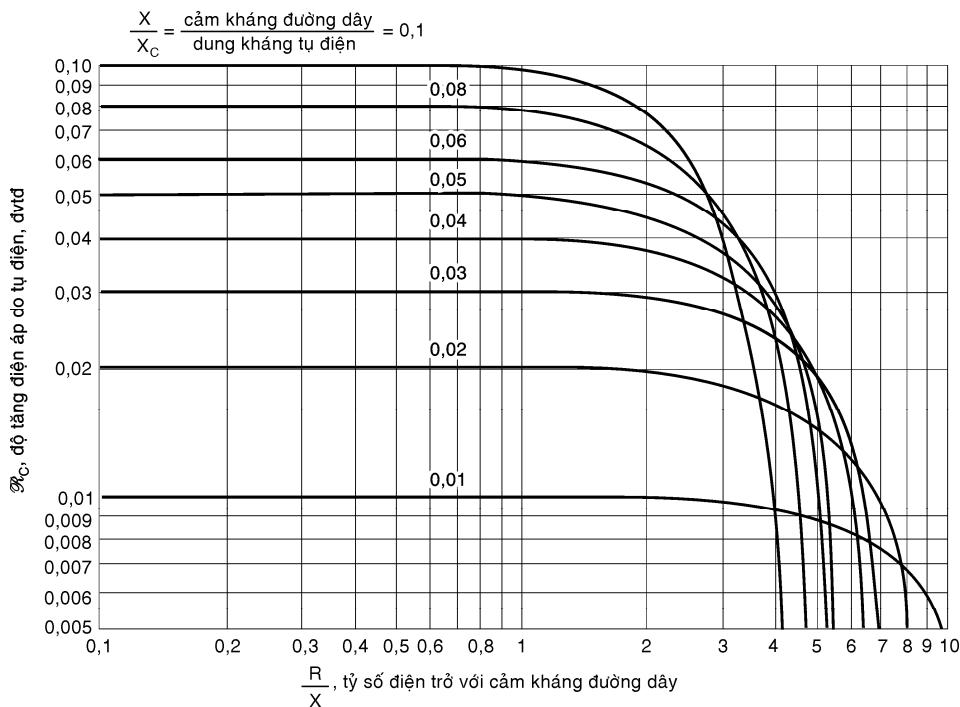
$$\mathcal{R}_C \approx \frac{X}{X_C} - \frac{R^2}{2X_C(X_C - X)} \text{ đvtđ} \quad (10.5)$$

$R_C$  áp dụng cho cả hai trường hợp vận hành một pha và ba pha.

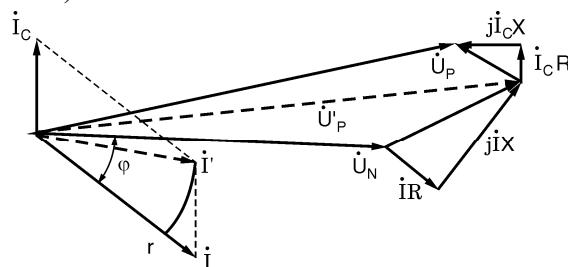
Ngoài ra, vì  $X_C \gg X$  nên gần đúng  $R_C$  như sau:

$$\mathcal{R}_C \approx \frac{X}{X_C} - \frac{R^2}{2X_C^2} \text{ đvtđ} \quad (10.6)$$

Đồ thị H.10.6. cho giá trị của  $R_C$  tính từ công thức trên khi một tụ điện có dung kháng  $X_C$  (hay công suất  $Q_C$ ) được đóng vào ở cuối đường dây có một tỷ số điện trở / điện kháng  $\frac{R}{X}$  nào đó.

**Hình 10.6:** Độ tăng điện áp do tụ bù ngang trên phát tuyến hình tia

Dầu có hay không có phụ tải trên đường dây vào lúc mà tụ điện được đóng vào thì vectơ tăng điện áp do tụ điện vẫn giữ như nhau nếu điện áp đầu nhận giữ không đổi. Tuy vậy nếu vẫn áp dụng các công thức viết cho  $\Delta U_C$  và  $\mathcal{R}_C$  nói trên cho trường hợp có phụ tải ở cuối đường dây thì  $\Delta U_C$  và  $\mathcal{R}_C$  trong trường hợp này gần đúng là độ giảm sút áp trên đường dây (hay độ tăng điện áp do tụ bù ngang) (H.10.7)

**Hình 10.7:** Đồ thị vectơ của phát tuyến hình tia với tải cảm và tụ bù ngang

Giả thiết cho biết các trị số sau đây:

$$U_N = 1 \text{ đvtđ}, \quad I = 1 \angle -25^\circ \text{ đvtđ}, \quad I_C = 0,5 \angle 90^\circ \text{ đvtđ}$$

$$\bar{Z} = R + jX = 0,08 \angle 65^\circ = 0,0338 + j0,0725 \text{ đvtđ}$$

$$\bar{X}_C = -j2 \text{ đvtđ}$$

Vậy thì lúc chưa đóng tụ điện, điện áp đầu phát:

$$\bar{U}_P = 1 + 0,08 \angle (65^\circ - 25^\circ) = 1,0625 \angle 2,77^\circ$$

và khi đóng tụ điện:

$$\begin{aligned} \boxed{U_P} &= 1 + 0,08\angle(65^\circ - 25^\circ) + (0,08) \cdot 0,5\angle(65^\circ + 90^\circ) \\ &= 1,0273\angle3,82^\circ \text{ đvtđ} \end{aligned}$$

Vậy độ tăng chính xác của điện áp do tụ điện gây ra là:

$$\Delta U_C = U_P - U_P = 0,0352 \text{ đvtđ}$$

Nếu dùng phương trình gần đúng thì

$$\Delta U_C \approx \frac{X}{X_C} - \frac{R^2}{2X_C^2} = \frac{0,0725}{2} - \frac{0,0338^2}{2 \cdot 2^2} = 0,0361 \text{ đvtđ}$$

Chứng tỏ rằng, sự gần đúng này có thể chấp nhận được đối với các đường dây cung cấp điện trong thành phố, một độ tăng điện áp đáng kể có thể thực hiện bằng cách mắc tụ điện rẽ ở cuối đường dây (bù ngang). Nói chung  $\Delta U_C$  hay  $\mathcal{R}_C$  trong trường hợp này là số dương.

Tuy vậy  $\mathcal{R}_C$  có thể là số âm được không?

Điều này xảy ra nếu:

$$\frac{R^2}{2X_C(X_C - X)} > \frac{X}{X_C} \quad (10.7)$$

hay nếu:  $\frac{R}{X} > \sqrt{2\left(\frac{X_C}{X} - 1\right)}$  (10.8)

Chẳng hạn độ tăng điện áp sẽ trở thành độ sụt áp nếu:

$$\frac{R}{X} > \sqrt{2\left(\frac{2}{0,0725} - 1\right)} = 7,3$$

Hình 10.5b giải thích điều này.

Tỷ số  $\frac{R}{X}$  khá lớn này thường gặp trong lưới điện hạ áp. Từ phương trình viết cho  $\mathcal{R}_C$ , dung kháng của tụ điện cần thiết kế cải thiện sụt áp của đường dây một lượng  $\mathcal{R}_C$  có thể tính như sau (suy ra từ phương trình (10.5)):

$$X_C \approx \frac{X}{2} \left( \frac{1}{\mathcal{R}_C} + 1 \right) + \sqrt{\frac{X^2}{4} \left( \frac{1}{\mathcal{R}_C} + 1 \right)^2 - \frac{R^2}{2\mathcal{R}_C} - \frac{X^2}{\mathcal{R}_C}} \quad (10.9)$$

## 10.6 ẢNH HƯỞNG CHÍNH CỦA TỤ ĐIỆN TĨNH BÙ NGANG

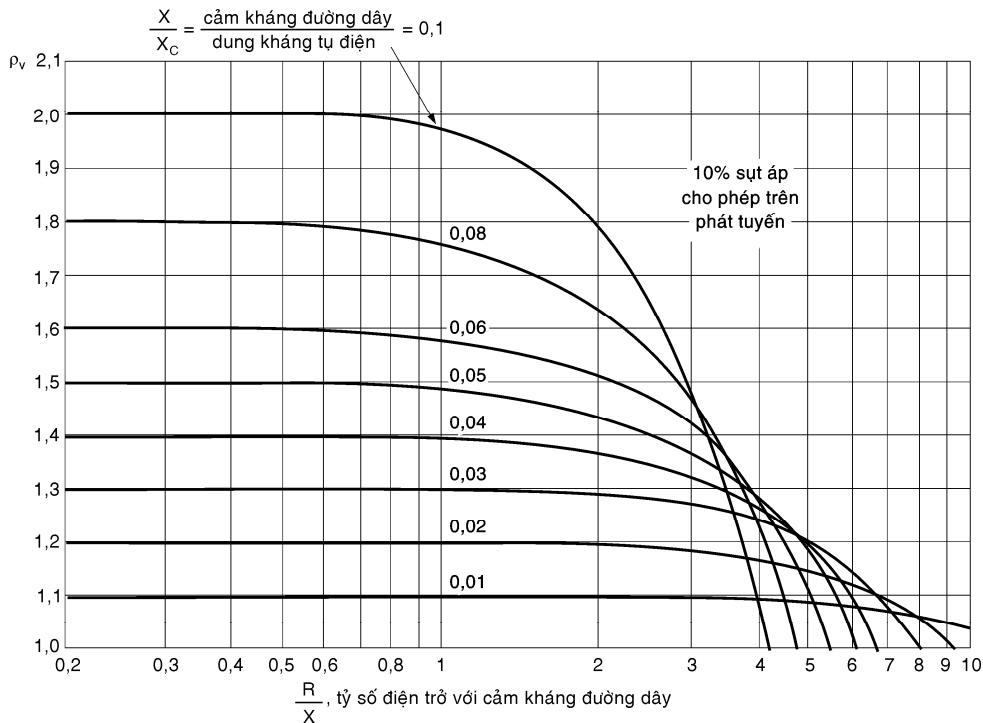
Trên đây đã đề cập đến tác dụng giảm sụt áp trên đường dây khi đặt tụ bù ngang. Sau đây sẽ nêu ra các ảnh hưởng chính của bù ngang.

### 10.6.1 Tăng khả năng tải điện của đường dây

a) Nếu sụt áp là điều kiện giới hạn để xác định khả năng tải điện của đường dây. Giả thiết sụt áp cho phép dọc đường dây là 10% thì độ tăng tương đối của điện áp  $\mathcal{R}_C$  do việc mắc thêm tụ điện sẽ cho phép tăng tải trên đường dây theo tỷ lệ:

$$\rho_V = \frac{\text{tải cực đại khi có tụ}}{\text{tải cực đại khi không có tụ}} \approx \frac{0,1 + \mathcal{R}_C}{0,1} \quad (10.10)$$

Giá trị gần đúng của  $\rho_V$  suy từ đồ thị  $R_C$  theo  $\frac{R}{X}$  và công thức trên đây có thể biểu diễn bằng đồ thị H.10.8.



**Hình 10.8:** Độ tăng khả năng tải của phát tuyến do đặt tụ bù ngang khi điều kiện sụt áp là giới hạn

Hình 10.8 cho thấy sự tăng khả năng tải là chủ yếu nếu tỷ số R/X là khá nhỏ.

b) Nếu phát nóng là điều kiện giới hạn của khả năng mang tải thì tụ điện cũng có tác dụng làm tăng khả năng tải của đường dây vì nó làm giảm dòng điện chạy trên dây bằng cách cung cấp tại chỗ công suất kháng do phụ tải yêu cầu. Điều này làm tăng hệ số công suất của đường dây (lưu ý, tăng  $\cos\varphi$  của đường dây chứ không phải tăng  $\cos\varphi$  của phụ tải) hay còn gọi là cải thiện hệ số công suất của đường dây.

Hãy xét đồ thị vectơ H.10.9.

Gọi  $I' = I'' = 1$  đvtđ là khả năng tải điện cực đại của đường dây,  $I' = 1$  đvtđ là dòng điện phụ tải trước khi mắc thêm tụ điện,  $I$  là dòng phụ tải sau khi mắc thêm tụ sao cho dòng điện trên đường dây là  $I'' = 1$  đvtđ,  $I_C$  là dòng qua tụ điện. Dòng điện đi trên đường dây lúc bấy giờ là:

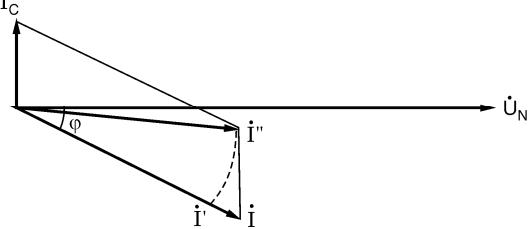
$$|I'| = 1 = |I + I_C| \quad (10.11)$$

Từ hình vẽ có được:

$$I'^2 = 1^2 = I^2 \cos^2 \varphi + (I \sin \varphi - I_C)^2 \quad (10.12)$$

$\varphi$  là góc hệ số công suất của phụ tải và cũng là của đường dây trước khi mắc tụ điện.

Giải phương trình này để tìm  $I$



**Hình 10.9:** Đồ thị vectơ biểu diễn tăng khả năng tải

$$I = I_C \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} + \sqrt{1 - I_C^2 \cos^2 \varphi} \text{ đvtđ} \quad (10.13)$$

Do đó nếu khả năng mang tải của đường dây bị giới hạn bởi phát nóng của dây dẫn thì sự tăng tải của đường dây do tụ điện cho bởi:

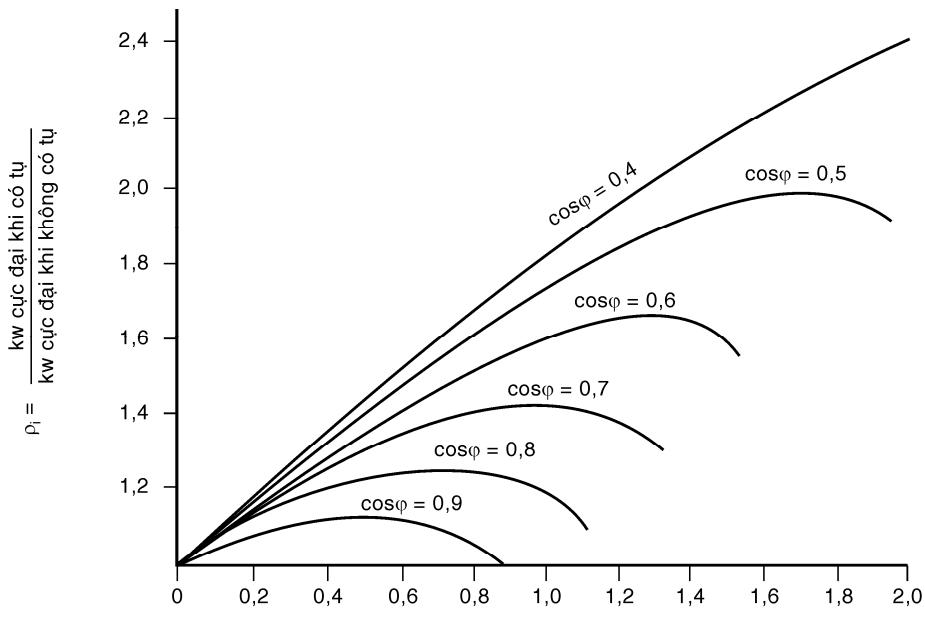
$$\begin{aligned} \rho_i &= \frac{P_{\max} \text{ khi có tụ}}{P_{\max} \text{ khi không có tụ}} = \frac{I \cos \varphi}{I' \cos \varphi} = \frac{I}{I'} = I'' \text{ đvtđ} \\ \rho_i &= I_C \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} + \sqrt{1 - I_C^2 (\cos \varphi)^2} \end{aligned} \quad (10.14)$$

trong đó  $I_C$  biểu diễn trong đơn vị tương đối với  $I'' = 1$

Tỷ số  $\rho_i$  đạt đến cực trị của nó  $\rho_{i\max}$

$$\rho_{i\max} = \frac{1}{\cos \varphi} \text{ khi } I_C = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \quad (10.15)$$

Hình 10.10. Biểu diễn  $\rho_i$  theo  $I_C$  và  $\cos \varphi$



$I_C$  trong đvtđ của khả năng tải dòng điện (dòng cho phép) của phát tuyến

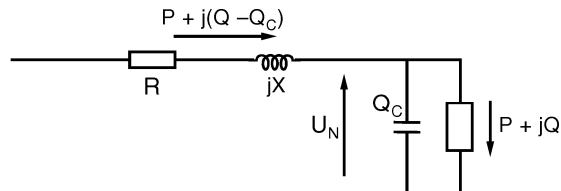
**Hình 10.10: Độ tăng khả năng tải của phát tuyến do đặt tụ bù ngang khi điều kiện phát nóng là giới hạn**

Theo đồ thị, sự cải thiện khả năng tải đặc biệt rõ rệt nếu hệ số công suất phụ tải nhỏ.

Ngoài ra, nếu không xét đến khả năng tải thêm của đường dây thì việc áp dụng tụ điện mắc rõ ràng làm giảm dòng điện toàn phần chạy trên đường dây đưa đến việc giảm tổn thất công suất không những trên chính đường dây mà còn trong cả hệ thống nữa.

### 10.6.2 Giảm tổn thất công suất trên đường dây

Tụ điện tĩnh sẽ cung cấp tại chỗ một phần công suất kháng của phụ tải yêu cầu do đó làm giảm lượng công suất kháng truyền trên đường dây (H.10.11), điều này làm giảm tổn thất công suất tác dụng  $\Delta P$  và tổn thất công suất phản kháng  $\Delta Q$ .

**Hình 10.11:** Dòng công suất trên đường dây sau khi đặt tụ bù ngang

Trước khi có tụ:  $\Delta P = RI^2 = \frac{P^2 + Q^2}{U_N^2} R$  đvtđ (10.16)

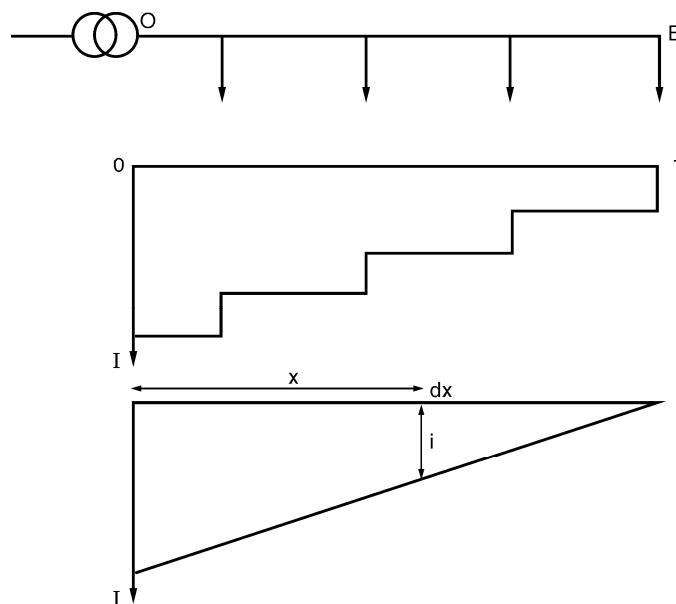
Khi có tụ:  $\Delta P' = RI'^2 = \frac{P^2 + (Q - Q_C)^2}{U_N^2} R$  đvtđ (10.17)

(Nếu dùng đơn vị có tên, công suất ba pha và điện áp dây thì:

$$\Delta P' = 3RI'^2 = \frac{P^2 + (Q - Q_C)^2}{U_N^2} R$$
 (10.18)

với: P (MW), Q (MVAr), Q (MVAr), U\_N (kV), R ( $\Omega$ ),  $\Delta P'$  (MW)

Tuy nhiên, tùy ở cách phân bố các phụ tải tiêu thụ điện trên đường dây mà vị trí của tụ điện phải được xác định sao cho có lợi nhất. Xét trường hợp phụ tải phân bố đều trên đường dây H.10.12, nếu chỉ xét dòng điện phản kháng  $i$  đi trên đường dây.

**Hình 10.12:** Phân bố dòng điện trên đường dây có phụ tải phân bố đều

Khi số phụ tải tăng lên rất nhiều trong khoảng OB thì dòng điện phản kháng  $i$  tại điểm cách đầu đường dây khoảng cách  $x$  đvtđ có thể biểu diễn theo phương trình:

$$i = I(1-x)$$
 (10.19)

với  $I$  là dòng điện phản kháng ở đầu đường dây, 1: chiều dài đường dây trong đvtđ.

Ngoài ra để đơn giản, chỉ để ý đến tổn hao do điện trở của đường dây, điện trở của độ dài vi cấp  $dx$  đvtđ được viết:

$$dr = R \cdot 1 \cdot dx = Rdx$$

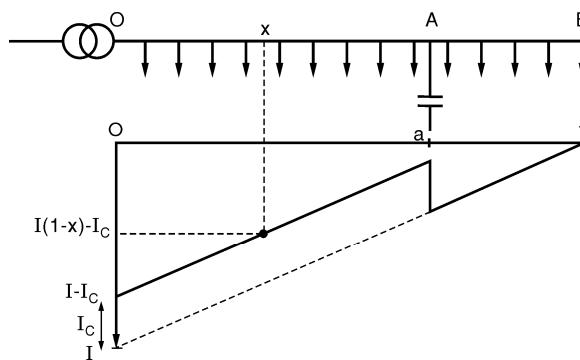
R : điện trở toàn đường dây

1: độ dài đường dây (độ dài bằng 1 đơn vị tương đối)

Như vậy, tổn thất trên đường dây do dòng điện phản kháng gây ra là:

$$\Delta P = \int_0^l i^2 R dx = \int_0^l [I(1-x)]^2 R dx = \frac{1}{3} I^2 R = A \quad (10.20)$$

Nếu một tụ điện tĩnh có dòng điện là  $I_C$  đặt ở vị trí A cách đầu nguồn một khoảng cách a trong H.10.13.



**Hình 10.13**

Dòng điện phản kháng trên đường dây trở thành:

a)  $I(1-x) - I_C$  từ O đến A

b)  $I(1-x)$  từ A đến B

Bằng cách lấy tích phân tương tự, tổng tổn thất trên đường dây có tụ điện tĩnh là:

$$\Delta P' = \int_0^a [I(1-x) - I_C]^2 R dx + \int_a^l [I(1-x)]^2 R dx \quad (10.21)$$

$$\Delta P' = \frac{R}{3} [3aI_C^2 + 3Ia^2I_C - 6aII_C + I^2] = B \quad (10.22)$$

Giảm tổn thất trên đường dây do việc đặt tụ điện:

$$\text{Giảm } \Delta P = A - B = R(-aI_C^2 - a^2II_C + 2aII_C) \text{ đvtđ} \quad (10.23)$$

Tính theo phần trăm của A

$$\text{Giảm } \Delta P\% = \frac{A-B}{A} 100\% = 3a \frac{I_C}{I} \left( -\frac{I_C}{I} - a + 2 \right) 100\% \quad (10.24)$$

hay:  $\text{Giảm } \Delta P\% = 3a \frac{Q_C}{Q} \left( 2 - a - \frac{Q_C}{Q} \right) 100\% \quad (10.25)$

với  $Q_C$ : công suất của tụ điện;

$Q$ : tổng công suất kháng của phụ tải phân bố trên đường dây.

Nhận xét rằng, giảm  $\Delta P$  tùy thuộc vào tỷ số  $\frac{Q_C}{Q}$  và vị trí đặt tụ điện a.

Üng với mỗi trị số  $\frac{Q_C}{Q}$  sẽ có một khoảng cách a tương ứng vị trí của tụ điện mà giảm tổn

thất là nhiều nhất ứng với:

$$\frac{d(\text{Giảm } \Delta P)}{da} = 0 \Rightarrow a = 1 - \frac{1}{2} \frac{Q_C}{Q} \quad \text{đvtđ} \quad (10.26)$$

hay:

$$a\% = \left(1 - \frac{1}{2} \frac{Q_C}{Q}\right) 100\% \quad (10.27)$$

Thông thường  $0,4 \leq \frac{Q_C}{Q} \leq 1$  nên  $a\%$  trong khoảng  $50\% \leq a\% \leq 80\%$

Đó là lý do thường chọn nơi đặt tụ điện từ  $\frac{1}{2}$  đến  $\frac{2}{3}$  chiều dài đường dây kể từ nguồn.

### 10.6.3 Dòng điện tràn

Khi đóng cấp đầu tiên của bộ tụ điện, có thể có dòng điện quá độ lớn đi qua thiết bị đóng cắt, tần số riêng của dòng điện này có tầm quan trọng để xác định chế độ làm việc nặng nề của thiết bị đóng cắt và có thể gây ra hiện tượng cộng hưởng với các thành phần khác của hệ thống.

Việc tính toán dòng điện quá độ và tần số riêng tương đối đơn giản nếu bộ tụ điện được xem như một tụ điện tập trung có điện dung bằng điện dung tổng của bộ tụ điện. Đây chỉ là giả thiết gần đúng trong tính toán thông thường.

Tần số riêng của bộ tụ điện là:

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{td} \cdot C_{td}}} \quad (10.28)$$

trong đó  $L_{td}$  và  $C_{td}$  lần lượt là điện cảm (henry) và điện dung tương đương (farad) đối với trường hợp đang xét nếu có một tụ điện duy nhất được đóng vào ngoài ra không có tụ điện nào khác ở trong vùng.  $L_{td}$  là điện cảm từ nguồn đến tụ điện và  $C_{td}$  là điện dung tổng của bộ tụ điện.

Hiện tượng dòng điện tràn còn trầm trọng hơn khi một giàn tụ điện tĩnh được đóng vào hệ thống với sự có mặt của một giàn khác đã được nạp điện ở gần bên. Sự kiện này có thể làm đứt dây chì bảo vệ tụ điện tĩnh ngay lập tức.

Hiện nay để cản bớt dòng điện tràn, có thể gắn nối tiếp với giàn tụ điện tĩnh một kháng trở hoặc một điện trở hoặc là đặt các giàn tụ điện tĩnh cách xa nhau.

### 10.6.4 Nhiều thông tin

Chính tụ điện tĩnh mở đường cho các dòng điện họa tần dễ dàng đi lại nhất là trong cách nối tụ ba pha theo hình sao nối đất. Dòng điện họa tần này sẽ cảm ứng một sức điện động nhiều trên các đường dây điện thoại. Để tránh hiện tượng này, có thể đổi lại cách đấu tụ điện ba pha, dời vị trí đặt tụ điện, dùng điện kháng phụ để giảm họa tần hoặc là dời đường dây điện thoại.

### 10.6.5 Quá điện áp trong thời gian non tải

Lúc thời gian phụ tải nhỏ (non tải), tụ điện tĩnh có thể làm cho điện áp cả đường dây vượt quá mức giới hạn gây hư hại cho các khí cụ điện.

Ngoài ra công suất kháng của tụ điện tĩnh thay đổi theo bình phương điện áp:

- một pha:  $Q_C = U^2 \omega C$        $U$  (volt) ,  $C$  (farad) ,  $Q$  (VAr)

- ba pha:  $Q_C = 3U^2 \omega C$        $U$  (volt) (điện áp pha)

Do đó khi tăng điện áp thì công suất cũng như dòng điện qua tụ tăng lên làm cho tụ điện bị phát nóng và gây hư hại cho chính tụ điện. Chính vì vậy mà trong thời gian non tải có thể phải cắt bớt một số tụ điện để tránh hậu quả nói trên.

## 10.7 GIẢM ĐIỆN KHÁNG CỦA ĐƯỜNG DÂY - BÙ ĐỌC BẰNG TỤ ĐIỆN TĨNH

Vì sụt áp trên đường dây gần như tỷ lệ với cảm kháng của đường dây nên việc giảm điện kháng này rõ ràng là một cách để cải thiện điện áp. Tuy vậy, điều đáng tiếc là việc thực hiện không phải là dễ.

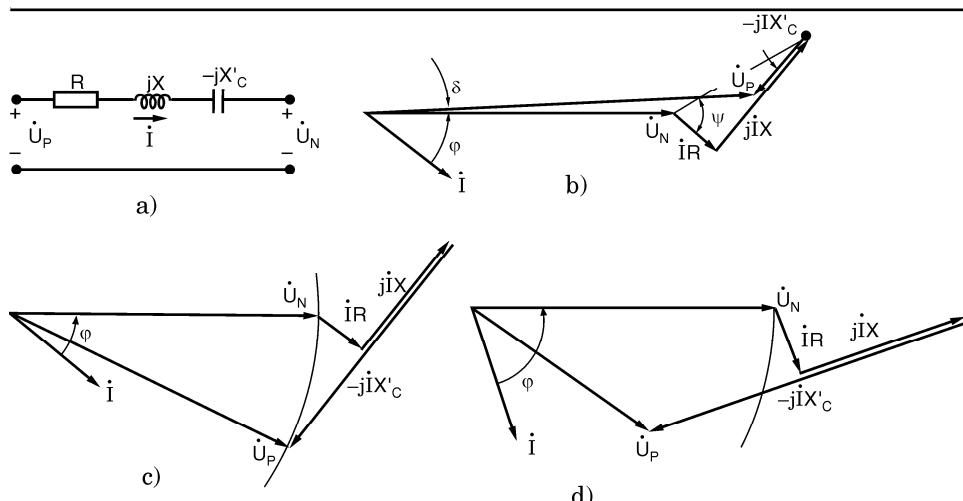
Điện kháng của đường dây là hàm số logarit của kích thước đường dây, do đó nó chỉ thay đổi ít theo sự thay đổi của kích thước này. Hơn nữa, việc thay đổi kích thước của đường dây là hạn hẹp do điều kiện kinh tế và mức cách điện không cho phép.

Mặc song song hai hay nhiều dây dẫn cũng có hiệu quả vì điện kháng của đường dây giảm gần như tỷ lệ nghịch với số đường dây mắc song song. Nhưng thực hiện điều này sẽ không kinh tế nếu chỉ với mục đích duy nhất là cải thiện sụt áp.

Còn lại việc bù điện kháng của đường dây bằng tụ điện nối tiếp trên đường dây gọi là tụ điện nối tiếp hay bù dọc. Vận hành đường dây tải điện cao áp đi xa áp dụng tụ bù dọc tụ được đề nghị như là một biện pháp để tăng khả năng tải và tính ổn định của đường dây.

Trong mục này chỉ xét áp dụng của việc bù dọc trên các đường dây phân phối hình tia tương đối ngắn và những áp dụng này chỉ liên quan duy nhất đến các điều kiện về điện áp của đường dây.

Mạch tương đương của đường dây ngắn với tụ điện nối tiếp trong H.10.14a:



**Hình 10.14:** Mạch tương đương đơn giản và đồ thị vectơ của phát tuyến với tụ bù dọc và tải có tính cảm

Dòng điện tải  $I$  đi xuyên qua tụ điện và đồ thị vectơ trong Hình 6.14b.

Sụt áp khi chưa có tụ điện được tính gần đúng:

$$\Delta U \approx IZ \cos(\psi - \phi) \quad (10.29)$$

với  $\bar{Z} = Z \angle \psi$  tổng trở đường dây và  $\psi$  là góc hệ số công suất,  $\psi > 0$  khi tải có tính cảm.

$$\Delta U \cong IZ \cos \psi \cos \varphi + IZ \sin \psi \sin \varphi \quad (10.30)$$

$$\Delta U \cong IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = I_a R + I_r X \quad (10.31)$$

với

$$I = I_a - jI_r$$

$$\Delta U \cong \frac{P_N R}{U_N} + \frac{Q_N X}{U_N} = \frac{P_N R + Q_N X}{U_N} \quad (10.32)$$

tất cả đều viết trong đơn vị tương đối.

Nếu viết trong đơn vị có tên:

- cho mạch một pha:  $\Delta U = \frac{P_N R + Q_N X}{U_N} = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \quad (10.33)$

- cho mạch ba pha:  $\Delta U = \frac{P_N R + Q_N X}{U_N} = \sqrt{3}(IR \cos \varphi + IX \sin \varphi) \quad (10.34)$

với:  $P_N + jQ_N$  công suất ba pha ở đầu nhận

Tương tự khi đặt tụ điện bù dọc (viết trong đơn vị tương đối)

$$\Delta U' = IR \cos \varphi + I(X - X'_C) \sin \varphi \quad (10.35)$$

Kết quả là điện dung tạo ra một độ tăng điện áp:

$$\text{Độ tăng điện áp } \Delta U'_C = \Delta U - \Delta U' = IX'_C \sin \varphi = IX'_C \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} \quad (10.36)$$

Vậy thì nếu khả năng tải của đường dây được giới hạn bởi điều kiện sụt áp thì việc áp dụng của tụ điện nối tiếp làm tăng khả năng tải của đường dây theo tỷ lệ  $\rho_v$ .

Gọi  $I'$  là dòng điện được tăng khả năng tải do bù dọc và  $I$  là dòng điện trước khi bù dọc, sụt áp do  $I'$  và  $I$  gây ra trên đường dây bằng nhau:

$$\begin{aligned} I'[R \cos \varphi + (X - X'_C) \sin \varphi] &= I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \\ \text{Suy ra: } \rho_v &= \frac{I'}{I} = \frac{R \cos \varphi + X \sin \varphi}{R \cos \varphi + (X - X'_C) \sin \varphi} = \frac{\frac{R}{X} \cos \varphi + \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\frac{R}{X} \cos \varphi + \left(1 - \frac{C}{100}\right) \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}} \end{aligned} \quad (10.37)$$

$\rho_v$  phụ thuộc vào tỷ số  $\frac{R}{X}$  của đường dây, hệ số công suất  $\cos \varphi$  của phụ tải và đại lượng  $C\% = \frac{X'_C}{X} \cdot 100\%$  gọi là phần trăm độ bù dọc.

Phần trăm bù mang ý nghĩa như sau:

- Nếu  $C\% > 100\%$  thì đường dây coi như quá bù và với tình trạng này có thể làm cho sụt áp của đường dây bằng không như trong H.10.14c, miễn là hệ số công suất của phụ tải không đổi.

$$\Delta U' = IR \cos \varphi + I(X - X'_C) \sin \varphi = 0 \quad (10.38)$$

Từ đó:  $X'_C \approx R \cot g \varphi + X$

Nếu hệ số công suất không phải là hằng số thì khi quá bù việc thay đổi hệ số công suất có thể đưa đến quá điện áp trầm trọng như đã trình bày trong H.10.14d. Đặc biệt nguy hiểm là việc tăng đột ngột của dòng điện và góc hệ số công suất xảy ra từ việc mở máy động cơ. Do những lý do này, chỉ có trường hợp bù thiếu là có áp dụng thực tế.

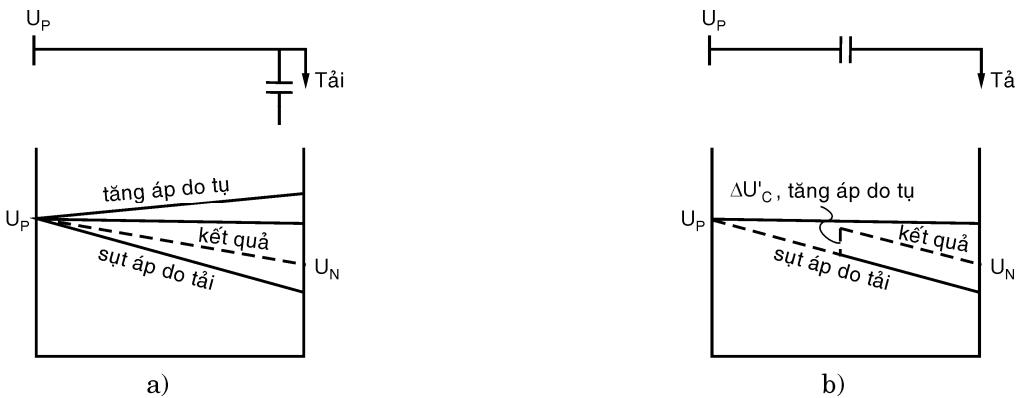
So sánh phương trình tăng điện áp do tụ bù ngang:

$$\Delta U_C = I_C X - \frac{(I_C R)^2}{2(U_N - I_C X)} \quad (10.39)$$

với phương trình tăng điện áp do tụ bù dọc:

$$\Delta U'_C = I X'_C \sin \varphi = I X'_C \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

Cho thấy rằng trong khi tụ điện bù ngang tạo ra một độ tăng điện áp gần như độc lập với dòng điện phụ tải  $I$  thì độ tăng điện áp do tụ điện bù dọc lại tỷ lệ với dòng điện tải  $I$ . Như vậy khi phụ tải bằng không, tụ điện nối tiếp sẽ không cho một độ tăng điện áp nào và khi phụ tải cực đại thì độ tăng điện áp lại lớn nhất.



**Hình 10.15:** So sánh độ tăng điện áp lần lượt bởi

a) tụ bù ngang và b) tụ bù dọc trên phát tuyến hình tia

Có những điểm khác nhau trong việc vận hành tụ điện nối tiếp và mắc rẽ.

Hình 10.15a cho thấy, độ tăng điện áp do tụ điện mắc rẽ được phân bố dọc theo đường dây cũng như độ sụt áp gây bởi phụ tải. Trong khi đó, độ tăng điện áp do tụ điện nối tiếp thì tập trung ngay tụ điện như trong H.10.15b. Điều này đưa đến một sự phân bố nhảy nắc của điện áp dọc đường dây.

Không giống như tụ điện mắc rẽ, tụ điện nối tiếp không làm tăng khả năng tải của đường dây khi phát nóng là điều kiện giới hạn. Khả năng cung cấp công suất kháng của tụ điện nối tiếp là không đáng kể so với trườngh hợp mắc rẽ. Sự khác nhau này là do tụ điện rẽ cung cấp một phần công suất kháng yêu cầu của phụ tải trong khi đó tụ điện nối tiếp thì bù một phần yêu cầu công suất phản kháng của đường dây (tổn thất công suất kháng của đường dây). Thật vậy, công suất kháng của tụ điện nối tiếp là:

$$Q'_C = I^2 X'_C \quad (10.40)$$

Còn công suất kháng của tụ điện mắc rẽ là:

$$Q_C = \frac{U_N^2}{X_C} \quad (10.41)$$

Nếu chọn đại lượng cơ bản sao cho  $U_N = 1$  đvtđ và dòng điện tải đầy là 1 đvtđ thì tỷ số:

$$\frac{Q'_C}{Q_C} = X'_C X_C \quad (10.42)$$

Ví dụ: nếu  $X = 0,1$  và đường dây được bù dọc 50%,  $X'_C = 0,05$  và nếu  $\cos \varphi = 0,7$  được

nâng lên 0,9 do tụ điện mắc rẽ thì:

$$X_C = \frac{U_N}{I_C} = \frac{U_N}{I \sin \varphi - I' \sin \varphi'} = \frac{1}{\sqrt{1-0,7^2} - \sqrt{1-0,9^2}} = 2,5$$

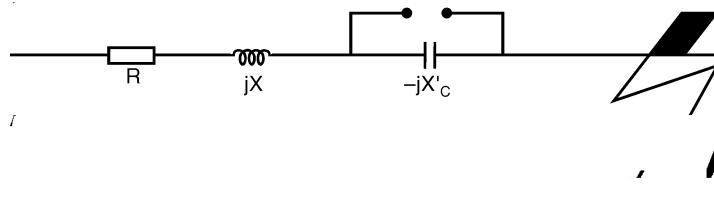
với  $I$ : dòng điện đường dây trước khi bù ngang ;  $I'$ : dòng điện đường dây sau khi bù ngang, gần đúng  $I \approx I' = 1$  đvtđ

Từ đó  $\frac{Q'_C}{Q_C} = 2,5 \cdot 0,05 = 0,125$

Nói cách khác, tụ điện nối tiếp chỉ cung cấp khoảng 12,5% công suất kháng phát ra bởi tụ điện rẽ.

Ngoài còn có một vài khó khăn đáng kể khi áp dụng tụ điện nối tiếp:

- Tụ điện nối tiếp thường chịu điện áp  $X'_C$  nghĩa là chỉ vài phần trăm của điện áp đường dây. Tuy vậy, nếu đường dây bị ngắn mạch ở phía bên kia cửa bộ tụ điện thì tụ điện sẽ chịu điện áp của đường dây (H.10.16). Do đó, nếu thiết kế tụ điện để chịu được tình trạng điện áp cao này thì không kinh tế vì cả kích thước và giá thành của tụ điện tăng theo bình phương của điện áp. Có thể dùng giải pháp đặt một khe hở song song với tụ điện, nếu điện áp cao trở nên nguy hiểm cho tụ điện, khe hở phóng điện và một khoá cơ khí được đóng lại để nối tắt khe hở này lại và đồng thời dập tắt hồ quang. Khi đường dây trở lại bình thường, khoá cơ khí được mở ra và khôi phục mạch điện trở lại trạng thái bình thường.



**Hình 10.16:** Ngắn mạch trên đường dây có tụ bù dọc.

- Vào lúc mở máy động cơ đồng bộ và không đồng bộ qua một tụ điện nối tiếp xuất hiện tình trạng cộng hưởng làm cho động cơ bị giữ ở vận tốc thấp hơn vận tốc đồng bộ. Biện pháp khắc phục là nối điện trở thích hợp song song với tụ điện nối tiếp. Điện trở này gây thêm tổn hao, nhưng nó có thể cách ly ra sau khi động cơ mở máy.

- Động cơ đồng bộ sau khi vận hành có khuynh hướng dao động quanh vận tốc đồng bộ nếu tải của nó nhỏ và nếu tỷ số  $\frac{R}{X}$  của đường dây cung cấp là lớn. Sự chạy không bình thường này thường không xảy ra trên các đường dây thông thường, nhưng nếu điện kháng của đường dây được bù một phần bằng tụ điện nối tiếp thì hiện tượng này có thể xảy ra.

- Cộng hưởng sét từ giữa máy biến áp và tụ điện nối tiếp có thể xảy ra và tạo quá điện áp điều hòa. Sự quá điện áp này thường bắt đầu ở thời điểm khởi động máy biến áp và nó duy trì cho đến khi khe hở mắc song song nối trên loại trừ được nhiễu loạn bằng cách nối tắt tụ điện lại trong một thời gian ngắn.

**Ví dụ 10.1:** Một đường dây 15 kV dùng dây dẫn AC-120, dài 6 km, điện trở  $r_0 = 0,27 \Omega/km$ , cảm kháng  $0,327 \Omega/km$ . Phụ tải ở cuối đường dây 6000 kVA, ở hệ số công suất 0,8 trễ.

- a) Tính phần trăm sụt áp đến cuối đường dây;
- b) Xác định dung lượng tụ bù ngang để phần trăm sụt áp là 5%;
- c) Nếu vẫn giữ sụt áp như trong câu a) với lượng bù đã xác định trong b), xác định công suất tải nếu hệ số công suất của tải không đổi;
- d) Với phụ tải ban đầu, xác định dung kháng tụ bù dọc để phần trăm sụt áp là 5%;
- e) Nếu vẫn giữ sụt áp như trong câu a) và đặt tụ bù dọc như trong d), xác định công suất tải nếu hệ số công suất của tải vẫn không đổi;
- f) Tổn thất công suất trên đường dây và hệ số công suất đầu phát khi chưa bù và khi bù trong câu b) và d).

### Giải

*a) Phần trăm sụt áp*

$$\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \sin\varphi = 0,6$$

Hằng số sụt áp:

$$K\% = \frac{r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi}{U_{dm}^2 1000} 100\% = \frac{0,27 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6}{15^2 \cdot 1000} 100\% = 0,0001832\% /kVA.km$$

Phần trăm sụt áp đến cuối đường dây:

$$\Delta U\% = K\% \cdot S \cdot 1 = 0,0001832\% \cdot 6000 \cdot 6 = 6,59\%$$

*b) Dung lượng tụ bù ngang*

Nếu sụt áp sau khi bù ngang là 5% thì độ tăng điện áp do tụ bù là:

$$\mathcal{R}_C = \Delta U_C = 0,0659 - 0,05 = 0,0159 \text{ đvtđ}$$

Dung kháng một pha của tụ bù (giả thiết mắc Y) (theo 10.9)

$$X_C \approx \frac{X}{2} \left( \frac{1}{\mathcal{R}_C} + 1 \right) + \sqrt{\frac{X^2}{4} \left( \frac{1}{\mathcal{R}_C} + 1 \right)^2 - \frac{R^2}{2\mathcal{R}_C} - \frac{X^2}{\mathcal{R}_C}}$$

với  $R = r_0 \cdot 1 = 0,27 \cdot 6 = 1,62 \Omega$ ;  $X = x_0 \cdot 1 = 0,327 \cdot 6 = 1,962 \Omega$

$$X_C = \frac{1,962}{2} \left( \frac{1}{0,0159} + 1 \right) + \sqrt{\frac{1,962^2}{4} \left( \frac{1}{0,0159} + 1 \right)^2 - \frac{1,62^2}{2 \cdot 0,0159} - \frac{1,962^2}{0,0159}} = 122,71 \Omega$$

Suy ra công suất ba pha của bộ tụ bù:

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = \frac{15^2}{122,71} = 1,833 \text{ MVAr} = 1833 \text{ kVAr}$$

*c) Tăng khả năng tải do bù ngang*

Nếu sụt áp vẫn là 6,59% sau khi đặt tụ bù 1833 kVAr thì công suất phụ tải mới  $S'$  so với công suất  $S$  phụ tải ban đầu cho bởi:

$$\frac{S'}{S} = \frac{\Delta U + \mathcal{R}_C}{\Delta U} = \frac{0,0659 + 0,0159}{0,0659} = 1,24$$

hay  $S' = 1,24 \cdot 6000 = 7440 \text{ kVA}$  ở  $\cos\varphi = 0,8$ .

*d) Bù dọc*

Nếu dùng tụ bù dọc để sụt áp là 5%, thì độ tăng điện áp do bù dọc là 0,0159 đvtđ hay tính theo điện áp pha, điện áp được tăng thêm:

$$\Delta U'_c = \frac{15000.0,0159}{\sqrt{3}} = 137,7 \text{ V}$$

Biết rằng  $\Delta U'_c = IX'_c \sin \varphi$ , suy ra dung kháng tụ bù dọc:

$$X'_c = \frac{\Delta U'_c}{I \sin \varphi} = \frac{137,7}{230,94.0,6} = 0,994 \Omega$$

trong đó:  $I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{6000}{\sqrt{3}.15} = 230,94 \text{ A}$

tương ứng với độ bù dọc

$$C\% = \frac{X'_c}{X} 100\% = \frac{0,994}{1,962} 100\% = 50,66\%$$

e) *Tăng khả năng tải do bù dọc*

$$\rho_v = \frac{S'}{S} = \frac{R \cos \varphi + X \sin \varphi}{R \cos \varphi + (X - X'_c) \sin \varphi} = \frac{1,62.0,8 + 1,962.0,6}{1,62.0,8 + (1,962 - 0,994).0,6} = 1,32$$

suy ra:  $S' = \rho_v \cdot S = 1,32 \cdot 6000 = 7920 \text{ kVA}$  ở  $\cos \varphi = 0,8$

f) *Tổn thất công suất và hệ số công suất đầu phát*

*Khi chưa bù*

Công suất phụ tải  $6000 \text{ kVA}$  ở  $\cos \varphi = 0,8$ , suy ra  $P_N = P = 4800 \text{ kW}$  và  $Q_N = Q = 3600 \text{ kVAr}$

Tổn thất công suất tác dụng:

$$\Delta P = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U^2} R = \frac{6000^2}{15^2} 1,62 \cdot 10^{-3} = 259,2 \text{ kW}$$

Tổn thất công suất phản kháng:

$$\Delta Q = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U^2} X = \frac{6000^2}{15^2} 1,962 \cdot 10^{-3} = 313,92 \text{ kVAr}$$

Công suất đầu phát:

$$P_P + jQ_P = (4800 + 259,2) + j(3600 + 313,92) = 5059,2 + j3913,92 \text{ kVA}$$

Suy ra hệ số công suất đầu phát  $\cos \varphi_P = 0,79$

*Khi bù ngang*

Công suất ở đầu nhận của đường dây:

$$P_N = 4800 \text{ kW}, Q_N = Q - Q_{bù} = 3600 - 1833 = 1767 \text{ kVAr}$$

Hệ số công suất đầu nhận:  $\cos \varphi_N = 0,938$

Tổn thất công suất tác dụng:

$$\Delta P = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U^2} R = \frac{4800^2 + 1767^2}{15^2} 1,62 \cdot 10^{-3} = 188,37 \text{ kW}$$

Tổn thất công suất phản kháng:

$$\Delta Q = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U^2} X = \frac{4800^2 + 1767^2}{15^2} 1,962 \cdot 10^{-3} = 228,14 \text{ kVAr}$$

Công suất đầu phát:

$$P_P + jQ_P = (4800 + 188,37) + j(1767 + 228,14) = 4988,37 + j1995,14 \text{ kVA}$$

Suy ra hệ số công suất đầu phát:

$$\cos\varphi_P = 0,93$$

Khi bù dọc

$$S_N = 6000 \text{ kVA}, \quad P_N = 4800 \text{ kW}, \quad Q_N = 3600 \text{ kVAr}$$

Tổn thất công suất tác dụng:

$$\Delta P = \frac{S_N^2}{U^2} R = \frac{6000^2}{15^2} 1,62 \cdot 10^{-3} = 259,2 \text{ kW}$$

Tổn thất công suất phản kháng:

$$\Delta Q = \frac{S_N^2}{U^2} (X - X_C) = \frac{6000^2}{15^2} (1,962 - 0,994) \cdot 10^{-3} = 154,88 \text{ kVAr}$$

Công suất đầu phát:

$$P_P + jQ_P = (4800 + 259,2) + j(3600 + 154,88) = 5059,2 + j3754,88 \text{ kVA}$$

Suy ra hệ số công suất đầu phát:

$$\cos\varphi_P = 0,803$$

## 10.8 ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP HỆ THỐNG PHỨC TẠP BẰNG CÁCH ĐƯA CÔNG SUẤT KHÁNG VÀO THANH CÁI

Phần lớn các phụ tải dùng điện đều có tính cảm đòi hỏi tiêu thụ công suất phản kháng, ngoài ra khi truyền tải công suất trên mạng điện thì trong mạng điện cũng bị tổn hao công suất kháng do cảm kháng của đường dây và thiết bị. Một số các vấn đề liên quan đến phụ tải phản kháng là:

1. Tổn hao công suất tác dụng  $\Delta P$  trong đường dây và thiết bị;
2. Tăng vốn đầu tư tải điện đối với đường dây và thiết bị;
3. Gây ra sụt áp, trắc đồ điện áp sa sút từ đầu nguồn đến phụ tải.

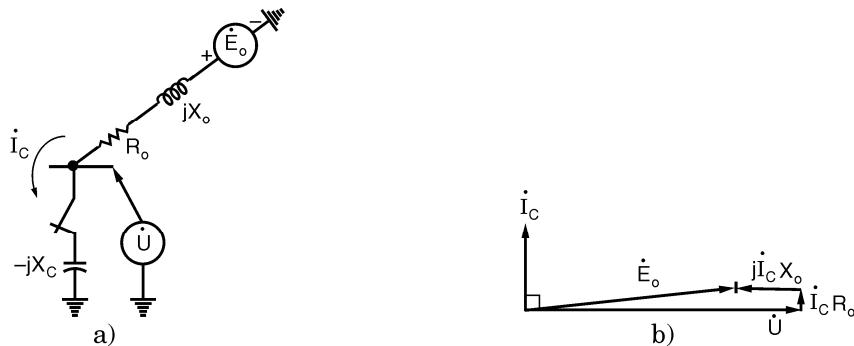
Cả ba vấn đề này đã được đề cập kỹ lưỡng trong mục trước khi khảo sát riêng một đường dây. Nhiều khảo sát điều khiển công suất công suất kháng được dựa trên quan điểm kinh tế. Tuy vậy, việc đưa công suất kháng vào nơi cần thiết nhằm cải thiện trắc đồ điện áp làm cho trắc đồ này được bằng phẳng hơn, trong phần lớn trường hợp cũng nhằm cải thiện khung cảnh kinh tế. Các nguồn công suất kháng trong hệ thống bao gồm:

- a) Bộ tụ điện mắc re;
- b) Máy phát điện hay máy bù đồng bộ.

Sau đây sẽ đề cập lần lượt hai khảo sát này:

### 10.8.1 Sự thay đổi điện áp thanh cái do việc đóng bộ tụ điện bù ngang

Phương pháp tiêu chuẩn để xác định sự thay đổi điện áp  $\Delta U_C$  ở thanh cái có đóng tụ điện là dùng sức điện động  $E_0$  và tổng trở  $Z_0$  tương đương Thevenin ở thanh cái có đóng tụ điện (H.10.17a).

**Hình 10.17:** Ảnh hưởng của việc đóng tụ điện đến điện áp thanh cái

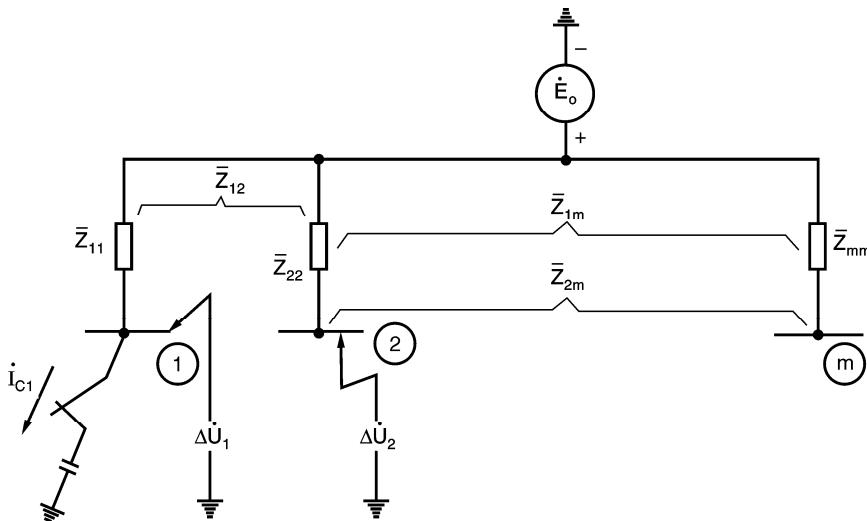
Đồ thị vectơ H.10.17b đã được giải thích kỹ lưỡng ở mục trước. Hiệu số giữa  $|\dot{E}_o|$  và  $|\dot{U}|$  thường được xem là độ tăng điện áp do tụ điện  $\Delta U_C$  xảy ra ở thanh cái. Giá trị  $\Delta U_C$  gần đúng bằng:

$$\Delta U_C \approx I_C X_0 \quad \text{đvtđ} \quad (10.43)$$

Đối với một điện áp nhất định tại thanh cái, công suất kháng của tụ điện tỷ lệ với  $I_C$  và do đó cũng tỷ lệ với  $\Delta U_C$ .

Trong khi phương pháp Thevenin tương đương có lợi trong việc xác định  $\Delta U_C$  ở một thanh cái đặc biệt có đóng tụ điện thì việc xác định các  $\Delta U_C$  ở những thanh cái khác do ảnh hưởng của việc đóng tụ điện vào một thanh cái hệ thống cũng là điều quan trọng. Sự hiểu biết này không những vận dụng vào việc điều chỉnh điện áp mà còn tránh khỏi tình trạng lộn xộn xảy ra khi đóng ngắt tự động các bộ tụ ở các thanh cái.

Để giải quyết vấn đề này, ma trận tổng trở thanh cái và mạch tương đương hình cào của nó sẽ được dùng để cung cấp các lượng thông tin  $\Delta U_C$  này. H.10.18 là một mạch tương đương hình cào của một hệ thống điện có m thanh cái với thanh cái trung tính làm chuẩn.

**Hình 10.18:** Mạch tương đương hình cào áp dụng vào việc đóng tụ điện

Có thể tham khảo lại cách thành lập ma trận  $[Z]_{TC}$  và nếu thanh cái trung tính được chọn làm chuẩn thì tổng trở của máy phát điện phải được kể vào trong mạch tương đương hình cào.

$Z_{11}, Z_{22}, \dots$  là các tổng trở bản thân hay tổng trở đầu vào lần lượt của thanh cái 1, 2... trong trường hợp này chúng cũng là các tổng trở Thevenin từ các thanh cái 1, 2... ngược về thanh cái chuẩn.

Có thể nhận xét tất cả các phần tử có tổng trở tương đối lớn xem như ảnh hưởng không đáng kể vào mạch tương đương chẳng hạn như phụ tải, nhánh từ hóa của máy biến áp, điện dung đường dây ... Sự có mặt của phụ tải không gây ảnh hưởng nhiều đến sự thay đổi điện áp khi đóng bộ tụ điện nếu như phụ tải này vẫn giữ không đổi trước và sau khi đóng tụ.

Giả thiết rằng một tụ điện được đóng vào thanh cái 1. Bằng cách đưa thêm sức điện động  $E_o$  ở phía sau mạng thụ động, đồ thị vectơ của thanh cái 1 do việc đóng tụ vào thanh cái 1 giống như đã vẽ trong H.10.17.

Độ tăng điện áp ở thanh cái 1 là:

$$\Delta \bar{U}_{11} = \bar{I}_{C1} \cdot \bar{Z}_{11} \quad (10.44)$$

Giá trị gần đúng của  $\Delta U_{11}$  là:

$$\Delta \bar{U}_{11} \approx \bar{I}_{C1} \cdot X_{11} \quad (10.45)$$

Tương tự, độ thay đổi điện áp trên thanh cái 2 do việc đóng tụ điện vào thanh cái 1 là:

$$\Delta \bar{U}_{12} = \bar{I}_{C1} \cdot \bar{Z}_{12} \quad (10.46)$$

Nếu bỏ qua sự khác nhau về góc pha giữa các điện áp  $U_1, U_2, \dots, U_m$  thì các thay đổi về độ lớn của điện áp xảy ra tại các thanh cái do việc đóng tụ điện vào thanh cái 1 gần đúng như sau:

$$\begin{aligned} \Delta U_{11} &\approx |I_{C1}| \cdot |X_{11}| & \text{đvtđ} \\ \Delta U_{12} &\approx |I_{C1}| \cdot |X_{12}| \end{aligned} \quad (10.47)$$

$$\Delta U_{1n} \approx |I_{C1}| \cdot |X_{1n}|$$

**Ví dụ 10.2:** Một mạng điện gồm sáu thanh cái, mỗi thanh cái có bộ tụ điện có công suất từ 4,8 MVar đến 18 MVar.

Ma trận điện kháng thanh cái như dưới đây:

	1	2	3	4	5	6
1	21,1	5,19	12,7	14,2	8,3	11,9
2		6,95	4,4	4,54	4,05	4,35
3			32,2	16,8	12,6	29,2
4				18,5	10,2	15,4
5					16,1	12,4
6						36,0

Các điện kháng tính theo phần trăm trên cơ bản 50 MVA.

Tính ảnh hưởng của việc đóng bộ tụ điện 4,8 MVar ở thanh cái 3 lần lượt đến các thanh cái 3, 6 và 4.

**Giải**

Phần trăm thay đổi  $\Delta U\%$  khi đóng tụ điện ở thanh cát 3 là

$$\Delta U_{33}\% = I_C \cdot X_{33}\%$$

với

$$I_C = \frac{Q_C}{S_{cb}} = \frac{4,8}{50} = 0,096 \text{ đvtđ}$$

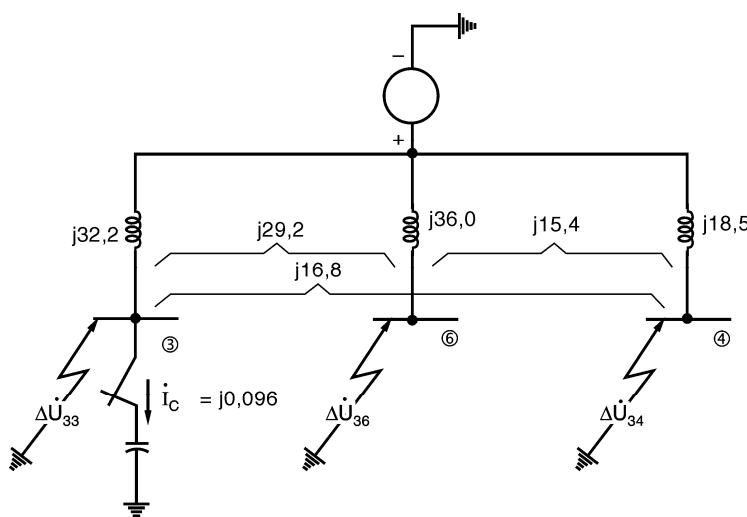
$$\Delta U_{33}\% = 0,096 \cdot 32,2 = 3,09\% \text{ tăng}$$

Tương tự

$$\Delta U_{36}\% = I_C \cdot X_{36}\% = 0,096 \cdot 29,2 = 2,81\% \text{ tăng}$$

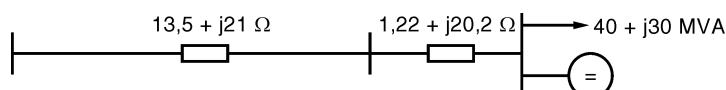
và

$$\Delta U_{34}\% = I_C \cdot X_{34}\% = 0,096 \cdot 16,8 = 1,61\% \text{ tăng}$$



**Hình 10.19:** Mạch tương đương hình cào của ví dụ 10.2.

**Ví dụ 10.3:** Một trạm biến áp 110/10 kV, có tổng trở qui về phía 110 kV là  $1,22 + j20,2 \Omega$  được cung cấp bằng hai đường dây song song 110 kV với dây dẫn AC-120. Tổng trở một đường dây là  $13,5 + j21 \Omega$ , phụ tải  $40 + j30 \text{ MVA}$ . Xác định công suất của máy đồng bộ, biết rằng khi sự cố một đường dây điện áp phía hạ áp qui về cao áp giảm xuống 100 kV, nhưng yêu cầu phải duy trì ở mức 105 kV (qui về phía cao áp)



Tổng trở của một đường dây nối tiếp với máy biến áp (khi sự cố một đường dây):

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \bar{Z}_d + \bar{Z}_B = (13,5 + j21) + (1,22 + j20,2) \\ &= 14,72 + j41,2 \Omega = R + jX \end{aligned}$$

Độ tăng điện áp khi đặt thiết bị bù:

$$\Delta U_{tăng} = 105 - 100 = 5 \text{ kV}$$

Trong đơn vị có tên, độ tăng này được viết:

$$\Delta U_{tăng} = \sqrt{3}X \cdot I_C$$

$$\text{Suy ra: } I_C = \frac{\Delta U_{tăng}}{\sqrt{3}X} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 41,2} = 0,07 \text{ kA}$$

$$\text{Công suất máy bù: } Q_C = \sqrt{3}U_C I_C = \sqrt{3} \cdot 105 \cdot 0,07 = 12,73 \text{ MVAr}$$

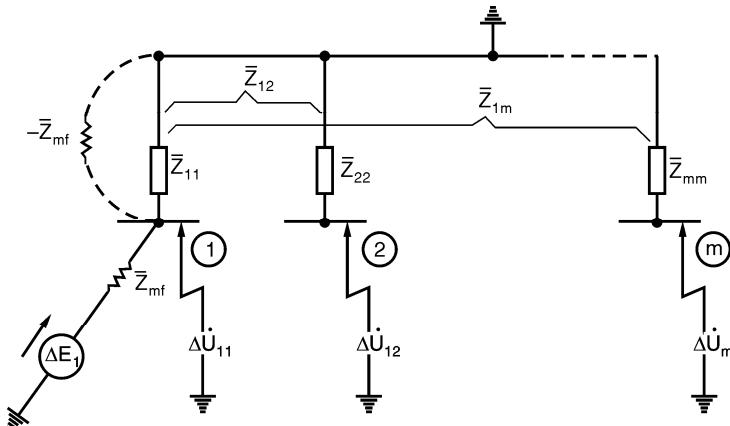
### 10.8.2 Tác dụng của việc đưa công suất kháng máy phát đến điện áp thanh cái

Trong mạch tương đương hình cào trình bày trên đây thì điện áp máy phát được giả thiết là bằng nhau và chúng được tập trung lại thành một máy phát chung có sức điện động bằng điện áp hở mạch Thevenin  $E_0$  đặt phía sau mạng điện thụ động - các tổng trở của máy phát hiện là một phần của mạng điện thụ động.

Giả thiết ban đầu sức điện động của các máy phát điện bằng nhau được biểu diễn bằng một nguồn duy nhất cung cấp cho mạch tương đương hình cào. Kế đó thay đổi mạch tương đương có kể đến ảnh hưởng của các biến độ của điện áp máy phát không bằng nhau.

Ví dụ, giả thiết thanh cái 1 là thanh cái đầu cực máy phát, máy phát này được tăng kích từ để tăng biên độ điện áp đầu cực và do đó tăng lượng công suất kháng phát vào hệ thống.

Để xử lý sự thay đổi này, thanh cái 1 cần được giữ lại trong mạch tương đương hình cào. Nhớ rằng tổng trở của máy phát điện đã được kể vào trong ma trận và theo lý thuyết vẫn có thể lấy nó ra khỏi mạch tương đương trước khi khảo sát việc đưa công suất kháng từ máy phát vào thanh cái 1. Muốn vậy, một tổng trở  $-\bar{Z}_{mf}$  được thêm vào mạch tương đương giữa thanh cái 1 và trung tính sau đó dùng cách thay đổi ma trận khi có một nhánh mới  $(-\bar{Z}_{mf})$  nối từ thanh cái chuẩn đến thanh cái cũ số 1 (H.10.20.).



Hình 10.20

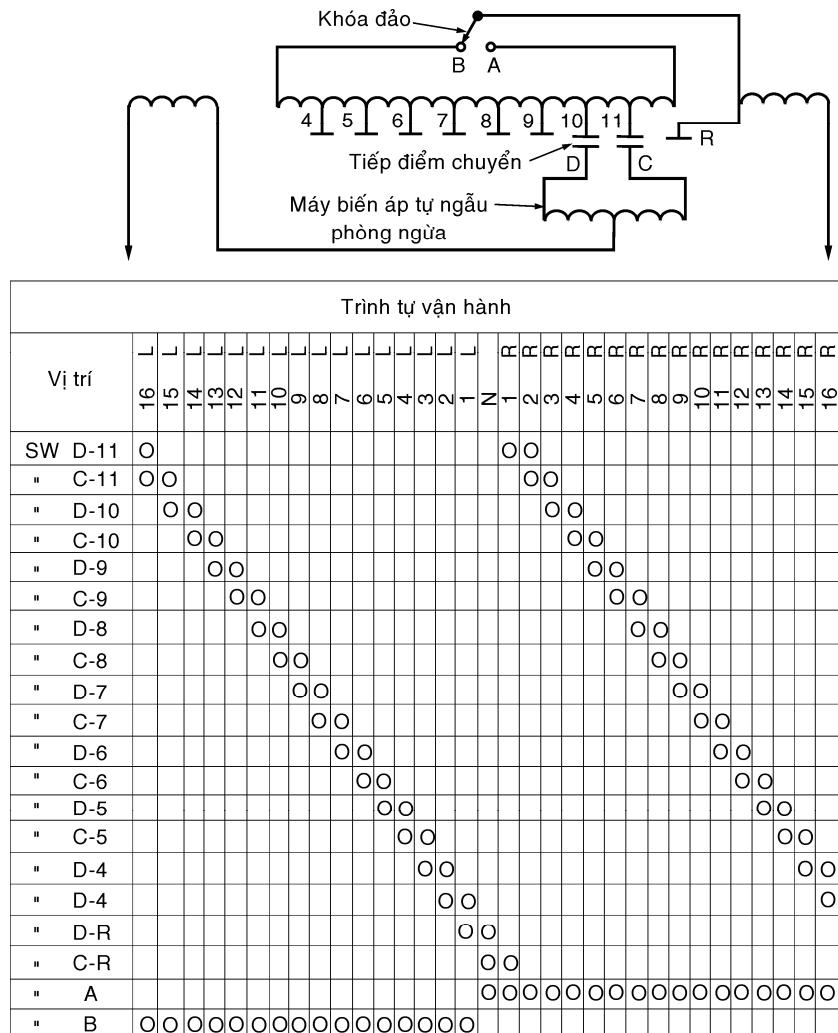
Hình 10.20: đưa công suất kháng vào hệ thống từ máy phát 1 trong đó ảnh hưởng của  $\Delta E$  được chồng chất lên hệ thống.

Dòng điện ( $I_C$ ) chạy theo đường từ  $\Delta E_1$  qua  $\bar{Z}_{11}'$  của nhánh cào thứ nhất và nó sẽ cảm ứng các độ thay đổi điện áp  $\Delta \dot{U}$  trên các thanh cái khác.

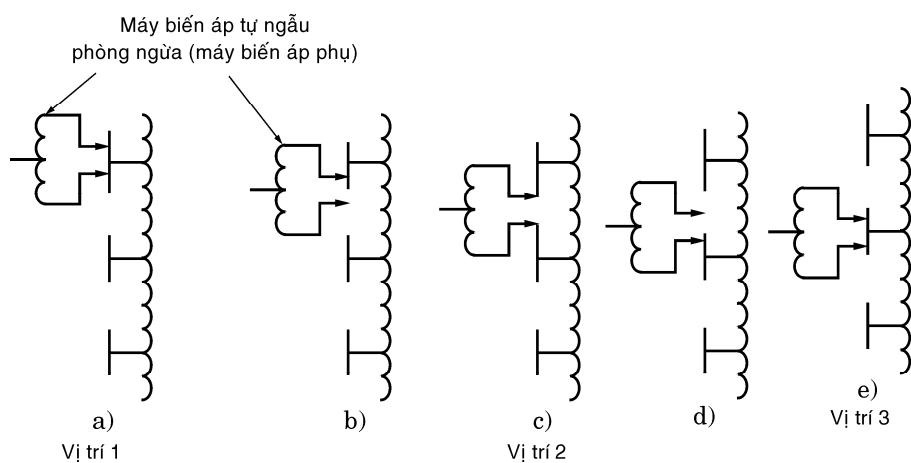
Việc đưa công suất kháng từ máy phát, về cơ bản giống với việc đưa công suất kháng của tụ điện vào thanh cái, nghĩa là cũng có:

$$\Delta \dot{U}_{11} = I_C \cdot \bar{Z}_{11}'$$

Chỉ có điều khác là giá trị của  $\bar{Z}_{11}$  được sửa lại thành  $\bar{Z}_{11}'$  do việc loại trừ máy phát 1 ra khỏi mạch tương đương.



**Hình 10.21:** Sơ đồ nguyên lý và tiến trình thao tác của đầu phân áp 33 vị trí kiểu URS  
 O: đóng tiếp điểm R: tăng L: Giảm



**Hình 10.22:** Trình tự thay đổi nấc phân áp

Tuy nhiên, trên thực tế không cần sửa đổi lại ma trận thanh cái ứng với sự loại trừ  $Z_{mf}$  vì tổng trở đồng bộ của máy phát lớn hơn tổng trở bản thân của thanh cái 1 rất nhiều.

Ngoài ra, sự thay đổi điện áp ở các thanh cái khác cũng được tính toán theo công thức tương tự khi đóng tụ điện.

Trong hệ thống điện với các thanh cái có tụ điện và thanh cái máy phát, cả hai đều có khả năng điều chỉnh điện áp, vấn đề đặt ra là cần phải có một bảng chỉ dẫn nhanh nơi nào đưa công suất kháng vào là có hiệu quả nhất. Điều này có thể làm được bằng cách đổi ma trận điện kháng (tính theo phần trăm) thành một bảng điện áp tính theo phần trăm thay đổi điện áp ứng với mỗi MVar công suất kháng đưa vào. Bảng này được thành lập bằng cách nhân tất cả các phần tử của ma trận điện kháng với dòng điện  $I_C$  trong đơn vị tương đối,  $I_C$  này ứng với 1 MVar công suất kháng đưa vào, nói cách khác là dùng thừa số:

$$K_I = \frac{1 \text{ MVar}}{S_{cb}} \quad (10.48)$$

Vậy thì ma trận độ tăng điện áp cho bởi

$$\left[ \begin{matrix} \Delta U \% & \text{tăng} \\ \text{MVar} \end{matrix} \right] = K_I [X]_{TC} \quad (10.49)$$

## 10.9 ĐẦU PHÂN ÁP CỦA MÁY BIẾN ÁP

Đầu phân áp điều áp dưới tải của máy biến áp chủ yếu dùng để điều chỉnh điện áp (cùng pha) của máy biến áp điện lực và trong một số trường hợp dùng để điều chỉnh góc pha. Trong hệ thống phân phối, đầu phân áp dùng để duy trì một điện áp không đổi phía thứ cấp (phía điện áp thấp) khi điện áp phía sơ cấp thay đổi, để điều chỉnh điện áp phía thứ cấp khi điện áp phía sơ cấp cố định, để điều khiển dòng công suất kháng giữa hai nhà máy hoặc giữa các nhánh của mạng điện kín và để điều khiển sự phân bố công suất giữa các nhánh của mạng kín bằng cách dịch góc pha điện áp ra của các máy biến áp.

Có nhiều loại mạch và thiết bị thay đổi đầu phân áp tùy theo điện áp và công suất của máy biến áp và tùy theo mục đích điều chỉnh điện áp hay góc pha. Đầu phân áp điều áp dưới tải được thiết kế với 8, 16, 32 nấc và nhiều hơn nữa để có thể điều chỉnh tinh hơn, phạm vi điều chỉnh  $\pm 5\%$ ,  $\pm 7,5\%$ ,  $\pm 10\%$ . Bộ điều chỉnh 32 nấc,  $\pm 10\%$  có 16 nấc theo chiều tăng hay giảm và mỗi nấc thay đổi 5/8% điện áp. Đầu phân áp thường đặt ở phía cuộn dây sơ cấp của máy biến áp vì ở phía này các tiếp điểm của đầu phân áp chỉ phải đóng cắt dòng điện nhỏ khi thay đổi đầu phân áp.

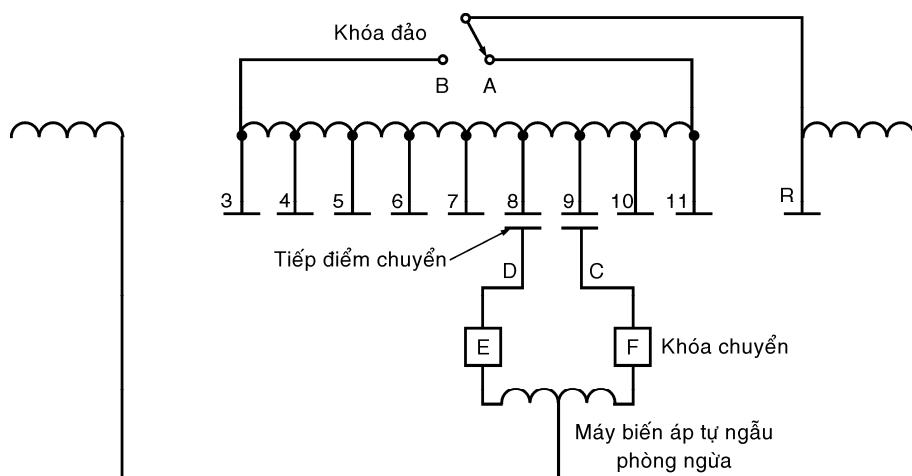
Việc thay đổi đầu phân áp trong máy biến áp điều áp dưới tải không cần phải cắt tải bằng cách dùng một biến áp tự ngẫu tạm gọi là máy biến áp phụ. Quá trình thay đổi đầu phân áp từ đầu phân áp này sang đầu phân áp khác cho thấy vai trò của máy biến áp phụ được minh họa trong H.10.21 đối với đầu phân áp kiểu URS.

Các vị trí thực tế của đầu phân áp vẽ ở H.10.22. Máy biến áp tự ngẫu phụ có khả năng mang dòng điện tải đầy của máy biến áp một cách liên tục qua bất cứ đầu phân áp nào trong trường hợp có sự hư hỏng về cơ khí làm cho bộ phận chuyển đổi đầu phân áp bị dừng lại nửa chừng như ở hình (b) và (d). Trong trường hợp máy tự ngẫu bắt cầu với hai đầu phân áp như trong hình (c), ở vị trí này trở kháng cao của máy tự ngẫu đối với dòng điện luân lưu giữa hai

đầu phân áp tránh phá hỏng cuộn dây của máy biến áp trong khi trở kháng thấp của nó đối với dòng điện phụ tải cho phép vận hành ở vị trí này với điện áp trung gian giữa hai đầu phân áp (máy biến áp phụ còn gọi là máy biến áp tự ngẫu phòng ngừa).

Khóa đảo chiều dùng thay đổi hướng tăng hay giảm điện áp khi thay đổi đầu phân áp, khóa này chỉ được dịch chuyển khi các tiếp điểm chọn nấc đang ở vị trí số không (không điều chỉnh tăng hay giảm), vào lúc này không có dòng điện qua khóa đảo và do đó không phát sinh hồn quang khi dịch chuyển khóa đảo.

Trong các máy biến áp công suất lớn ngoài các tiếp điểm chuyển nấc còn có thêm khoá chuyển (H.10.23) và tiến trình chuyển nấc được thực hiện sao cho việc đóng cắt và hồ quang phát sinh được hạn chế trong khóa chuyển. Khi thay đổi từ nấc phân áp này sang nấc phân áp khác, để thực hiện việc cắt mạch thì khóa chuyển phải mở ngay trước khi tiếp điểm chọn nấc mở và đóng lại ngay sau khi tiếp điểm chọn nấc đã dịch chuyển sang vị trí mới.



**Hình 10.23:** Sơ đồ nguyên lý đầu phân áp có khóa chuyển

#### 10.10 CHỌN ĐẦU PHÂN ÁP CỦA MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp do Nga sản xuất có công suất từ 5600 kVA trở lên và điện áp bên cao từ 35 kV trở lên đều có bốn đầu phân áp trong phạm vi  $\pm 2 \times 2,5\%$ . Máy biến áp có công suất nhỏ 5600 kVA và thấp hơn 35 kV có hai đầu phân áp ở hai bên đầu định mức phạm vi thay đổi  $\pm 5\%$ . Máy biến áp do Mỹ sản xuất loại điều áp dưới tải có thể có 8,16, 32 nấc điều chỉnh, phạm vi điều chỉnh  $\pm 10\%$  (có loại  $\pm 7,1/2\%$ ,  $\pm 5\%$ ).

Máy biến áp có đầu phân áp không thuộc loại điều áp dưới tải (còn gọi là đầu phân áp thường) thì khi thay đổi đầu phân áp yêu cầu phải cắt máy biến áp ra khỏi mạng để thao tác, như vậy phải bị mất điện do phải có một số thao tác đóng cắt nhất định. Vì vậy không thể thay đổi thường xuyên đầu phân áp, mà cần tính toán chọn một đầu phân áp cố định thỏa mãn được yêu cầu về điện áp tại các hộ tiêu thụ điện trong các tình trạng khác nhau của phụ tải (phụ tải cực đại và phụ tải cực tiểu).

### 10.10.1 Chọn đầu phân áp của máy biến áp giảm áp hai dây quấn

Đối với máy biến áp có đầu phân áp có thể vẽ sơ đồ thay thế gần đúng trong H.10.24. đối với máy giảm áp có đầu phân áp:

$U_{pa}$ : điện áp đầu phân áp ghi trên nhãn máy

$U_{kt,ha}$ : điện áp phía thứ cấp lúc không tải

$U_{pa}/U_{kt}$ : tỷ số biến áp

với  $U_N\% \geq 7.5\%$ ,  $U_{kt,ha} = 1.1 U_{dm,ha}$

$U_N\% < 7.5\%$ ,  $U_{kt,ha} = 1.05 U_{dm,ha}$

Mạch tương đương của máy biến áp giữa hai đầu a và b là mạch tương đương bao gồm tổng trở của máy biến áp nối tiếp với máy biến áp lý tưởng. Để chọn đầu phân áp ( $U_{pa}$ ) sao cho điện áp phía thứ cấp khi mang tải đạt được trị số yêu cầu ( $U_{b,yc}$ ) có thể tiến hành như sau (phép tính gần đúng)

- Tính điện áp  $U'_b$  là điện áp phía thứ cấp qui đổi về phía sơ cấp. Vì chưa chọn được đầu phân áp nên tạm thời qui đổi theo tỷ số định mức của máy biến áp và chấp nhận  $U'_b$  như là điện áp qui đổi sau khi chọn đầu phân áp nghĩa là coi như  $Z_B$  không thay đổi và như vậy:

$$U'_b = U_A - \Delta U_B$$

- Viết quan hệ về tỷ số biến áp qua máy biến áp lý tưởng:

$$\frac{U_{pa}}{U_{kt,ha}} = \frac{U'_b}{U_{b,yc}} = \frac{U_A - \Delta U_B}{U_{b,yc}} \quad (10.50)$$

- Suy ra điện áp  $U_{pa}$  cần chọn:

$$U_{pa} = (U_A - \Delta U_B) \cdot \frac{U_{kt,ha}}{U_{b,yc}} \quad (10.51)$$

**Ví dụ 10.4:** Một trạm biến áp 110/6 kV cung cấp cho phụ tải phía thứ cấp.

Lúc phụ tải cực đại, điện áp trên thanh cái cao áp của trạm  $U_{a2} = 112$  kV, điện áp yêu cầu phía thứ cấp là:  $U_{b2,yc} \geq 6$  kV + 2,5 % = 6,15 kV

Lúc phụ tải cực tiểu  $U_{a1} = 114$  kV và  $U_{b1,yc} \leq 6$  kV + 7,5% = 6,45 kV.

Sụt áp qua máy biến áp trong hai chế độ tải cực đại và cực tiểu lần lượt là

$\Delta U_{B2} = 6,9$  kV và  $\Delta U_{B1} = 4$  kV. Xác định đầu phân áp của máy biến áp, đầu phân áp không thuộc loại điều áp dưới tải.

**Giải**

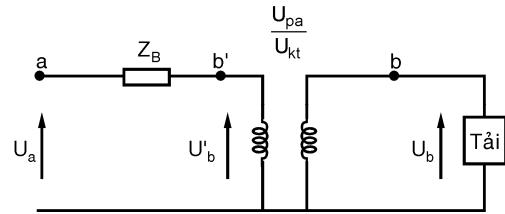
Chọn  $U_{kt,ha} = 1,1 U_{dm} = 1,1 \times 6 = 6,6$  kV

Lúc phụ tải cực đại:  $U_{pa2} = (U_{a2} - \Delta U_{B2}) \cdot \frac{U_{kt,ha}}{U_{b2,yc}} = (112 - 6,9) \cdot \frac{6,6}{6,15} = 113$  kV

Lúc phụ tải cực tiểu:  $U_{pa1} = (U_{a1} - \Delta U_{B1}) \cdot \frac{U_{kt,ha}}{U_{b1,yc}}$

$$= (114 - 4) \cdot \frac{6,6}{6,45} = 112,55 \text{ kV}$$

Đầu phân áp trung bình:



**Hình 10.24:** Sơ đồ thay thế máy biến áp giảm áp

$$U_{pa,tb} = \frac{U_{pa1} + U_{pa2}}{2} = \frac{113 + 112,55}{2} = 112,775 \text{ kV}$$

Chọn đầu phân áp tiêu chuẩn:  $U_{pa,tc} 112,75 \text{ kV}$  (đầu + 2,5%)

Với đầu phân áp vừa chọn, tính lại  $U_{b1}$  và  $U_{b2}$ , nếu kết quả không thỏa mãn với yêu cầu, có thể dùng máy biến áp điều áp dưới tải và chọn từng chế độ một đầu phân áp riêng.

Tính toán kiểm tra như sau:

Phụ tải cực đại:

$$\frac{U_{pa,tc}}{U_{kt,hq}} = \frac{U'_{b2}}{U_{b2}}.$$

Suy ra  $U_{b2} = U'_{b2} \cdot \frac{U_{kt,hq}}{U_{pa,tc}} = (112 - 6,9) \cdot \frac{6,6}{112,75} = 6,15 \text{ kV}$  (đạt yêu cầu)

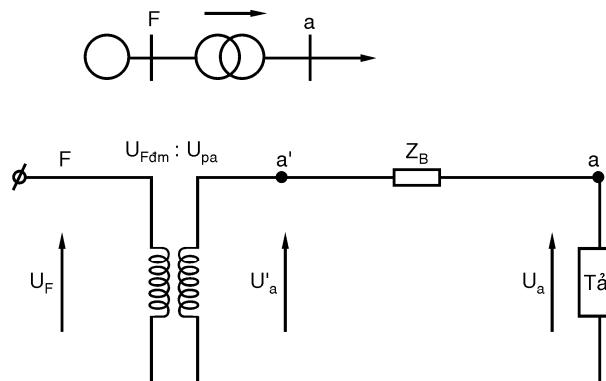
Phụ tải cực tiểu:

$$\frac{U_{pa,tc}}{U_{kt,hq}} = \frac{U'_{b1}}{U_{b1}}.$$

Suy ra  $U_{b1} = U'_{b1} \cdot \frac{U_{kt,hq}}{U_{pa,tc}} = (114 - 4) \cdot \frac{6,6}{112,75} = 6,43 \text{ kV}$  (đạt yêu cầu)

### 10.10.2 Chọn đầu phân áp của máy biến áp tăng áp hai dây quấn

Phía hạ áp nối với máy phát điện, đầu phân áp đặt phía cuộn dây cao áp. Sơ đồ thay thế trong H.10.25. Yêu cầu chọn đầu phân áp để điện áp phía cao áp khi máy biến áp mang tải là  $U_{a,yc}$



**Hình 10.25: Sơ đồ thay thế của máy biến áp tăng áp**

Điện áp định mức cuộn hạ áp là điện áp định mức của máy phát.

Lý luận tương tự như trên đối với máy biến áp đang mang tải và máy phát vận hành với điện áp  $U_F$  khác với  $U_{Fdm}$ :

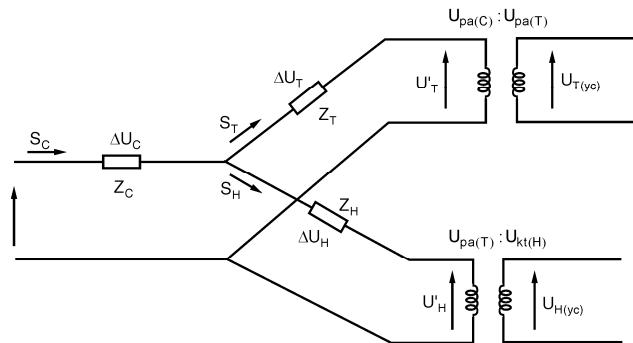
$$\frac{U'_a}{U_F} = \frac{U_{a,yc} + \Delta U_B}{U_F} = \frac{U_{pa}}{U_{Fdm}} \quad (10.52)$$

suy ra:

$$U_{pa} = U_{Fdm} \cdot \frac{U_{a,yc} + \Delta U_B}{U_F} \quad (10.53)$$

### 10.10.3 Chọn đầu phân áp máy biến áp ba pha ba dây quấn

Với máy biến áp ba dây quấn, chỉ có đầu phân áp ở cuộn cao áp và cuộn trung áp, cuộn hạ không có đầu phân áp (H.10.26):



**Hình 10.26:** Sơ đồ thay thế máy biến áp ba dây quấn

Trước hết chọn đầu phân áp cuộn cao áp theo yêu cầu điện áp trên thanh góp hạ áp của máy biến áp:

$$\frac{U'_H}{U_{H(ye)}} = \frac{U_C - (\Delta U_C + \Delta U_H)}{U_{H(ye)}} = \frac{U_{pa(C)}}{U_{kt(H)}} \quad (10.54)$$

Suy ra:  $U_{pa(C)} = \frac{U_C - (\Delta U_C + \Delta U_H)}{U_{H(ye)}} \cdot U_{kt(H)} \quad (10.55)$

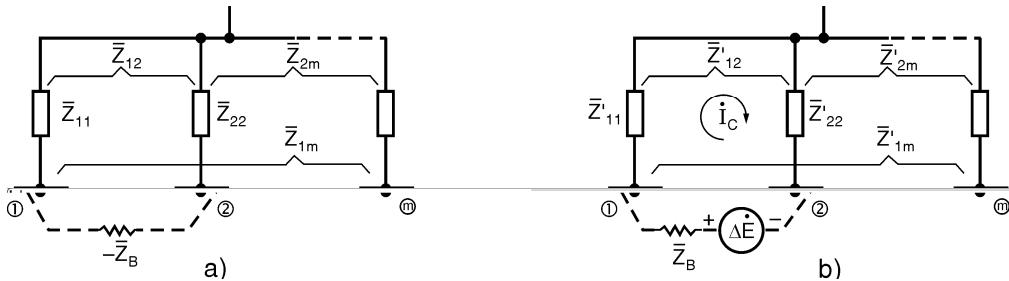
Tiếp theo tìm đầu phân áp cho cuộn trung áp với đầu phân áp  $U_{pa(C)}$  đã chọn và điện áp yêu cầu phía trung áp  $U_{T(ye)}$

$$\frac{U'_T}{U_{T(ye)}} = \frac{U_C - (\Delta U_C + \Delta U_T)}{U_{T(ye)}} = \frac{U_{pa(C)}}{U_{pa(T)}} \quad (10.56)$$

Suy ra:  $U_{pa(T)} = \frac{U_{T(ye)} \cdot U_{pa(C)}}{U_C - (\Delta U_C + \Delta U_T)} \quad (10.57)$

*Ghi chú:* Phép tính trên chấp nhận tổng trở máy biến áp không thay đổi và cho phép xác định nhanh chóng đầu phân áp. Để tính chính xác ảnh hưởng của đầu phân áp, dùng sơ đồ tương đương hình  $\pi$  có xét đầu phân áp trong mục 4.3 chương 4.

Đối với một hệ thống có nhiều thanh cái để khảo sát ảnh hưởng của đầu phân áp đến điện áp trên các thanh cái của hệ thống cần thiết phải trả lại với mạch tương đương hình cào với trung tính làm chuẩn trong H.10.27.



**Hình 10.27**

Trước hết, ma trận thanh cái được sửa đổi lại để loại trừ nhánh chứa tổng trở của máy biến áp bằng cách đóng một nhánh có tổng trở  $-Z_B$  từ thanh cù số 1 đến thanh cái cù số 2 (H.10.27a, dùng phép biến đổi ma trận đã đề cập trong phần thành lập ma trận thanh cái).

Kế đó, nhánh máy biến áp được đưa trở lại mạch tương đương đã sửa đổi gồm có tổng trở  $Z_B$  nối tiếp với sức điện động  $\Delta E$  để biểu diễn cho đầu phân áp tăng từ thanh cái 2 đến thanh cái 1 (H.10.27b).

Khi đóng trở lại nhánh máy biến áp với nguồn điện áp  $\Delta E$ , sẽ được một mạch vòng quanh nhánh hình cà số 1 và số 2, dòng điện  $I_C$  luôn luôn chạy trong mạch vòng này ứng với tổng trở mạch vòng:

$$\bar{Z}_{\text{mạch vòng}} = \bar{Z}_B + \bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} - 2\bar{Z}_{12} \quad (10.58)$$

Suy ra:  $\boxed{I_C} = \frac{\Delta \overset{\square}{E}}{\bar{Z}_{\text{mạch vòng}}}$ , tất cả đều viết trong đơn vị tương đối.

Từ đó, các vectơ tăng điện áp ở các thanh cái do đầu phân áp gây ra là:

$$\Delta \overset{\square}{U}_1 = I_C (\bar{Z}_{11} - \bar{Z}_{12}) \quad (10.59)$$

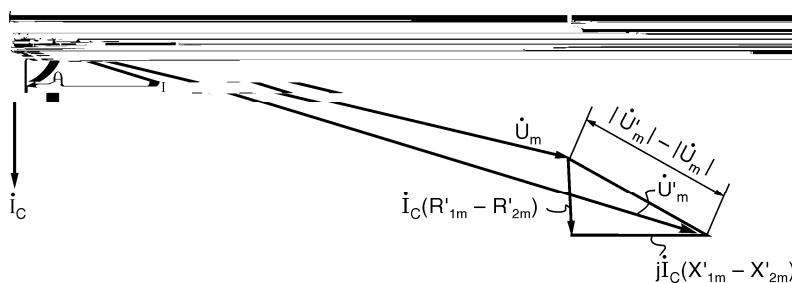
$$\Delta \overset{\square}{U}_2 = \frac{\Delta \overset{\square}{E}}{\bar{Z}_{\text{mạch vòng}}} (\bar{Z}_{11} - \bar{Z}_{12})$$

$$\Delta \overset{\square}{U}_m = \frac{\Delta \overset{\square}{E}}{\bar{Z}_{\text{mạch vòng}}} (\bar{Z}_{1m} - \bar{Z}_{2m})$$

..

$$\Delta \overset{\square}{U}_m = \frac{\Delta \overset{\square}{E}}{\bar{Z}_{\text{mạch vòng}}} (\bar{Z}_{1m} - \bar{Z}_{2m}) \quad (10.60)$$

đây là các phương trình số phức. Về lý thuyết, giá trị  $\Delta \overset{\square}{U}_m$  không nhất thiết biểu diễn cho hiệu  $\left| \overset{\square}{U}'_m \right| - \left| \overset{\square}{U}_m \right|$  trước và sau khi đổi đầu phân áp. Tham khảo đồ thị vectơ H.10.28.



**Hình 10.28:** Đồ thị vectơ cho thấy sự khác nhau giữa vectơ  $\Delta U_m$  và sự thay đổi trị số của điện áp  $U_m$

Tuy vậy, nếu các tổng trở  $Z$  có tỷ số  $\frac{X}{R}$  khá lớn và nếu các góc lệch giữa điện áp các thanh cái (giữa  $U_1$  và  $U_m$ ) cũng nhỏ thì sự thay đổi biên độ của điện áp thanh cái

$\left| \frac{\Delta U_m}{U_m} \right| - \left| \frac{\Delta U_m}{U_m} \right|$  do thay đổi đầu phân áp có thể lấy gần đúng bằng thành phần  $I_C(X_{1m} - X_{2m})$  của vectơ điện áp tăng:

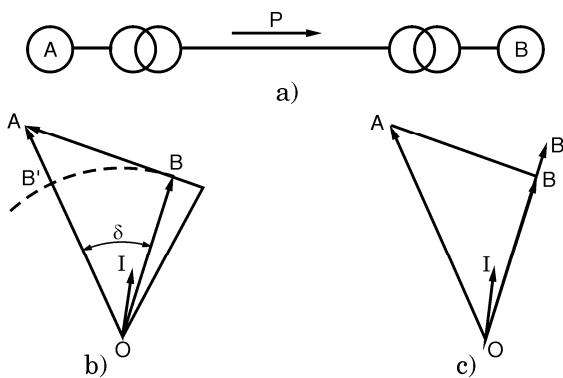
$$\Delta U_m \cong \frac{\Delta E}{X_{\text{mạch vòng}}} (X_{1m} - X_{2m}) \quad (10.61)$$

Phương trình trên cũng áp dụng được cho bất kỳ máy điều chỉnh điện áp nào hoặc máy biến áp tự ngẫu nếu không có sự dịch pha trong khi điều chỉnh.

### 10.11 MÁY BIẾN ÁP ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN ÁP VÀ GÓC PHA

Xét hai hệ thống A và B H.10.29a nối với nhau bằng đường dây truyền tải. Nếu hệ thống A phát công suất nhiều hơn so với phụ tải của nó thì công suất dư này sẽ truyền từ A qua đường dây đến B. Một sự tăng công suất phát ở A sẽ dẫn đến sự giảm công suất phát trong hệ thống B nếu như tần số không thay đổi. Công suất truyền từ A đến B gây ra chênh lệch về trị số điện áp và về góc pha giữa điện áp hai đầu đường dây (H.10.29b).

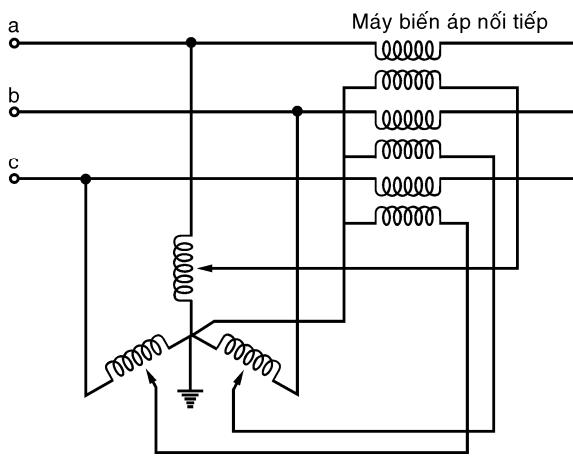
OA là vectơ điện áp ở A, OB là vectơ điện áp ở B, AB vectơ sụt áp từ A đến B,  $\delta$  góc lệch pha điện áp,  $AB'$  sụt áp về trị số điện áp. Mọi ý định nhằm duy trì điện áp thỏa mãn ở A và B thường dẫn đến sự luân lưu không mong muốn của dòng công suất kháng giữa các hệ thống. Công suất tác dụng truyền từ A đến B hay ngược lại được xác định do điều chỉnh bộ điều tốc, công suất kháng truyền trên đường dây nối được xác định bởi điện áp hai đầu đường dây được giữ bởi kích từ ở A và B.



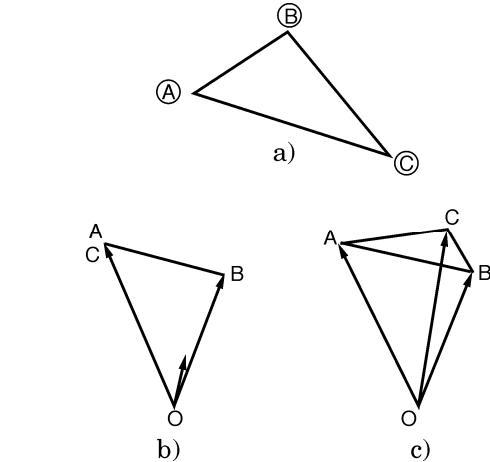
Hình 10.29: Công suất trao đổi giữa hai hệ thống

Sụt áp thái quá giữa các hệ thống có thể được điều chỉnh bằng thiết bị đổi đầu phân áp của máy biến áp điều chỉnh điện áp bằng cách đưa vào một điện áp cùng pha BB' để bù vào sụt áp và nâng điện áp ở B lên trị số mong muốn (H.10.29c). H.10.30. trình bày sơ đồ của một máy biến áp điều chỉnh để điều khiển điện áp dùng một máy biến áp tự ngẫu với thiết bị đổi nấc ký hiệu bằng mũi tên.

Xét hệ thống gồm ba hệ thống A, B, C nối với nhau bằng đường dây nối từ A đến B, từ B đến C và C đến A tạo thành một mạch vòng kín (H.10.31.). Việc điều chỉnh các bộ điều tốc (governor) không hoàn toàn kiểm soát được dòng công suất tác dụng đi trên các đường dây nối. Mọi ý định điều chỉnh tải trên một đường nối đều dẫn đến sự thay đổi tải trên hai đường nối kia.



**Hình 10.30:** Máy biến áp điều chỉnh điều khiển điện áp



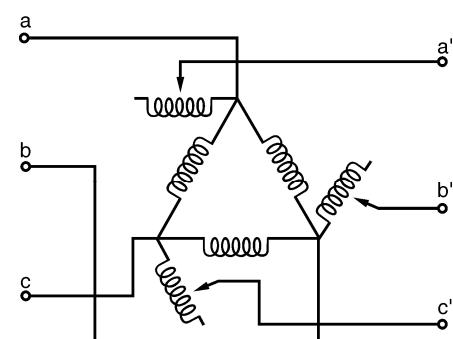
**Hình 10.31:** Trao đổi công suất giữa ba hệ thống liên kết

Với đường nối từ B đến C mở ra và với công suất chỉ truyền tải từ A đến B, điện áp ở A và C bằng nhau về trị số và góc pha vì không có công suất tải giữa A và C. Nếu bây giờ đóng lại đường dây nối BC thì sẽ có sự phân bố lại công suất giữa A và B, một phần công suất đi trên đường dây từ A đến B, một phần cũng đi từ A đến B nhưng thông qua đường dây AC và CB. Sự phân bố công suất tác dụng cũng như phản kháng trên các đường dây phụ thuộc chủ yếu vào tổng trở của các đường nối.

Nếu vào lúc đóng đường dây BC một sự điều chỉnh đầu phân áp của máy biến áp hay do điều khiển của máy biến áp điều chỉnh đặt trên mạch vòng thì có thể làm cho điện áp ở C có trị số bằng với điện áp ở A nhưng vẫn có lệch pha điện áp và vẫn còn công suất truyền từ A đến C và từ C đến B.

Các tình trạng tương tự như đã nêu trên cũng xảy ra trong mạng liên kết bao gồm nhiều mạch vòng. Để điều khiển dòng công suất tác dụng và tránh quá tải trên đường dây thường đưa vào một điện áp vuông góc tại bất kỳ vị trí nào trong vòng kín bằng cách dùng máy biến áp điều khiển góc pha. Máy biến áp này khác với máy biến áp mắc Y- $\Delta$  thông thường ở chỗ góc lệch pha dòng và áp ở đầu vào và đầu ra không phải không đổi mà phụ thuộc vào vị trí của nấc điều chỉnh. H.10.32. trình bày sơ đồ tiêu biểu của máy biến áp điều khiển góc pha.

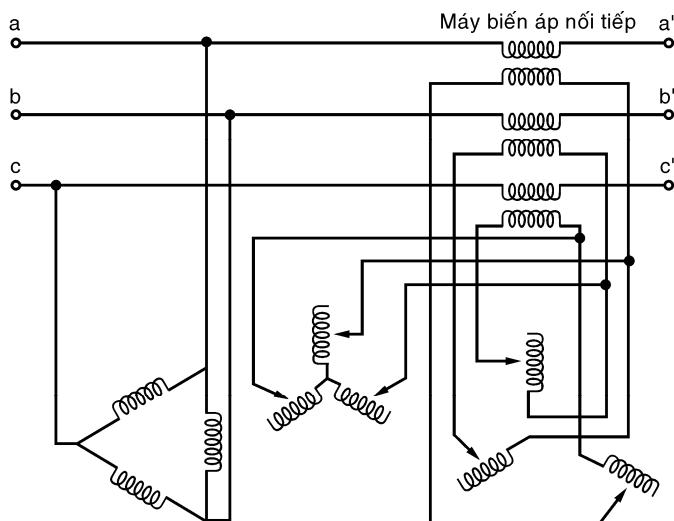
Tổng quát, việc phân bổ công suất tác dụng trên mạch vòng kín có thể được điều khiển bằng máy điều chỉnh pha. Dòng công suất phản kháng có thể điều khiển bằng máy điều chỉnh điện áp. Các phát biểu này dựa trên cơ sở tổng trở của đường dây có cảm kháng lớn hơn nhiều so với điện trở. Máy điều chỉnh điện áp đưa vào mạch vòng kín một điện áp cùng pha nối tiếp và tạo ra một dòng điện trễ vuông góc (công suất phản kháng) luân lưu trong vòng kín do đường dây có tính cảm kháng. Máy điều chỉnh pha đưa vào



**Hình 10.32:** Máy biến áp điều khiển điều khiển góc pha

mạch vòng kín một điện áp vuông góc nối tiếp trên đó và tạo ra một dòng điện luân lưu trễ gần  $90^\circ$  so với điện áp đặt nối tiếp vào tức là gần cùng pha với điện áp mạch vòng và như vậy tạo ra công suất tác dụng luân lưu trên vòng kín.

Trong trường hợp cần điều khiển cả trị số và góc pha điện áp có thể kết hợp hai sơ đồ như trong H.10.33. Trong mạch vòng kín, dòng công suất tác dụng và phản kháng trên các đường dây của mạch vòng cần được điều khiển, vị trí hợp lý nhất để đặt thiết bị điều khiển là đặt ở điểm có dòng tải ít nhất.



**Hình 10.33:** Máy biến áp điều chỉnh điều khiển độc lập góc pha và điện áp.

## 10.12 CÁC LOẠI ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP

### 10.12.1 Điều chỉnh điện áp bằng tay và tự động.

Các quá trình điều chỉnh đòi hỏi sự chỉnh định liên tục đáp ứng với sự thay đổi của điện áp, bao gồm điều chỉnh kích từ máy phát, máy bù đồng bộ, vị trí của các bộ điều chỉnh cảm ứng, nhảy nấc, bộ bù tĩnh ...

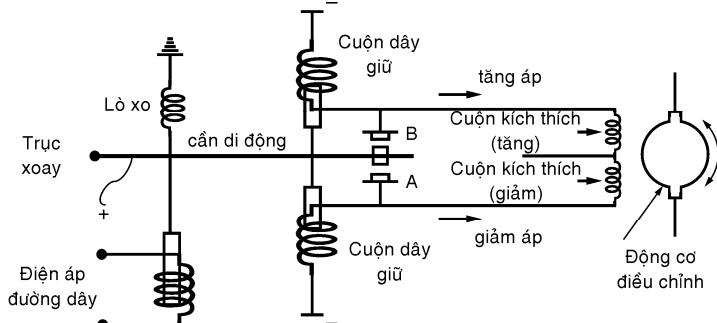
Tất cả các phương thức điều chỉnh có thể được thực hiện bằng tay hay tự động.

Các bộ điều chỉnh điện áp trên đường dây nhánh hay tụ bù ngang trong hệ thống phân phối thực tế được điều khiển tự động vì số lượng lớn các thiết bị điều chỉnh và không có người trực, máy phát hay máy bù đồng bộ có người trực có thể được điều chỉnh bằng tay. Tuy vậy, khi sự liên kết hệ thống ngày càng phát triển rộng lớn thì điều khiển tự động kích từ máy phát trở nên thông dụng vì tác dụng rất có lợi về ổn định trong hệ thống.

Điều này cho thấy lý do áp dụng điều khiển tự động các bộ điều áp ở các cấp thấp hơn trong hệ thống hoàn toàn khác với lý do điều khiển tự động máy phát và máy bù đồng bộ trong hệ thống truyền tải, như vậy các yêu cầu đối với thiết bị điều khiển tự động cũng sẽ khác nhau.

Trong trường hợp của bộ điều chỉnh loại chuyển nấc và các máy biến áp điều chỉnh khác, việc điều chỉnh thường được thực hiện bằng cơ khí thông qua cơ chế động cơ kéo tác động bởi thiết bị đo sai số để đóng tiếp điểm theo điện áp.

Bộ đóng tiếp điểm theo điện áp được trình bày trong H.10.34.



**Hình 10.34:** Mạch đóng tiếp điểm theo điện áp

Khi điện áp đường dây tăng lên đủ lớn để lực hút của nam châm (cung cấp bởi điện áp đường dây) làm cần di động đóng tiếp điểm A cung cấp điện cho cuộn dây giữ phía dưới và nửa cuộn kích thích của động cơ một chiều làm cho động cơ quay theo chiều điều chỉnh điện áp thấp xuống. Lý luận tương tự khi điện áp đường dây giảm, tiếp điểm B được đóng lại và động cơ quay theo chiều ngược lại để điều chỉnh cho điện áp tăng lên. Các cuộn dây giữ để đảm bảo đóng đứt khoát tiếp điểm A hoặc B.

Còn nhiều phương pháp khác nữa để điều chỉnh tăng hay giảm điện áp kể cả các phương pháp dùng mạch điện tử. Điều chỉnh tự động theo kiểu đóng tiếp điểm theo điện áp thường có tốc độ chậm và sự sai biệt giữa hai ngưỡng điện áp cần để đóng tiếp điểm A và B thường là rộng để đảm bảo độ ổn định của bộ điều khiển, tuy vậy đáp ứng chậm này cũng phù hợp với thực tế để tránh sự hoạt động không cần thiết của bộ điều chỉnh khi có sự thay đổi điện áp trong khoảng thời gian ngắn.

Ngược lại với các điều kiện đáp ứng tương đối chậm được đặt ra cho các bộ điều chỉnh tự động đặt trên đường dây hình tia của mạng điện áp thấp thì tốc độ đáp ứng của bộ điều chỉnh kích từ máy phát hay máy bù đồng bộ là yếu tố quan trọng vì tốc độ này xác định khả năng của bộ điều chỉnh nhằm cải thiện tính ổn định của hệ thống điện.

### 10.12.2 Hệ thống kích thích máy điện động bô.

Kiểu hệ thống kích thích dùng trên máy điện động bô liên quan đến kiểu điều khiển tự động dùng cho hệ thống kích thích đó. H.10.35 trình bày sơ lược các hệ thống kích thích trên máy phát điện.

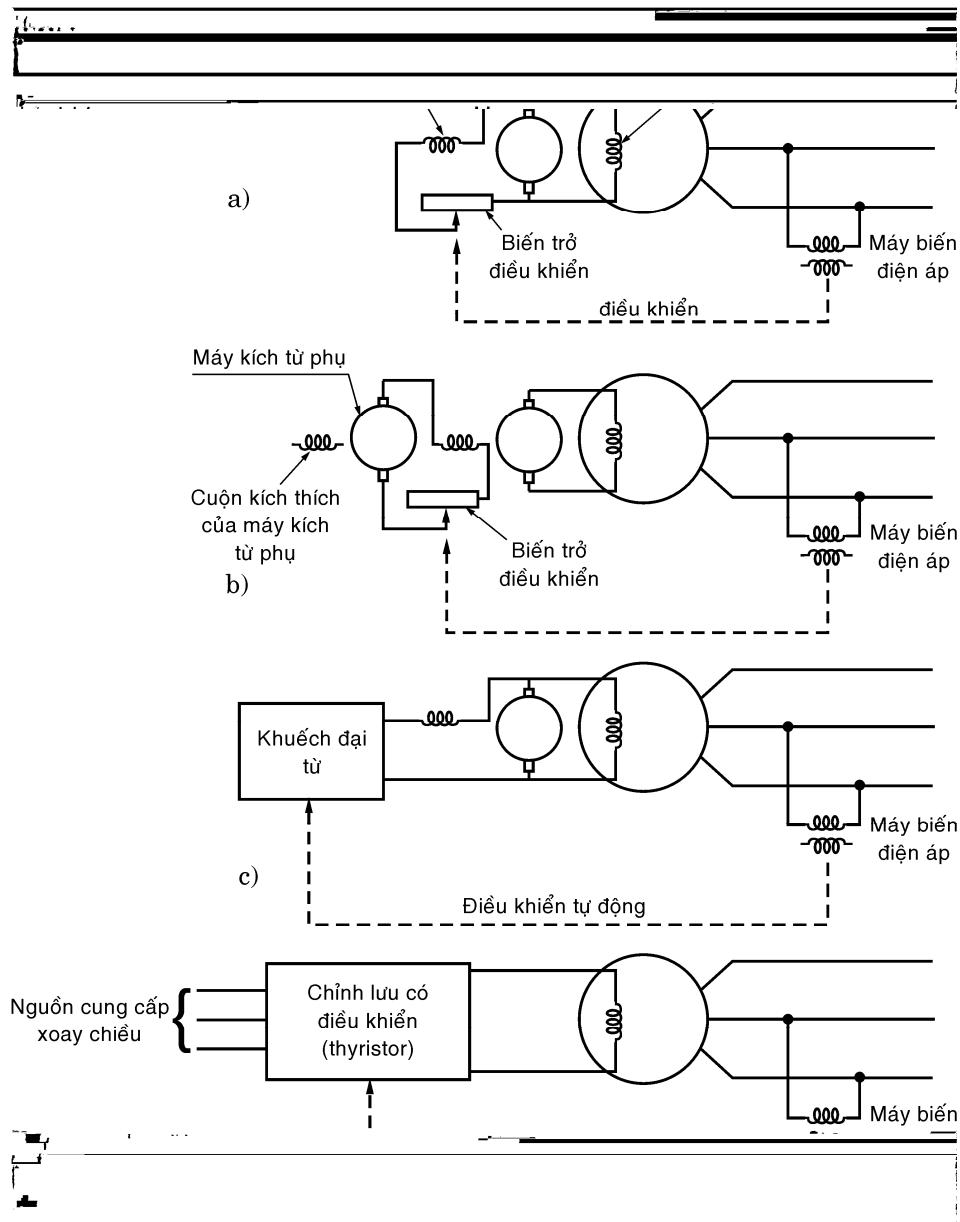
Các hệ thống kích thích trình bày trong hình vẽ a, b, c đều có máy kích thích chính là máy phát một chiều cung cấp toàn bộ dòng điện kích thích trong cuộn kích thích của stato máy phát, máy kích thích chính được gắn cùng trục với máy phát điện xoay chiều. Hệ thống kích thích trong hình d là một bộ chỉnh lưu điện tử có điều khiển.

Điều chỉnh kích từ trong hình a có được bằng cách thay đổi biến trở trong mạch kích thích của máy kích thích chính.

Hình b có máy kích thích phụ cũng nối cùng trục với máy phát cung cấp dòng kích từ của máy kích thích chính nhờ vào biến trở điều khiển.

Hình c không có biến trở điều khiển nhưng một điện áp điều khiển được nối tiếp xen vào cuộn dây kích thích của máy kích thích chính.

Cuối cùng hình d trình bày một kiểu kích thích tĩnh, kích từ được thay đổi thông qua điều khiển góc kích của bộ chỉnh lưu.



**Hình 10.35. Các hệ thống kích thích máy điện đồng bộ**

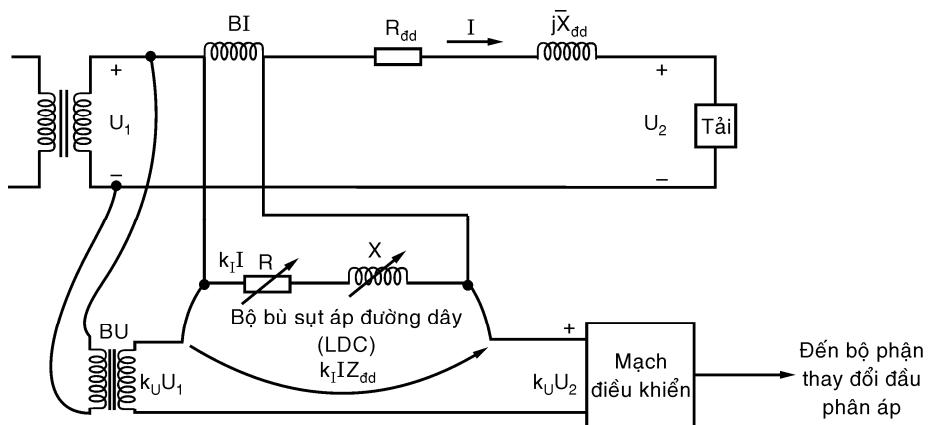
Hệ thống kích thích ở hình a và b thích hợp cho việc điều khiển bằng tay, tuy vậy chúng cũng dễ dàng thích nghi với điều khiển tự động nếu biến trở được điều chỉnh tự động.

Hệ thống kích thích ở hình c và d được phát triển gần đây, đặc biệt được thiết kế cho điều khiển tự động đáp ứng ở tốc độ nhanh. Các chi tiết toán học và những vấn đề liên quan đến hệ thống điều khiển đòi hỏi phải có kiến thức về các quan hệ quá độ bên trong máy điện đồng bộ, việc khảo sát vượt quá khuôn khổ của quyển sách này.

#### 10.12.3 Ghép song song các máy biến áp điều áp dưới tải có điều khiển tự động

Trong mạng điện phức tạp, đầu phân áp điều chỉnh dưới tải được dùng để điều khiển điện áp (cùng pha) của các máy biến áp điện lực và trong những trường hợp khác dùng để điều khiển quan hệ về góc pha (đầu dịch pha). Thiết bị điều áp dưới tải dùng cho máy biến áp điện lực dùng để duy trì điện áp phía thứ cấp không đổi khi điện áp phía sơ cấp thay đổi; điều khiển điện áp phía thứ cấp với điện áp phía sơ cấp cố định, điều khiển dòng công suất kháng trên đường dây nối hai hệ thống hay điều chỉnh dòng công suất kháng giữa các nhánh trong mạch kín. Mặt khác, dùng đầu dịch pha điện áp còn có thể điều khiển được sự phân bố công suất tác dụng giữa các nhánh trong mạng điện kín.

Điều khiển điện áp bằng đầu phân áp có tác dụng điều chỉnh điện áp tự động đối với điện áp hoặc ở ngay tại thứ cấp của máy biến áp hoặc ở một điểm cung cấp nào đó đã được xác định trước. Để chứng minh điều này, tham khảo H.10.36.



**Hình 10.36.** Sơ đồ nguyên lý máy biến áp điều áp dưới tải với mạch tự động điều khiển điện áp

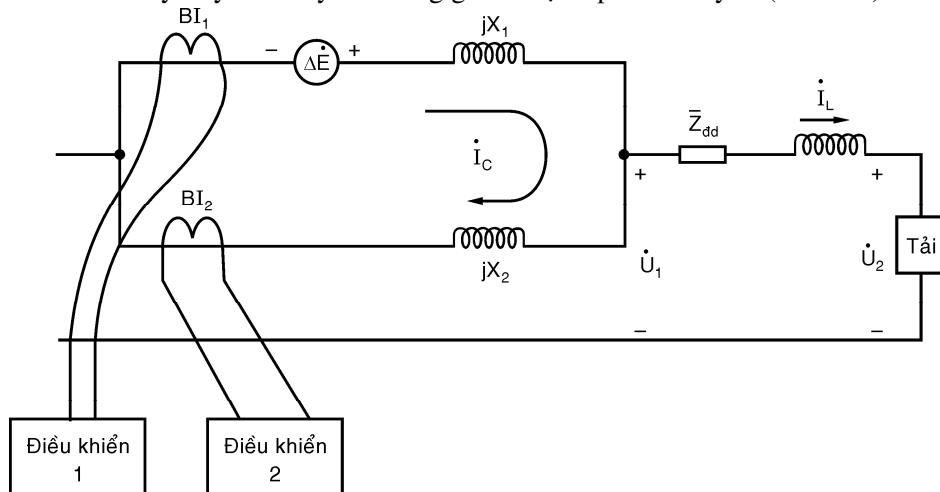
Mạch điều khiển được đặt tại máy biến áp chính trong khi điện áp phụ tải được điều khiển ( $U_2$ ) có thể ở cách xa máy biến áp. Vì lý do này, điện áp  $U_1$  được lấy từ máy biến áp BU trong khi sụt áp  $IZ$  của đường dây được biểu diễn nhân tạo bằng cách dùng bộ bù sụt áp đường dây (thực chất là mô hình đường dây). Bộ bù sụt áp được cung cấp bằng máy biến dòng BI. Trí số  $R$  và  $X$  của đường dây được biểu diễn bằng cách thay đổi thích hợp điện trở và điện kháng của bộ bù. Điện áp trong mạch điều khiển ( $k_U U_2$ ) tỷ lệ với  $U_2$ , với  $U_2 = U_1 - Z_{dd} I$ . Vấn đề đặt ra là điểm phụ tải chính xác ở đâu, đặc biệt là trong mạng phức tạp trong đó có các phụ tải điện ở nhiều vị trí khác nhau. Đây là vấn đề riêng về vận hành, ở đây chỉ giả thiết vị trí phụ tải được xác định rõ ràng. Mạch điều khiển sẽ nhạy cảm theo điện áp tại điểm cần điều chỉnh. Tuy vậy, mạch điều khiển không cho phép thay đổi đầu phân áp khi có đột biến điện áp trong thời gian ngắn tại điểm điều chỉnh. Sự thay đổi đầu phân áp chỉ tiến hành khi thời gian quá áp hay giảm áp vượt quá thời gian cho trước (khoảng 30 giây).

Hai vấn đề được đặt ra đối với máy biến áp song song tự động điều áp dưới tải.

Xét H.10.37 trong đó cả hai mạch điều khiển dùng để điều chỉnh  $U_2$ .

Bây giờ, giả thiết dòng phụ tải  $I_L$  tăng lên làm giảm  $U_2$ . Nếu mạch điều khiển 1 đáp ứng nhanh hơn mạch điều khiển 2, một sự thay đổi đầu phân áp của máy biến áp 1 làm luân lưu dòng điện  $I_c$  giữa hai máy biến áp. Mạch bù sụt áp đường dây của máy biến áp 1 sẽ chỉ thị thêm một sụt áp  $I_c X$  và có khuynh hướng nâng điện áp máy 1 lên cao hơn nữa và dẫn đến tăng

thêm  $I_C$ . Cùng lúc đó, máy 2 nhìn thấy một điện áp  $U_2$  cao hơn (do dòng  $I_C$  ngược về máy 2) và mạch điều khiển của máy này có khuynh hướng giảm điện áp trên máy 2 (H.10.38).



**Hình 10.37**

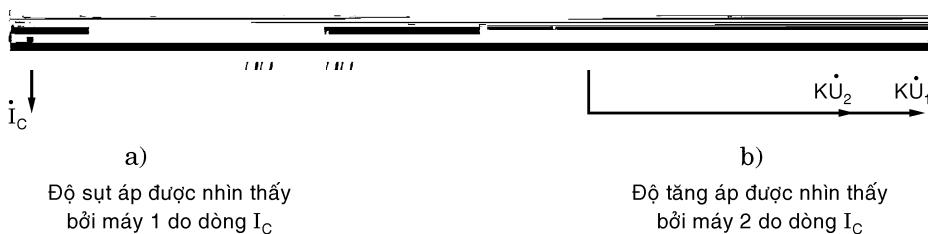
Nếu vấn đề không được giải quyết, máy biến áp 1 sẽ đi đến đầu phân áp tăng áp cao nhất và máy biến áp 2 sẽ đi đến đầu phân áp giảm áp thấp nhất và dòng điện luân lưu  $I_C$  có thể gây quá tải máy biến áp.

Vấn đề thứ hai là có thể một máy biến áp ngừng hoạt động, máy còn lại sẽ tải dòng tổng và mạch bù sụt áp đường dây của máy đang hoạt động sẽ cho chỉ thị sai (cao hơn) đối với sụt áp thực tế qua máy biến áp và đường dây.

Đã có nhiều biện pháp để khắc phục hai vấn đề nói trên và có thể tham khảo các tài liệu có liên quan.

#### 10.12.4 Máy điều chỉnh điện áp đường dây nhánh loại chuyển nasc

Máy điều chỉnh loại chuyển nasc gồm một máy biến áp tự ngẫu và một cơ phận thay đổi đầu phân áp đặt trong một bộ duy nhất. Sự thay đổi điện áp được thực hiện bằng cách thay đổi các đầu phân áp của máy tự ngẫu. Máy điều chỉnh tiêu chuẩn có khoảng điều chỉnh là 10%, một vài loại có khoá đảo chiều để tạo ra khoảng điều chỉnh là  $\pm 10\%$ . Các máy điều chỉnh hiện đại có khoảng điều chỉnh là 10% chia ra 5/8 hay  $1\frac{1}{4}\%$  mỗi nasc thay đổi và đổi với khoảng  $\pm 10\%$  chúng lần lượt có 32 hoặc 16 nasc.

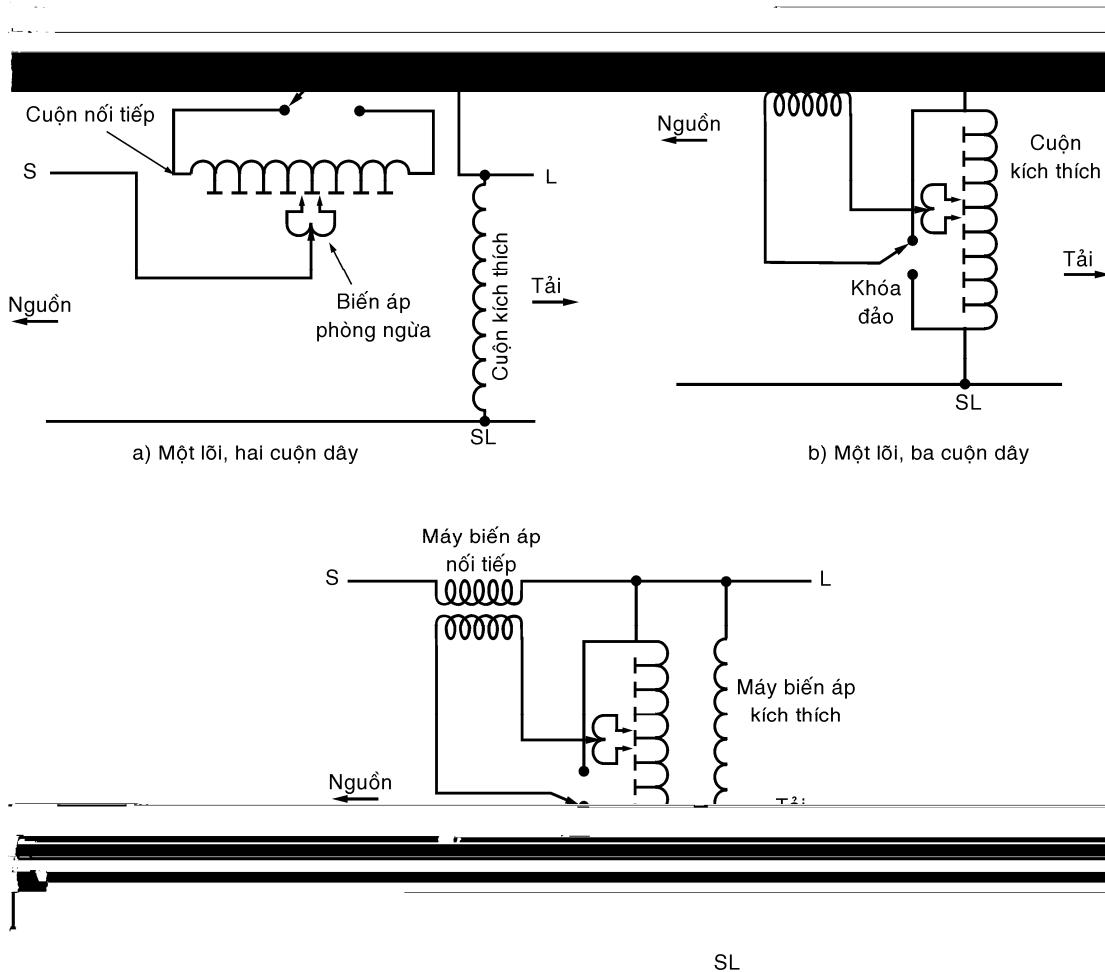


**Hình 10.38**

Máy điều chỉnh chuyển nasc khác với máy tự ngẫu thông thường ở chỗ chúng được định mức trên công suất điều chỉnh hơn là công suất tải qua mạch điện. Chẳng hạn, một máy điều

chỉnh  $\pm 10\%$ , ba pha, 750 kVA có thể dùng trên mạch ba pha tải công suất 7500 kVA và có thể điều chỉnh điện áp  $\pm 10\%$  so với điện áp định mức.

Có hai loại máy điều chỉnh kiểu chuyển nasc: loại đặt trong trạm và loại phân phối. Loại trạm thường là một pha hay ba pha dùng trong trạm để điều chỉnh điện áp thanh cái hay điều chỉnh riêng rẽ một phát tuyến. Loại phân phối thường là một pha và lắp trên trụ của phát tuyến phân phối trên không, các máy có công suất lớn hơn 167 kVA có thể đặt trong trạm hay trên nền.



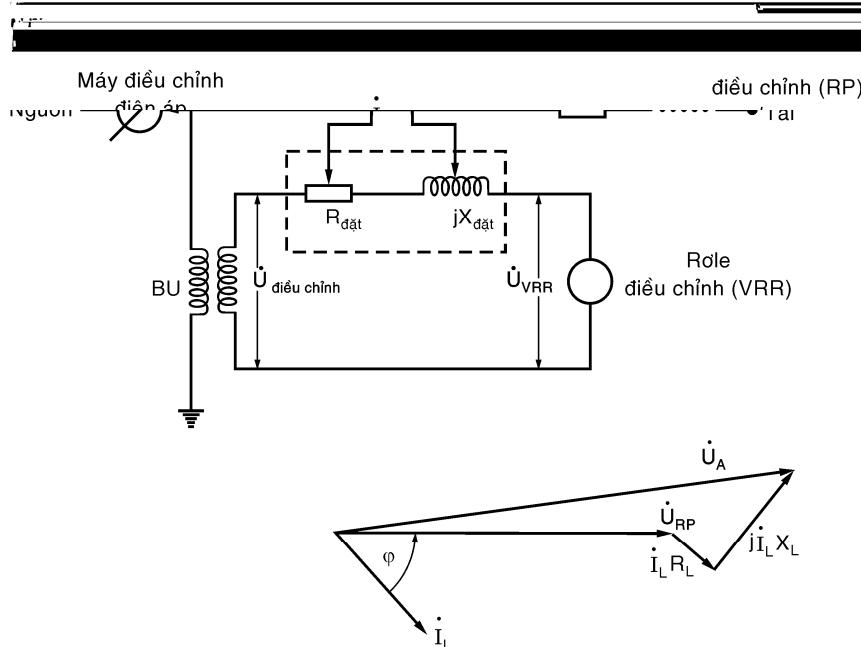
**Hình 10.39.** Các kiểu nối dây máy điều chỉnh chuyển nasc

(a) Một lõi, hai cuộn dây (b) Hai lõi, ba cuộn dây (c) Hai lõi, bốn cuộn dây

Máy điều chỉnh điện áp đường dây đặt trong trạm hay trên đường dây như đã nêu trên dùng để giữ điện áp không đổi ở một điểm gọi là điểm điều chỉnh không phụ thuộc vào trị số của dòng điện và hệ số công suất của phụ tải. Điểm điều chỉnh thường được chọn ở đâu đó khoảng giữa máy điều chỉnh và cuối phát tuyến. Việc duy trì điện áp tự động được thực hiện bằng cách chỉnh định các phần tử điện trở và cảm kháng của một phần tử trong máy điều chỉnh gọi là bộ bù sụt áp đường dây. Hình 10.40 trình bày sơ đồ đơn giản và đồ thị vectơ của mạch điều khiển và của mạch bộ bù sụt áp trong máy điều chỉnh nhảy nasc.

Việc xác định các trị số đặt chỉnh định phụ thuộc vào có hay không có tải lấy điện dọc phát

tuyến giữa máy điều chỉnh và điểm điều chỉnh.



**Hình 10.40**

Trong trường hợp không có phụ tải lấy điện giữa máy điều áp và điểm điều chỉnh thì trị số chỉnh định của điện trở trên bộ bù sụt áp được xác định bởi:

$$R_{đặt} = \frac{BI_p}{BU_N} \cdot R_{hd} \quad (10.62)$$

trong đó,  $BI_p$ : dòng điện định mức pha sơ cấp của máy biến dòng BI;

$BU_N$ : tỷ số biến áp của máy biến điện áp BU;

$R_{hd}$ : điện trở hiệu dụng của đường dây từ vị trí đặt máy điều áp đến điểm điều chỉnh

- đối với đường dây ba pha:  $R_{hd} = r_0 \cdot s_1$

- đối với đường dây một pha:  $R_{hd} = 2r_0 \cdot s_1$

với:  $r_0$  - điện trở 1 km chiều dài đường dây ( $\Omega/km$ )

$s_1$  - khoảng cách giữa máy điều chỉnh và điểm điều chỉnh.

Tương tự trị số chỉnh định của cảm kháng trên bộ bù sụt áp cho bởi:

$$X_{đặt} = \frac{BI_p}{BU_N} \cdot X_{hd} \quad (10.63)$$

với  $X_{hd}$ : cảm kháng hiệu dụng

- Đối với đường dây ba pha:  $X_{hd} = x_0 \cdot s_1$

- Đối với đường dây một pha:  $X_{hd} = 2x_0 \cdot s_1$

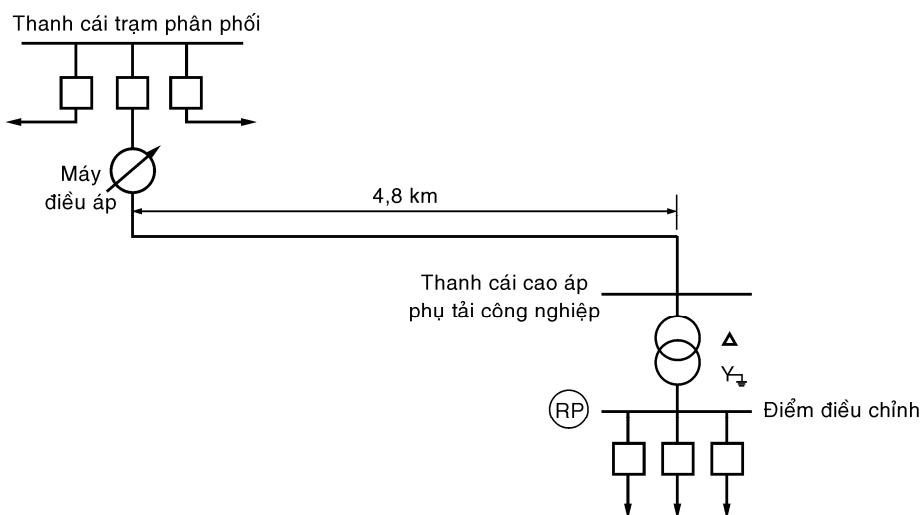
Với  $x_0$ : cảm kháng 1 km chiều dài đường dây ( $\Omega/km$ )

**Ví dụ 10.5:** H.10.41. là sơ đồ một sợi của một pha tuyến sơ cấp cung cấp cho một phụ tải công nghiệp. Điện áp định mức tại thanh cáp phân phối là 7,2/13,2 kV ba pha, Y nối đất. Máy điều áp gồm ba máy một pha loại chuyển nasc có tỷ số máy biến điện áp BU 63,5 (7620: 120).

Phụ tải ở cuối đường dây, đường dây dài 4,8 km có  $r_0 = 0,1875 \Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 0,5 \Omega/\text{km}$ . Máy biến áp cung cấp phụ tải công suất 5000 kVA, ba pha sơ cấp 12800 V mắc  $\Delta$ , thứ cấp 2400/4160 V mắc  $Y$  nối đất. Tổng trở máy biến áp  $0 + j0,05 \Omega$  trên cơ bản 5000 kVA 2400/4160 V, 7390/12800 V.

Giả thiết yêu cầu thanh cái điện áp thấp ở phụ tải được điều chỉnh đến 2450/4244 V, hãy xác định:

- Điện áp chỉnh định cho role VRR ở mỗi máy điều chỉnh.
- Giả thiết tỷ số của máy biến dòng BI là 250: 1 A, tìm trị số chỉnh định R và X của bộ bù sụt áp LDC.



**Hình 10.41**

### Giải

- Chọn điện áp cơ bản là 2400/4160 V và 7390/12800 V.

Điện áp ở điểm điều chỉnh RP tại thanh cái phụ tải:

$$U_{RP} = \frac{2450}{2400} \text{ V} = 1,02083 \text{ đvtđ}$$

Do đó tính theo cơ bản của BU 7620/120 V

$$VRR = \frac{7390}{7620} \cdot 1,02083 = 0,99 \text{ đvtđ}$$

Suy ra:  $VRR_{đất} = \frac{7620}{BU_N} \cdot 0,99 = \frac{7620}{63,5} \cdot 0,99 = 120 \times 0,99 = 118,8 \text{ V}$

hay có thể tính:  $VRR_{đất} = U_{RP} \times U_{cơ bản} \text{ phía cấp của BU} = 1,02083 \times \frac{12800}{\sqrt{3} \cdot 63,5} \approx 118,8 \text{ V}$

- Tổng trở cơ bản

$$Z_{cb} = \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}} = \frac{12,8^2}{5} = 32,768 \Omega$$

Tổng trở của máy biến áp:

$$Z_B = Z_{B,\text{đvtđ}} \times Z_{cb} = (0 + j0,05) \times 32,768 = 0 + j1,6384 \Omega$$

Vị trí số chỉnh định  $R_{đặt}$  và  $X_{đặt}$  chỉ được xác định bởi một phụ tải, điện trở và điện kháng của máy biến áp phải được kể đến trong  $R_{hd}$  và  $X_{hd}$ :

$$R_{hd} = r_0 \cdot l + R_B = 0,1875 \times 4,8 + 0 = 0,9 \Omega$$

$$X_{hd} = x_0 \cdot l + X_B = 0,5 \times 4,8 + 1,6384 = 4,0384 \Omega$$

Suy ra trị số đặt  $R_{đặt}$  và  $X_{đặt}$  của bộ bù sụt áp LDC:

$$R_{đặt} = \frac{BI_P}{BU_N} \cdot R_{hd} = \frac{250}{63,5} \cdot 0,9 = 3,5433 \Omega$$

$$X_{đặt} = \frac{BI_P}{BU_N} \cdot X_{hd} = \frac{250}{63,5} \cdot 4,0384 = 15,8992 \Omega$$

Trong trường hợp có nhiều phụ tải lấy điện dọc đường dây giữa máy điều áp và điểm điều chỉnh thì trị số  $R_{đặt}$  và  $X_{đặt}$  cũng được xác định bằng các công thức trên nhưng cách xác định  $R_{hd}$  và  $X_{hd}$  có phức tạp hơn.  $R_{hd}$  cho bởi:

$$R_{hd} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta U_R|_i}{|I_L|} \Omega \quad (10.64)$$

với:  $\sum_{i=1}^n |\Delta U_R|_i = |I_{L,1}| \cdot r_{0,1} \cdot l_1 + |I_{L,2}| \cdot r_{0,2} \cdot l_2 + \dots + |I_{L,n}| \cdot r_{0,n} \cdot l_n$  (10.65)

trong đó:

$|\Delta U_R|_i$ : sụt áp do điện trở của đoạn thứ  $i$  giữa máy điều áp và điểm điều chỉnh;

$\sum_{i=1}^n |\Delta U_R|_i$ : tổng sụt áp do điện trở đường dây giữa máy điều áp và điểm điều chỉnh;

$|I_L|$ : dòng điện tổng trên đường dây tại máy điều áp;

$|I_{L,i}$ : dòng điện trên đoạn đường dây thứ  $i$ ;

$r_{0,i}$ : điện trở một km đường dây đoạn thứ  $i$ ,  $\Omega/km$ ;

$l_i$ : chiều dài đoạn thứ  $i$ , km.

Tương tự cho  $X_{hd}$ :

$$X_{hd} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta U_X|_i}{|I_L|} \Omega \quad (10.66)$$

với:  $\sum_{i=1}^n |\Delta U_X|_i = |I_{L,1}| \cdot x_{0,1} \cdot l_1 + |I_{L,2}| \cdot x_{0,2} \cdot l_2 + \dots + |I_{L,n}| \cdot x_{0,n} \cdot l_n$  (10.67)

trong đó:

$|\Delta U_X|_i$ : sụt áp do cảm kháng của đoạn thứ  $i$  giữa máy điều áp và điểm điều chỉnh;

$\sum_{i=1}^n |\Delta U_X|_i$ : tổng sụt áp do cảm kháng đường dây giữa máy điều áp và điểm điều chỉnh;

$x_{0,i}$ : cảm kháng một km đường dây đoạn thứ  $i$ ,  $\Omega/km$ .

#### 10.12.5 Máy bù tĩnh (SVC)

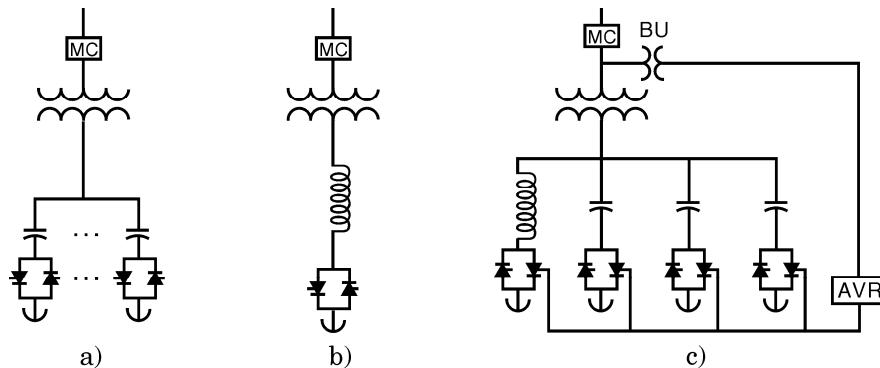
Các tiến bộ trong việc áp dụng kỹ thuật thyristor vào trong hệ thống điện dẫn đến sự phát

triển của máy bù tĩnh (static VAR compensator– SVC). Thiết bị này gồm các phần tử mắc rẽ (cuộn kháng và tụ điện) nhưng được điều khiển bằng thyristor.

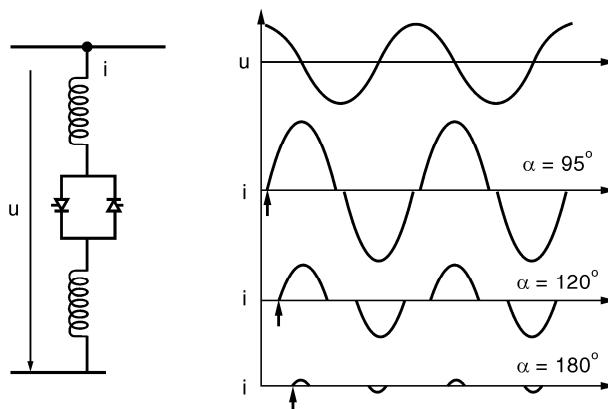
SVC cung cấp hai giải pháp cho bài toán bù. Thứ nhất là, bù phụ tải tại những nơi có yêu cầu giảm bớt sự cung cấp công suất kháng từ hệ thống của các phụ tải lớn có tính dao động trong công nghiệp như lò hồ quang, máy cán và để cân bằng công suất tác dụng trên ba pha của đường dây cung cấp. Thứ hai là, điều chỉnh điện áp của đường dây truyền tải nhằm đáp ứng các biến động ở cả hai đầu phát và nhận. Việc điều chỉnh điện áp được thực hiện qua việc điều khiển nhanh trớ kháng của SVC và do đó dẫn đến điều khiển nhanh công suất kháng ở đầu ra của SVC.

Mục đích chính của bù SVC là làm tăng giới hạn ổn định của hệ thống điện xoay chiều, làm giảm dao động điện áp khi có biến động phụ tải cũng như giới hạn được mức quá điện áp khi có biến động lớn. SVC về cơ bản là thiết bị có công suất kháng điều khiển bằng thyristor.

Về cấu tạo, có hai loại SVC căn bản (H.10.42):



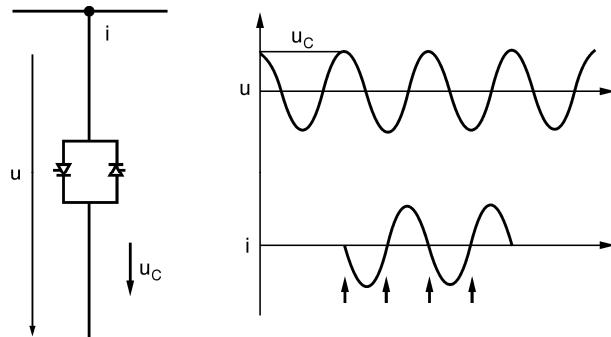
**Hình 10.42.** Cấu hình căn bản của máy bù tĩnh SVC  
(a) Sơ đồ TSC (b) Sơ đồ TCR (c) Sơ đồ kết hợp TSC/TCR



**Hình 10.43.** Dạng sóng dòng điện trong sơ đồ TCR

- Tụ bù ngang đóng cắt bằng thyristor (Thyristor-switched shunt capacitors – TSC): Ý tưởng là chia bộ tụ điện ra làm nhiều nấc nhỏ và đóng cắt những nấc này bằng thyristor. TSC cung cấp điều khiển có tính nhảy nấc, không tạo ra quá độ và không sinh ra họa tần, muốn vậy phải chọn thời điểm đóng TSC vào những lúc điện áp đạt trị số cực đại.

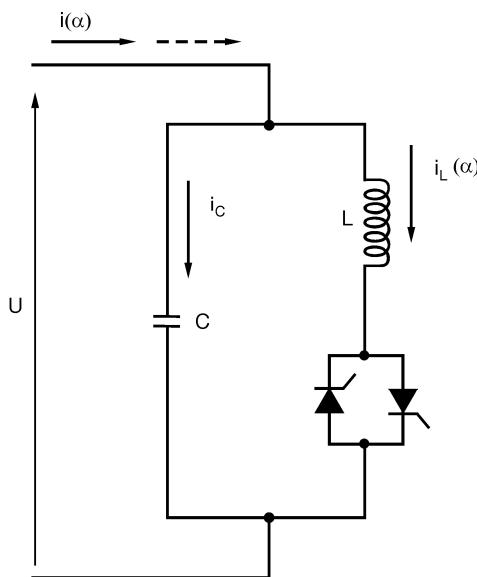
- Điều khiển cuộn kháng mắc rẽ bằng thyristor (Thyristor-controlled reactors –TCR): Thành phần dòng điện ở tần số cơ bản đi qua cuộn kháng được điều khiển bằng cách điều khiển pha trong việc kích thyristor. Dòng điện họa tần phát sinh từ việc điều khiển pha này. Góc kích của thyristor được điều khiển trễ so với thời điểm mà dòng điện qua số không khi cuộn kháng mắc trực tiếp không qua thyristor (số không tự nhiên).



**Hình 10.44.** Dạng sóng dòng điện trong sơ đồ TSC

Ngoài ra còn có một số sơ đồ khác như sau.

Sơ đồ tụ điện cố định, cuộn kháng điều khiển bằng thyristor (Fixed-Capacitor, Thyristor-controlled Reactor – FC\_TCR) (H.10.45)

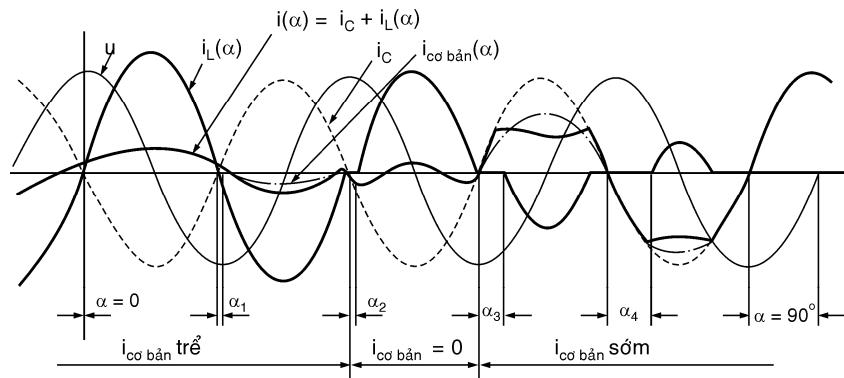


**Hình 10.45.** Sơ đồ FC-TCR

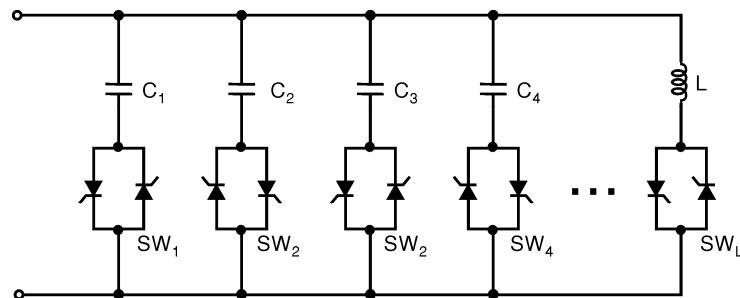
Đây là mạch TCR cơ bản trong đó cuộn kháng được điều khiển mắc song song với tụ điện cố định. Điều khiển góc kích thyristor có thể làm thay đổi công suất kháng của SVC từ Q cảm đến Q dung và dạng sóng dòng điện qua tụ, dòng điện qua cuộn dây thay đổi theo góc kích và dòng điện tổng được trình bày trong H.10.46.

Nếu không có yêu cầu về công suất phản kháng từ SVC ( $Q_{svc} = 0$ ) thì công suất kháng của cuộn dây và tụ điện phải triệt tiêu nhau, dòng điện trong bộ tụ luân lưu sang bộ cuộn dây và do đó gây ra tổn hao không tải.

Sơ đồ đóng cát tụ điện bằng thyristor và điều khiển cuộn kháng bằng thyristor (TSC\_TCR)



Hình 10.46



Hình 10.47: Sơ đồ TSC - TCR

Tụ điện được chia làm  $n$  cấp. Khi đóng cấp thứ nhất vào giai đoạn ban đầu cùng lúc đó dòng điện trong TCR cũng được điều khiển sao cho tổng đại số công suất kháng của tụ điện và cuộn dây bằng với công suất  $Q$  yêu cầu. Đối với cấp thứ  $i$ , công suất được điều khiển trong khoảng  $(i - 1) Q_{\max}$  đến  $i Q_{\max}$  bằng cách đóng tụ điện cấp  $i$  và điều khiển TCR,  $Q_{\max}$  là công suất tối đa của một cấp tụ. Sơ đồ này được xem là một FC\_TCR qui ước trong đó công suất của cuộn kháng là nhỏ, bằng  $1/n$  lần tổng công suất của tụ điện tức là bằng  $Q_{\max}$  và trị số của tụ điện thay đổi theo từng cấp rời rạc và giữ cho cuộn kháng vận hành trong phạm vi điều khiển bình thường. Tổn thất trong TSC\_TCR lúc không tải là nhỏ và tổn thất này tăng theo công suất đầu ra.

Cơ chế của SVC tạo ra dao động tắt dần trong hệ thống có thể được giải thích là kết quả của sự thay đổi điện áp trong hệ thống do điều khiển bộ tụ điện / cuộn kháng.

Một số vấn đề khác như họa tần phát sinh do hoạt động của SVC cộng hưởng khi SVC làm việc với đường dây có bù ngang và bù dọc, mô hình toán học và phân tích ổn định hoạt động của SVC, khảo sát các quá trình quá độ của SVC, khảo sát các quá trình quá độ của SVC vượt quá khuôn khổ của giáo trình và nên tham khảo ở các tài liệu chuyên môn có liên quan.

### 10.12.6 Hệ thống tải điện xoay vận hành linh hoạt FACTS (Flexible AC transmission system)

Với sự phát triển của điện tử công suất dùng thyristor tắt cổng (GTO– Gate turn-off) đã cho ra đời hệ thống truyền tải xoay chiều linh hoạt mà trong đó dòng công suất được điều khiển động bởi các linh kiện điện tử công suất. Hai mục tiêu chính của hệ thống FACTS là để tăng khả năng tải của đường dây truyền tải và điều khiển dòng công suất theo một lộ trình đã được vạch ra trước. Toàn bộ hệ thống bù ngang, bù dọc, máy biến áp điều chỉnh điện áp và góc pha đều được điều khiển bằng điện tử công suất. Đặc biệt, bộ nguồn điện áp đồng bộ SVS (synchronous voltage source) điều khiển bằng bán dẫn được dùng để bù động và điều khiển theo thời gian thực dòng công suất trong hệ thống truyền tải và có khả năng đồng đều trong việc điều khiển điện áp, tổng trở, góc pha. Hệ thống SVS cung cấp khả năng trao đổi trực tiếp công suất tác dụng với hệ thống xoay chiều, ngoài việc bù công suất kháng được điều khiển độc lập.

### 10.13 BẢO VỆ QUÁ KÍCH THÍCH BỘ MÁY PHÁT - MÁY BIẾN ÁP

Trong những năm gần đây, đã có nhiều chú ý đến bảo vệ quá kích thích của các máy biến áp tăng áp nối với máy biến áp lớn. Nếu một lõi sắt được kích thích bởi từ thông  $\Phi$  đến mức độ đủ để vượt lên vùng bão hòa, từ thông tản đi bọc ra ngoài các phần tử kết cấu, vỏ máy ... có thể gây ra các tổn thất khó khắc phục được: các phần tử bằng thép bị nóng đỏ tự làm dính lại, dộp sơn ở bên ngoài vỏ thùng. Mặc dù sự cố trực tiếp không xảy ra nhưng sự việc kéo dài hàng năm làm giảm tuổi thọ của máy biến áp, gây hư hỏng về sau như tạo ngắn mạch trong máy biến áp do hư hỏng cách điện mà dấu hiệu ban đầu là các chấn động cơ học, không hoà đồng bộ được với hệ thống ...

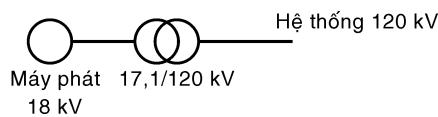
Theo lý thuyết máy biến áp thì phương trình điện áp của máy biến áp có dạng:

$$E_{hd} = k.f.\Phi_{max} \quad (10.68)$$

hay  $\Phi_{max} \propto E_{hd}/f \quad (10.69)$

Phương trình trên cho thấy mức độ kích thích có thể biểu diễn bằng số volt/Hz hay theo phần trăm volt/Hz. Tiêu chuẩn ASA qui định trong trường hợp tổng quát là một máy biến áp không tải không được kích thích quá 110% điện áp phía sơ cấp và khi mang đầy tải điện áp không vượt quá 105% bên phía thứ cấp.

Hình 10.48. trinh bày một phương pháp tiêu biểu để ghép bộ máy phát - máy biến áp.



**Hình 10.48:** Ví dụ về việc ghép máy phát - máy biến áp với 5% điện áp tăng về phía thứ cấp

Điện áp không tải phía thứ cấp thường được nâng thêm 5% so với định mức để bù trừ sụt áp  $IZ_B$  qua máy biến áp khi mang tải. Ở hệ số công suất bằng đơn vị sụt áp qua máy biến áp là nhỏ. Tuy vậy, một thành phần dòng điện phản kháng 50% đi qua máy biến áp có  $Z_B$  bằng 10% sẽ gây ra sụt áp khoảng 5%. Khoảng điện áp vận hành của máy phát thường thay đổi từ 95 đến 105% điện áp định mức của máy phát. Tuy vậy 105% của 18 kV ứng với khoảng 110% điện áp định mức của cuộn dây 17,1 kV. Giới hạn trên này của điện áp máy phát sẽ đặt máy biến áp

vào giới hạn trên của kích thích.

Bộ máy phát - máy biến áp có thể bị quá kích thích do nhiều lý do khác nhau, trong đó phải kể đến:

1. Tăng tốc máy phát khi tần số  $f$  đang bị giảm và mạch điều chỉnh điện áp tác động để giữ điện áp  $U_1$  ở đầu cực không đổi ( $U/f$  cao). Khi xuống máy cũng có hiện tượng tương tự.
2. Đột nhiên cắt tải trong khi điện áp đầu cực máy phát tăng lên.
3. Quá kích thích máy phát không lường trước được do bất kỳ lý do nào chẳng hạn khi có hư hỏng trong điều chỉnh điện áp hoặc khi người vận hành muốn phát thêm công suất kháng vào hệ thống.

Trong công nghiệp, sự quá kích thích máy biến áp có thể xảy ra trong thời gian cho phép, chẳng hạn cho phép quá kích thích 130% trong 18 giây mà không gây hư hỏng cho máy biến áp. Rõle bảo vệ quá kích thích được chỉnh định theo % volt/Hz cùng với mạch định thì có thể bước đầu báo động sau đó cắt mạch kích, dừng máy phát.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 10

**10.1.** Một đường dây nhánh ba pha 4200 V, dây đồng tiết diện  $95\text{mm}^2$ , dây dẫn bố trí trên mặt phẳng ngang khoảng cách 1 mét. Đường dây dài 4km, dòng điện cực đại 200 A,  $\cos\varphi = 0.8$  trễ. Để cho sụt áp trên đường dây là 250 V:

- a) Tính công suất tụ bù ngang ở cuối đường dây;
- b) Trị số tụ bù dọc trên đường dây;
- c) Ảnh hưởng của tụ bù ngang và bù dọc đến hệ số công suất ở đầu phát.

ĐS: 747,38 kVAr; 1,256  $\square$ ; 0,988; 0,318

**10.2.** Một đường dây nhánh có chiều dài 1 km, điện trở  $r_0 \Omega/\text{km}$ , cảm kháng  $x_0 \Omega/\text{km}$  và có phụ tải phân bố đều với mật độ phụ tải  $p_0 \text{kW/km}$ , hệ số công suất  $\cos\varphi$ .

- a) Hãy so sánh lượng tụ bù ngang cần để nâng điện áp lên một lượng  $\Delta U_C$  cho trước khi tụ điện được phân bố đều thành những đơn vị nhỏ dọc đường dây và khi tụ điện đặt tập trung ở cuối đường dây.
- b) So sánh hai cách bù trong câu a) đối với sự quá áp có thể xảy ra vào lúc phụ tải cực tiểu.
- c) So sánh hai cách bù nói trên đối với hệ số công suất và việc tăng khả năng tải khi phát nóng là điều kiện giới hạn.

**10.3.** Một trạm biến áp giảm áp được cung cấp bằng hai đường dây dài 80 km đi song song, dây dẫn AC - 95 đặt trên cột hình  $\Pi$ , mỗi pha cách nhau 4 m. Trạm gồm hai máy biến áp ghép song song, mỗi máy công suất 20 MVA, tỷ số 110/11 kV. Phụ tải phía 10 kV  $30 + j20$  MVA. Khi sự cố một đường dây, điện áp phía thứ cấp của trạm là 9,55 kV. Tính công suất của máy bù đồng bộ đặt ở phía hạ áp của trạm để điện áp lúc sự cố một đường dây không được thấp hơn 10 kV.

ĐS: 4,62 MVar

**10.4.** Một trạm biến áp giảm áp 110/11 kV có đặt một máy biến áp điều áp dưới tải công suất 20 MVA. Phụ tải cực đại ở thanh cái hạ áp của trạm là 18MVA  $\cos\varphi = 0.8$ , phụ tải cực tiểu là 6 MVA,  $\cos\varphi = 0.7$ . Thông số của máy biến áp  $R_B = 4.93 \Omega$ ,  $X_B = 63 \Omega$ . Điện áp ở thanh cái cao áp lúc tải cực đại là 112 kV, lúc cực tiểu là 114 kV. Chọn đầu phân áp sao cho điện áp phía hạ áp là  $10 \text{kV} \pm 5\%$ .

ĐS: 110 kV; 118,25 kV

- 10.5.** Tham khảo bảng ma trận điện kháng thanh cái của hệ thống trong ví dụ 10.2 của mục điều chỉnh điện áp bằng cách đưa công suất kháng vào thanh cái. Cho công suất của bộ tụ điện ở thanh cái 2 là 18 MVA. Xác định phần trăm thay đổi điện áp ở tất cả sáu thanh cái nếu bộ tụ điện này được đóng vào.

ĐS: 1,87 2,5 1,58 1,63 1,46 1,57%

- 10.6.** Trong hệ thống điện trong ví dụ 10.2, đường dây nối giữa thanh cái 3 và 4 bị cắt đi. Đường dây này có tổng trở bằng  $j25\%$  trên cơ bản 50 MVA. Hãy sửa đổi ma trận thanh cái và làm lại ví dụ này.

- 10.7.** Cũng trong ví dụ 10.2, để giúp cho việc vận hành hệ thống được nhanh chóng cần phải cung cấp cho điều độ viên một bảng ghi rõ phần trăm thay đổi điện áp theo mỗi 10 MVA công suất kháng đưa vào.

- a) Trình bày bảng kết quả.
  - b) Xác định vị trí cần thiết đưa công suất vào (tụ điện hay máy bù đồng bộ) để cho độ tăng điện áp ở thanh cái 1 nhiều nhất.
  - c) Phải đưa công suất kháng bao nhiêu vào vị trí nói ở câu b) để tăng điện áp ở thanh cái 1 lên 3%?
  - d) Điện áp ở các thanh cái khác thay đổi như thế nào do việc đưa công suất kháng nói ở câu c).
- Cho lời giải trong đơn vị tương đối.

ĐS: c) 7,1 MVAr; d) 0,74 1,8 2,02 1,69%

- 10.8.** Ma trận tổng trở thanh cái của một hệ thống trong đó chỉ xét ba thanh cái tính theo phần trăm trên cơ bản 100 MVA như sau:

$$[Z]_{TC} = j \begin{bmatrix} 2.0 & 1.2 & 0.6 \\ 1.2 & 7.0 & 0.5 \\ 0.6 & 0.5 & 1.5 \end{bmatrix}$$

Thanh cái 1 là phía cao của một máy biến áp và thanh cái 2 là phía thấp của máy biến áp đó. Thanh cái 3 là thanh cái máy phát điện.

Tổng trở của máy phát và máy biến áp được kể vào trong ma trận, thanh cái trung tính là thanh cái chuẩn. Vậy giờ các đầu phân áp được chỉnh định lại trên máy biến áp giữa thanh cái 1 và 2 bằng cách đặt một đầu phân áp tăng  $2,5\%$  về phía thanh cái điện áp thấp. Máy biến áp có công suất định mức 45 MVA, điện kháng  $8\%$  trên cơ bản của nó.

Hãy xác định tổng trở mạch vòng, dòng điện mạch vòng trong đơn vị tương đối và sự thay đổi của điện áp trên ba thanh cái.

ĐS:  $Z_{mv} = j6,26$   $I_C = -j0,004$   $\Delta U_1\% = -0,304\%$   $\Delta U_3\% = -0,04\%$   $\Delta U_2\% = -2,328\%$

- 10.9.** Trong hệ thống ba thanh cái của bài tập 10.8. Một máy phát điện 100 MVA, điện kháng  $12\%$  trên cơ bản của nó phát một lượng công suất kháng 40 MVA phụ thêm vào hệ thống. Tìm phần trăm thay đổi điện áp ở mỗi thanh cái.

ĐS:  $\Delta U_1\% = 0,2744\%$   $\Delta U_2\% = 0,228\%$   $\Delta U_3\% = 0,686\%$

- 10.10.** Một đường dây nhánh ba pha 6 kV được xây dựng bằng dây đồng hiệu M-70 bố trí trên mặt phẳng ngang cách nhau 0.8 m. Đường dây dài 4km và dòng điện phụ tải cực đại là 100 ampe ở hệ số công suất 0.8 cảm. Yêu cầu sụt áp lúc phụ tải cực đại là 200 Volt.

- a) Xác định cỡ tụ điện bù ngang ở cuối đường dây cần thiết vào mục đích này.
- b) Xác định cỡ tụ điện bù dọc cũng cho mục đích này.
- c) Các ảnh hưởng trên hệ số công suất đầu phát lần lượt của tụ điện bù ngang và bù dọc.
- d) Hai hình thức bù ngang và bù dọc ảnh hưởng như thế nào đến công suất phản kháng ở đầu phát của đường dây?

ĐS: a)  $Q_C = 492 \text{ kVAr}$ ; b)  $X'_C = 0,945\Omega$ ; c)  $\cos\varphi = 0,938$  trẽ  $\cos\varphi = 0,805$  trẽ.

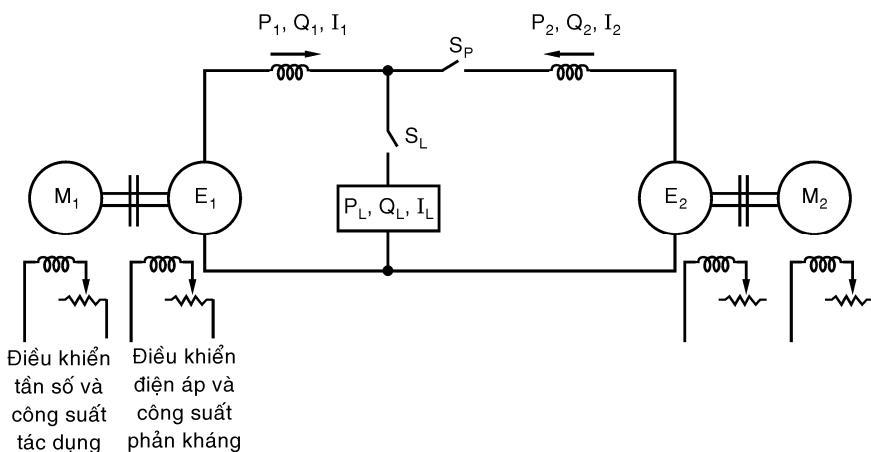
## Chương 11

### CÂN BẰNG CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ PHẢN KHÁNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

#### 11.1 SỰ PHỤ THUỘC CỦA TẦN SỐ VÀ ĐIỆN ÁP VÀO CÂN BẰNG CÔNG SUẤT

Trong hệ thống điện cần phải có sự cân bằng công suất tác dụng và phản kháng. Tổng công suất tác dụng và phản kháng của tất cả các máy phát phải bằng tổng công suất tác dụng và phản kháng của tất cả các phụ tải cộng với tổn thất công suất tác dụng và phản kháng của tất cả các phần tử trong mạng điện. Do đó, tần số trong toàn hệ thống cũng như biên độ và góc pha điện áp tại mỗi điểm nút được xác lập theo điều kiện cân bằng công suất.

Mục này cung cấp một ý niệm tốt hơn về vấn đề luân lưu công suất tác dụng và phản kháng giữa các máy phát điện cũng như tác dụng của chúng trên tần số và điện áp. Điều này có thể được thực hiện nhờ vào mô hình H.11.1 với hai máy phát có công suất bằng nhau mắc song song và cùng cung cấp cho phụ tải có chung công suất  $P_L$  và  $Q_L$ . Điện kháng đồng bộ của máy phát điện được kể vào trong sơ đồ thay thế và bỏ qua điện trở dây quấn phần ứng máy phát. Điều khiển điện áp bằng tay để điều chỉnh kích từ máy phát và điều khiển tốc độ bằng tay sẵn sàng cho động cơ sơ cấp.



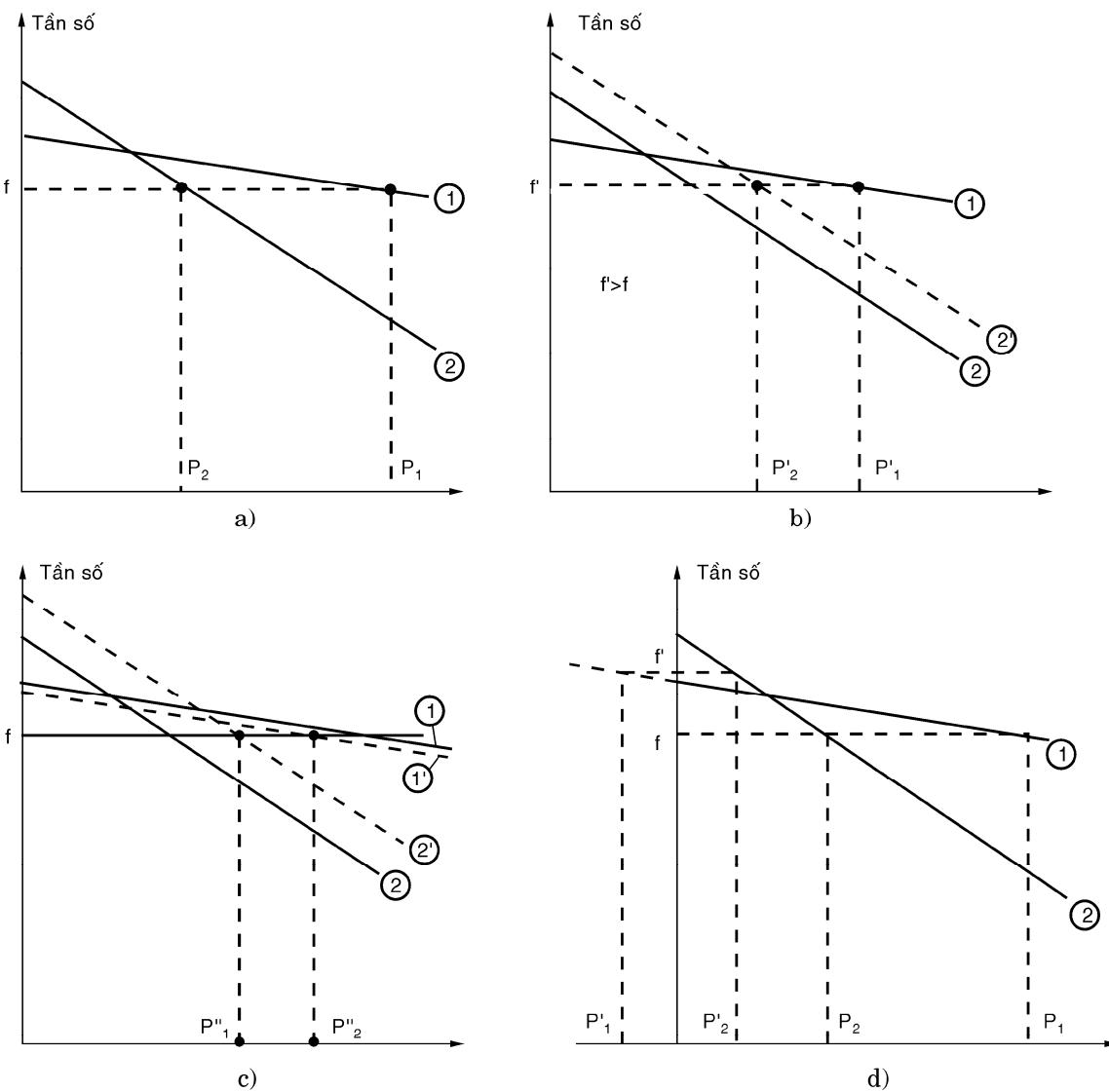
**Hình 11.1:** Mô hình thí nghiệm hai máy phát

Cả hai động cơ sơ cấp  $M_1$  và  $M_2$  là động cơ một chiều kích từ độc lập và điều khiển đơn giản tốc độ bằng biến trở kích thích. Cần nhớ lại rằng trước khi đóng ngắt điện  $S_P$  để hoà đồng bộ hai máy phát thì phải thỏa mãn các điều kiện về hai máy phát mắc song song là (1) cùng thứ tự pha trên cả hai máy (2) cùng tần số phát, (3) cùng biên độ điện áp và (4) cùng góc pha điện áp ngay thời điểm đóng ngắt điện  $S_P$ .

Các yếu tố có ý nghĩa trong thí nghiệm mô hình này được chia làm hai phần:

### a) Tác dụng của điều khiển động cơ sơ cấp đến tần số và sự phân bố công suất tác dụng

Kết hợp với mỗi động cơ sơ cấp là đặc tính tần số (hay tốc độ) theo công suất tác dụng (watt). Tổng trớ của phụ tải sẽ xác định công suất của phụ tải tổng trong đó,  $P_L = P_1 + P_2$ . Cả hai máy phát có chung tần số. Dĩ nhiên chúng cũng có cùng một tốc độ nếu cả hai tổ máy cùng số cực từ vì: tốc độ (vòng/phút) =  $120f/\text{số cực}$



**Hình 11.2**

Hình 11.2a: Phụ tải được phân chia giữa hai máy phát trong đó máy phát 1 nhận tải nhiều hơn.

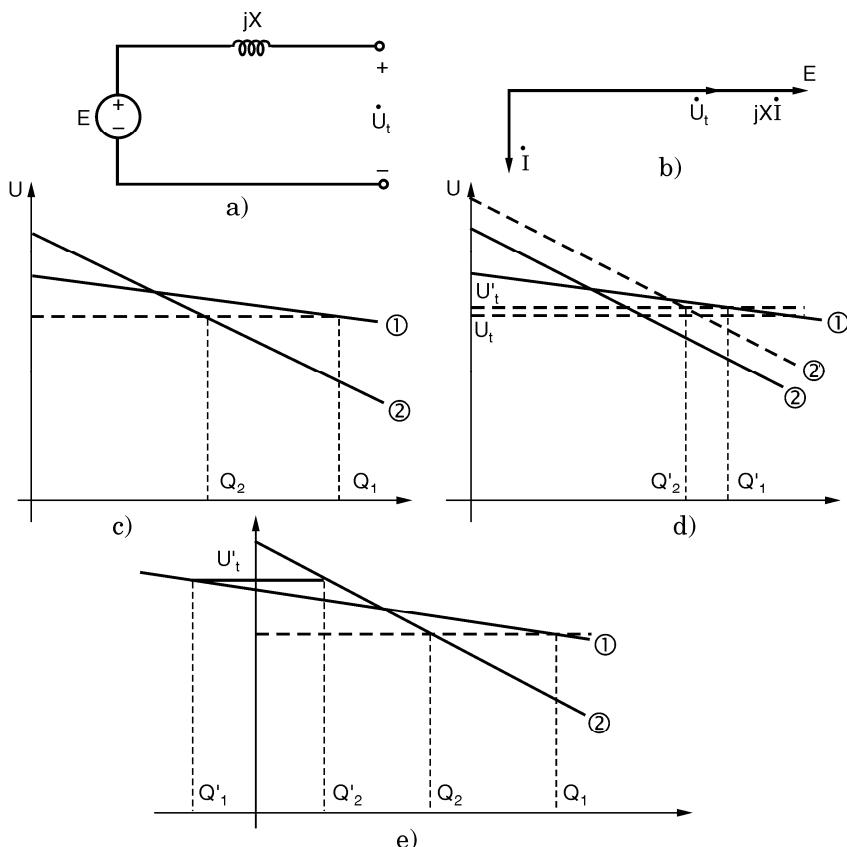
Giả sử điều khiển động cơ sơ cấp của máy phát 2 được điều chỉnh lại để máy phát này nhận thêm tải. Việc điều khiển này có tác dụng dịch chuyển đặc tính  $f$ -tải của máy phát 2 đến một vị trí mới  $f'$  song song với đường cũ (xem H.11.2b).

Với tổng công suất  $P_L = P_1 + P_2$  không đổi, tần số bị cưỡng bức đến giá trị  $f'$  cao hơn  $f$ .

Để phân bố lại phụ tải các máy phát nhằm giữ tần số không đổi, kích thích của động cơ  $M_2$  được giảm xuống (dịch chuyển theo chiều có tốc độ tăng) trong khi đó kích thích của động cơ  $M_1$  được tăng lên (dịch chuyển theo chiều có tốc độ giảm). Sự điều chỉnh đối ngược này cho phép chuyển tải từ máy phát 1 sang máy phát 2. Tổng quát, để chuyển tải từ máy phát này sang máy phát khác, điều chỉnh tốc độ phải dịch chuyển theo hướng ngược lại nếu như tần số được duy trì. Trong trường hợp của thí nghiệm này, phải cho góc điện của  $E_2$  tiến tới trong khi góc điện của  $E_1$  phải lùi lại. Tác dụng chỉnh định lại cả hai bộ điều khiển tốc độ được minh họa trong H.11.2c.

Bây giờ xét H.11.2d trong đó phụ tải được phân bố như trong H.11.2a (với  $P_1$  và  $P_2$ ). Giả thiết ngắn điện  $S_L$  cắt phụ tải đột ngột. Trong tình trạng mới này, phụ tải bằng không và sự phân bố mới giữa hai máy phát là  $P_1'$  và  $P_2'$  sao cho  $P_1' + P_2' = 0$  nghĩa là  $P_1' = -P_2'$ , hai máy phát sẽ tăng tốc và sẽ đạt đến tần số  $f' > f$ , hình vẽ cho thấy  $P_1' < 0$  và lần này máy phát 1 nhận công suất tác dụng từ máy phát 2 và làm việc như một động cơ. Để ý rằng, máy phát nào có đường đặc tính ít dốc nhất, máy đó sẽ mất tải nhanh hơn.

### b) Tác dụng của điều khiển kích từ đến điện áp đầu cực và sự phân bố công suất kháng



Hình 11.3

Để xác định sự phân bố công suất kháng giữa các máy phát điện song song cùng cấp cho một phụ tải chung, xem đường đặc tính máy phát trong H.11.3c.

Đặc tính điện áp đầu cực máy phát  $U$  theo tải phản kháng cho mỗi máy phát. Các đường

thẳng này được chứng minh bằng cách lý luận rằng đối với máy phát  $\dot{E} = \dot{U}_t + j\dot{X}_I$  (H.11.3a và b). Đối với dòng công suất phản kháng (tương ứng với dòng điện phản kháng trễ  $90^\circ$ ), vectơ sụt áp  $\dot{IX}$  tỷ lệ với dòng điện  $I$  và cùng pha với  $E$  và  $U$ .

Trong H.11.3c điện áp đầu cực bằng nhau trên hai máy phát và công suất được phân chia thành  $Q_1$  và  $Q_2$  sao cho  $Q_L = Q_1 + Q_2$ .

Đối với một tải phản kháng  $Q_L$  cho trước có thể thay đổi kích từ ở hai máy phát theo hai hướng ngược chiều nhau để dịch chuyển tải phản kháng giữa hai máy phát. Nói cách khác, điện áp đầu cực sẽ thay đổi. Chẳng hạn, để cho máy phát 2 phát thêm công suất  $Q$  phải tăng kích từ máy phát 2 đồng thời giảm kích từ máy phát 1. Điều này làm dịch chuyển các đường đặc tính mới song song với đường đặc tính cũ.

Nếu chỉ thay đổi kích từ của máy 2, điện áp phụ tải sẽ tăng lên như trong H.11.3d sao cho  $Q'_1 + Q'_2$  vẫn bằng với  $Q_L$ .

Nếu ngắt điện  $S_L$  mở ra, điện áp không tải ở đầu cực sẽ tăng lên theo H.11.3e và một lượng công suất  $Q$  di chuyển từ máy 2 về máy 1. Điều này như đã mong đợi vì  $Q$  luân lưu từ thanh cái có điện áp không tải cao hơn ( $E_2$  trong trường hợp này) về thanh cái  $E_1$ .

Sự phân tích trong hai phần a) và b) có thể tóm lược bằng khái niệm đổi tính sau đây:

Phần a	Phần b
Điều khiển tốc độ động cơ sơ cấp	Điều khiển kích từ máy phát
Tần số (f)	Điện áp đầu cực (U)
Đường đặc tính $f(P)$	Đường đặc tính $U(Q)$
Phân bố lại công suất $P$ , giữ tần số $f$ không đổi: tác động bộ điều tốc theo hướng ngược chiều nhau.	Phân bố lại công suất $Q$ , giữ điện áp đầu cực không đổi: tác động điều chỉnh kích từ theo hướng ngược chiều nhau.
Chỉ tăng điều chỉnh tốc độ trên một máy phát: tần số tăng	Chỉ tăng kích từ trên một máy phát: điện áp đầu cực tăng.
Giảm phụ tải $P_L$	Giảm phụ tải $Q_L$
1. Tần số $f$ tăng 2. Tổ máy nào có đường đặc tính ít dốc nhất mất tải $P$ nhanh hơn	1. Điện áp $U$ tăng 2. Tổ máy nào có đường đặc tính ít dốc, mất tải $Q$ nhanh hơn
$P_L = P_1 + P_2$	$Q_L = Q_1 + Q_2$

Giả sử rằng hệ thống đang ở một chế độ xác lập. Thay đổi năng lượng cung cấp vào động cơ sơ cấp của một máy phát nào đó làm góc lệch rôto của máy phát này thay đổi, trong toàn hệ thống sẽ xảy ra sự biến động tần số dẫn đến sự thay đổi trị số và góc pha điện áp ở mọi điểm nút. Sự thay đổi này diễn biến cho đến khi đạt đến chế độ cân bằng mới. Cần lưu ý rằng việc thay đổi tần số sẽ làm thay đổi sức điện động của tất cả các máy phát, điện kháng trên tất cả các nhánh, do đó làm thay đổi điện áp ở tất cả các nút trong mạng điện. Điều này dẫn đến sự thay đổi phụ tải tác dụng và phản kháng ở tất cả các điểm nút tương ứng với đặc tính tĩnh theo tần số và theo điện áp của chúng.

Trong một trường hợp khác, giả sử giảm dòng điện kích thích của một trong những máy phát chính trong hệ thống. Khi đó công suất phản kháng của máy phát này giảm xuống làm cho điện áp ở vùng lân cận giảm. Điện áp giảm làm cho phụ tải tác dụng và phản kháng của các điểm nút giảm xuống tương ứng với đặc tính tĩnh theo điện áp của chúng.

Quan hệ tương hỗ của việc thay đổi tần số và điện áp đến công suất tác dụng và phản kháng trong hệ thống là quan hệ phức tạp như trình bày ở trên. Tuy nhiên, có thể đơn giản vấn đề bằng cách giả thiết việc thay đổi cân bằng công suất tác dụng chỉ ảnh hưởng đến tần số tức là không xét đến ảnh hưởng của việc thay đổi điện áp và công suất phản kháng. Tương tự, việc thay đổi cân bằng công suất phản kháng chỉ ảnh hưởng đến điện áp. Công suất phản kháng có thể huy động từ các máy phát điện hoặc từ các nguồn công suất phản kháng khác như máy bù đồng bộ, tụ điện tĩnh.

## 11.2 SỰ CÂN BẰNG VÀ DỰ TRỮ CÔNG SUẤT TÁC DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Cân bằng công suất tác dụng cần thiết để giữ tần số trong hệ thống. Cân bằng công suất tác dụng trong hệ thống được biểu diễn bằng biểu thức sau:

$$\Sigma P_F = m \Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P_{md} + \Sigma P_{td} + \Sigma P_{dt} \quad (11.1)$$

trong đó:

$\Sigma P_F$  - tổng công suất tác dụng phát ra do các máy phát điện của các nhà máy trong hệ thống

$\Sigma P_{pt}$  - tổng phụ tải tác dụng cực đại của các hộ tiêu thụ

$m$  - hệ số đồng thời

$\Sigma P_{md}$  - tổng tổn thất công suất tác dụng trên đường dây và máy biến áp

$\Sigma P_{td}$  - tổng công suất tự dùng của các nhà máy điện

$\Sigma P_{dt}$  - tổng công suất dự trữ.

a) Xác định hệ số đồng thời của một khu vực phải căn cứ vào tình hình thực tế của các phụ tải.

b) Tổn thất công suất tác dụng trên đường dây và máy biến áp  $\Sigma \Delta P_{md}$ .

Theo tài liệu thống kê thì tổn thất công suất tác dụng của đường dây và máy biến áp trong trường hợp mạng cao áp khoảng 5% đến 15% ( $m \Sigma P_{pt}$ )

c) Công suất tự dùng của các nhà máy điện:

Tính theo phần trăm của ( $m \Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P_{md}$ )

- Nhà máy nhiệt điện 3 – 7%

- Nhà máy thủy điện 1 – 2%

d) Công suất dự trữ của hệ thống

- Dự trữ sự cố thường lấy bằng công suất của một tổ máy lớn nhất trong hệ thống điện.

- Dự trữ phụ tải dự trù cho phụ tải tăng bất thường ngoài dự báo: 2 – 3% phụ tải tổng

- Dự trữ phát triển nhằm đáp ứng phát triển phụ tải 5 – 15 năm sau

Tổng quát, dự trữ hệ thống lấy bằng 10% đến 15% ( $m \Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P_{md}$ ) của hệ thống. Công suất dự trữ của hệ thống bao gồm dự trữ nóng và dự trữ nguội. Dự trữ nguội là các máy phát điện bình thường không làm việc và chỉ phát điện khi có sửa chữa hay sự cố máy phát. Dự trữ

nóng là một số máy phát điện bình thường chạy non tải, khi có sự cố máy phát nào trong hệ thống thì máy phát chạy non tải có thể nhanh chóng nhận thêm tải bảo đảm cho phụ tải không bị mất điện.

Ngoài dự trữ công suất của các nhà máy còn có dự trữ năng lượng, như nhà máy nhiệt điện phải có dự trữ về nhiên liệu, nhà máy thủy điện phải có dự trữ nước.

### 11.3 SỰ CÂN BẰNG VÀ DỰ TRỮ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG TRONG HỆ THỐNG

Cân bằng công suất phản kháng nhằm giữ điện áp bình thường trong hệ thống. Cân bằng công suất phản kháng được biểu diễn bằng biểu thức sau:

$$\Sigma Q_F = m\Sigma Q_{pt} + \Sigma \Delta Q_B + \Sigma \Delta Q_L - \Sigma Q_C + \Sigma Q_{td} + \Sigma Q_{dt} \quad (11.2)$$

trong đó:

$\Sigma Q_F$  - tổng công suất phát ra của các máy phát điện. Khi tính toán sơ bộ có thể tính:

$$\Sigma Q_F = \Sigma P_F \cdot \text{tg}\varphi_F$$

$\text{tg}\varphi_F$  suy ra từ hệ số công suất  $\cos\varphi_F$  của các máy phát điện.

$m\Sigma Q_{pt}$  - tổng phụ tải phản kháng của mạng điện có xét đến hệ số đồng thời

$\Sigma \Delta Q_B$  - tổng tổn thất công suất phản kháng trong máy biến áp có thể ước lượng:

$$\Sigma \Delta Q_B = (8 \rightarrow 12\%) \cdot k \cdot \Sigma S_{pt} \quad \text{với } k \text{ là số cấp biến áp.}$$

$\Sigma \Delta Q_L$  - tổng tổn thất công suất phản kháng trên các đoạn đường dây của mạng điện. Gần đúng trong tính toán sơ bộ có thể coi tổn thất công suất phản kháng trên cảm kháng đường dây bằng công suất phản kháng do điện dung đường dây cao áp sinh ra.

$\Sigma Q_{td}$  - tổng công suất tự dùng của các nhà máy điện trong hệ thống

$$\Sigma Q_{td} = \Sigma P_{td} \cdot \text{tg}\varphi_{td}$$

$Q_{dt}$  - công suất phản kháng dự trữ của hệ thống

$$Q_{dt} = (5 \rightarrow 10\%) (\Sigma m Q_{pt} + \Sigma \Delta Q_{md})$$

với  $\Sigma \Delta Q_{md} = \Sigma \Delta Q_B + \Sigma \Delta Q_L - \Sigma Q_C$ : tổng tổn thất công suất phản kháng trong mạng điện.

Tại các nhà máy điện thường có dự trữ về công suất tác dụng do đó cũng có dự trữ về công suất phản kháng. Nhưng trong mạng điện, tổn thất công suất phản kháng lớn hơn tổn thất công suất tác dụng, vì vậy khi lựa chọn công suất máy phát điện theo điều kiện cân bằng công suất tác dụng thì trong mạng có thể thiếu hụt công suất phản kháng. Để giải quyết sự thiếu hụt công suất phản kháng, việc bù công suất phản kháng ngay tại phụ tải tiêu thụ là hợp lý hơn cả. Dùng máy bù đồng bộ hay tụ điện tinh để phát công suất phản kháng sao đảm bảo cân bằng công suất phản kháng trong mạng điện. Vấn đề là đặt máy bù hay tụ điện ở đâu, công suất bao nhiêu thì có lợi. Yêu cầu bù công suất phản kháng này gọi là bù cưỡng bức hay bù kỹ thuật.

### 11.4 PHÂN BỐ THIẾT BỊ BÙ CƯỜNG BỨC TRONG MẠNG ĐIỆN

Tổng công suất phản kháng bù cưỡng bức do các máy phát điện phát không đủ cho bởi:

$$Q_{bu\Sigma} = (m\Sigma Q_{pt} + \Sigma \Delta Q_B + \Sigma \Delta Q_L - \Sigma Q_C + \Sigma Q_{td} + \Sigma Q_{dt}) - \Sigma Q_F \quad (11.3)$$

Bây giờ tìm sự phân bố các thiết bị bù trong mạng điện sao cho hợp lý về mặt kinh tế. Việc đặt thiết bị bù trong mạng điện phải thỏa mãn phí tổn tính toán Z là ít nhất. Trong thành lập phí tổn tính toán chỉ xét phí tổn do tổn thất điện năng trên đường dây và máy biến áp khi có đặt thiết bị bù. Phí tổn về đầu tư và phí tổn do tổn thất điện năng trong thiết bị bù không cần đê

cập đến vì các phí tổn này không đổi đối với mọi phương án phân bố thiết bị bù.

Phí tổn tính toán của mạng điện được viết như sau:

$$Z = c \cdot \Delta P \cdot \tau = \frac{c\tau}{U^2} f(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, \dots, Q_{bn}) \quad (11.4)$$

Tìm cực trị của hàm:  $\min Z$  (hay  $\min \Delta P$  hay  $\min f$ ) với điều kiện ràng buộc:

$$Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3} + \dots + Q_{bn} = Q_{b\Sigma} \quad (11.5)$$

Theo lý thuyết tối ưu, xét hàm Lagrange:

$$L = f - \lambda(Q_{bu,1} + Q_{bu,2} + \dots + Q_{bu,n} - Q_{bu\Sigma}) \quad (11.6)$$

(bỏ qua hệ số  $\frac{c\tau}{U^2}$  của hàm  $Z$  để đơn giản tính toán)

Lời giải tối ưu là nghiệm của hệ phương trình

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{bu,i}} = \frac{\partial f}{\partial Q_{bu,i}} - \lambda = 0 \quad \text{với } i = 1, \dots, n \quad (11.7)$$

trong đó  $\lambda$  là thừa số Lagrange.

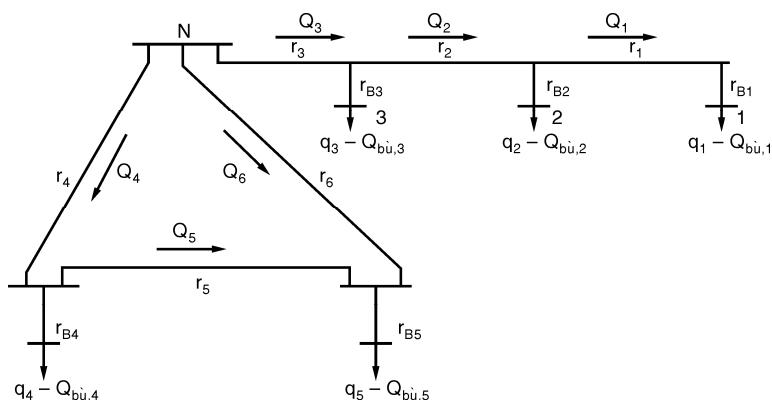
Giải hệ  $n-1$  phương trình để có các lượng  $Q$  bù:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial Q_{b1}} &= \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n}} \Rightarrow g_1(Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b1}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n}} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial Q_{b2}} &= \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n}} \Rightarrow g_2(Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b2}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n}} = 0 \\ \dots &\dots \\ \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n-1}} &= \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n}} \Rightarrow g_{n-1}(Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n-1}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b,n}} = 0 \end{aligned} \quad (11.8)$$

Thay  $Q_{b,n} = Q_{b\Sigma} - (Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3} + \dots + Q_{b,n-1})$  vào  $(n-1)$  phương trình  $g_i$  nêu trên để còn  $(n-1)$  ẩn số. Giải hệ phương trình bậc nhất để tìm  $(n-1)$  nghiệm  $Q_{bu}$ , sau đó tính  $Q_{bu,n}$  từ điều kiện ràng buộc.

Nếu trong  $n$  nghiệm tìm được *có nghiệm âm* (một hay nhiều nghiệm) có nghĩa là tại nút (hay các nút) đó không cần bù thì cho nghiệm (hay các nghiệm) đó bằng *không*, bỏ bớt phương trình đạo hàm riêng tại nút (hay các nút) không cần bù, lặp lại điều kiện ràng buộc mới và giải lại theo trình tự nói trên.

Ví dụ thành lập hàm  $f(Q_{bu,i}, \dots)$  cho mạng điện H.11.4:



Hình 11.4

Hàm f có dạng:

$$f = \left[ (q_1 - Q_{b1})^2(r_1 + r_{B1}) + (q_2 - Q_{b2})^2r_{B2} + (q_3 - Q_{b3})^2r_{B3} + (q_1 + q_2 - Q_{b1} - Q_{b2})^2r_2 + \right. \\ \left. (q_1 + q_2 + q_3 - Q_{b1} - Q_{b2} - Q_{b3})^2r_3 + \right. \\ \left. + [(q_4 - Q_{b4})^2r_{B4} + (q_5 - Q_{b5})^2r_{B5} + Q_4^2r_4 + Q_5^2r_5 + Q_6^2r_6] \right] \quad (11.9)$$

với:

$$Q_4 = \frac{(q_4 - Q_{b4})(r_5 + r_6) + (q_5 - Q_{b5})r_6}{r_4 + r_5 + r_6} \quad (11.10)$$

$$Q_6 = \frac{(q_4 - Q_{b4})r_4 + (q_5 - Q_{b5})(r_4 + r_5)}{r_4 + r_5 + r_6} \quad (11.11)$$

$$Q_5 = Q_4 - (q_4 - Q_{b4}) \quad (11.12)$$

Thành lập hệ bốn phương trình đạo hàm riêng theo năm ẩn  $Q_{bù}$

$$\frac{\partial f}{\partial Q_{b1}} = \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} \\ \frac{\partial f}{\partial Q_{b2}} = \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} \\ \frac{\partial f}{\partial Q_{b3}} = \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} \\ \frac{\partial f}{\partial Q_{b4}} = \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} \quad (11.13)$$

Chuyển về:

$$g_1(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}, Q_{b5}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b1}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} = 0 \\ g_2(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}, Q_{b5}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b2}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} = 0 \\ g_3(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}, Q_{b5}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b3}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} = 0 \\ g_4(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}, Q_{b5}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{b4}} - \frac{\partial f}{\partial Q_{b5}} = 0 \quad (11.14)$$

Thay  $Q_{b5} = Q_{b\Sigma} - (Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3} + Q_{b4})$  vào hệ phương trình trên có được hệ phương trình bậc nhất giải các ẩn số  $Q_{bù}$ :

$$g_1(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}) = 0 \\ g_2(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}) = 0 \\ g_3(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}) = 0 \\ g_4(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}, Q_{b4}) = 0 \quad (11.15)$$

Nếu xuất hiện nghiệm âm  $Q_{bi} < 0$  thì cho  $Q_{bi} = 0$ , loại nghiệm  $Q_{bi}$  và tiến hành giải lại.

## 11.5 TÍNH TOÁN THỰC DỤNG BÙ CƯỜNG BỨC BẰNG PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN

Sau đây trình bày phương pháp tính toán với trình tự như sau:

### 1. Thành lập ma trận $R_{BUS}$ cho toàn mạng điện

Tham khảo mục 9.11, tính toán thực dụng bù kinh tế.

### 2. Trình tự tính toán bù cưỡng bức

Mạng điện sau khi cân bằng công suất phản kháng cần phải bù một công suất tổng là  $Q_{bus\Sigma}$ . Cần phân bổ lượng bù tổng này sao cho tổn thất công suất trong mạng là ít nhất thỏa ràng buộc  $\sum Q_{bus,i} = Q_{bus\Sigma}$

Hàm Lagrange có dạng:

$$L = \Delta P - \lambda (Q_{bus,1} + Q_{bus,2} + Q_{bus,3} + \dots - Q_{bus\Sigma}) \quad (11.16)$$

Biểu thức của  $\Delta P$  có dạng phương trình (9.51)

Lời giải tối ưu là nghiệm của hệ phương trình:

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{bus,i}} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,i}} - \lambda = 0 \quad \text{với } i = 1, 2, \dots, n \quad (11.17)$$

thỏa  $Q_{bus,1} + Q_{bus,2} + Q_{bus,3} + \dots = Q_{bus\Sigma} \quad (11.18)$

hay:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,1}} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,n}} \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,2}} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,n}} \\ \dots \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,n-1}} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,n}} \end{array} \right\} \text{n-1 phương trình} \quad (11.19)$$

thỏa  $Q_{bus,1} + Q_{bus,2} + Q_{bus,3} + \dots + Q_{bus,n-1} + Q_{bus,n} = Q_{bus\Sigma}$

Bằng cách khử  $Q_{bus,n}$  trong (n-1) phương trình trên với  $Q_{bus,n} = Q_{bus\Sigma} - (Q_{bus,1} + Q_{bus,2} + Q_{bus,3} + \dots + Q_{bus,n-1})$  là ẩn phụ thuộc, có được hệ phương trình (n-1) ẩn số với các hệ số cho trong bảng sau (giả thiết với mạng có năm nút phụ tải cần bù, nút 0 là nút cân bằng).

Tiến hành các bước sau:

*Bước 1:* Các hệ số của phương trình đạo hàm riêng  $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bus,i}} = \lambda$

Số thứ tự nút	$Q_{bus,1}$	$Q_{bus,2}$	$Q_{bus,3}$	$Q_{bus,4}$	$Q_{bus,5}$	Hàng số	=	Về phái
1	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{14}$	$R_{15}$	$D_1$	=	$\lambda$
2	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$D_2$	=	$\lambda$
3	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{34}$	$R_{35}$	$D_3$	=	$\lambda$
4	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{44}$	$R_{45}$	$D_4$	=	$\lambda$
5	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{53}$	$R_{54}$	$R_{55}$	$D_5$	=	$\lambda$

trong đó  $D_1 = -(R_{11}Q_1 + R_{12}Q_2 + R_{13}Q_3 + R_{14}Q_4 + R_{15}Q_5) \quad (11.20)$

Tổng quát,  $D_i = -\sum_{j=1}^5 R_{ij}Q_j$  với  $Q_j$  là công suất phản kháng của phụ tải ở nút j.

Cụ thể phương trình ứng với nút 1:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,1}} = R_{11} \cdot Q_{bu,1} + R_{12} \cdot Q_{bu,2} + R_{13} \cdot Q_{bu,3} + R_{14} \cdot Q_{bu,4} + R_{15} \cdot Q_{bu,5} + D_1 = \lambda$$

Bước 2: Trừ các hàng 1,2,3,4 với hàng 5, bỏ hàng 5, cho vế phải bằng 0, có bảng như sau:

Số thứ tự nút	$Q_{bu,1}$	$Q_{bu,2}$	$Q_{bu,3}$	$Q_{bu,4}$	$Q_{bu,5}$	Hàng số	=	Vế phải
1	$E_{11}$	$E_{12}$	$E_{13}$	$E_{14}$	$E_{15}$	$F_1$	=	0
2	$E_{21}$	$E_{22}$	$E_{23}$	$E_{24}$	$E_{25}$	$F_2$	=	0
3	$E_{31}$	$E_{32}$	$E_{33}$	$E_{34}$	$E_{35}$	$F_3$	=	0
4	$E_{41}$	$E_{42}$	$E_{43}$	$E_{44}$	$E_{45}$	$F_4$	=	0

trong đó:

$$\begin{aligned} E_{11} &= R_{11} - R_{51} \\ E_{12} &= R_{12} - R_{52} \\ E_{13} &= R_{13} - R_{53} \quad F_1 = D_1 - D_5 \\ E_{14} &= R_{14} - R_{54} \\ E_{15} &= R_{15} - R_{55} \end{aligned} \quad (11.21)$$

$$\text{Tổng quát: } E_{ij} = R_{ij} - R_{5j} \quad \text{và} \quad F_i = D_i - D_5 \quad \text{với } i = 1, 2, 3, 4. \quad (11.22)$$

Hay đổi với mạng có n nút phụ tải cần bù:

$$E_{ij} = R_{ij} - R_{nj} \quad \text{và} \quad F_i = D_i - D_n$$

Bước 3: Khử  $Q_{bu,5}$  theo điều kiện ràng buộc bằng cách trừ các cột 1,2,3,4 cho cột 5, tính lại cột hàng số, bỏ cột 5, vế phải vẫn bằng 0 ; có bảng sau:

Số thứ tự nút	$Q_{bu,1}$	$Q_{bu,2}$	$Q_{bu,3}$	$Q_{bu,4}$	Hàng số	=	Vế phải
1	$G_{11}$	$G_{12}$	$G_{13}$	$G_{14}$	$H_1$	=	0
2	$G_{21}$	$G_{22}$	$G_{23}$	$G_{24}$	$H_2$	=	0
3	$G_{31}$	$G_{32}$	$G_{33}$	$G_{34}$	$H_3$	=	0
4	$G_{41}$	$G_{42}$	$G_{43}$	$G_{44}$	$H_4$	=	0

Cụ thể phương trình ứng với nút 1:

$$G_{11} \cdot Q_{bu,1} + G_{12} \cdot Q_{bu,2} + G_{13} \cdot Q_{bu,3} + G_{14} \cdot Q_{bu,4} + H_1 = 0 \quad (11.23)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} G_{11} &= E_{11} - E_{15} \\ G_{12} &= E_{12} - E_{15} \quad H_1 = F_1 + E_{15} \cdot Q_{bu,5} \\ G_{13} &= E_{13} - E_{15} \\ G_{14} &= E_{14} - E_{15} \end{aligned}$$

Tổng quát:

$$G_{ij} = E_{ij} - E_{i5} \quad \text{với } i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (11.24)$$

$$H_i = F_i + E_{i5} \cdot Q_{bu,5} \quad (11.25)$$

Đến đây có được hệ phương trình bậc nhất, dùng lệnh của MatLab để có lời giải  $Q_{bu,1}, Q_{bu,2}, Q_{bu,3}, Q_{bu,4}$ . Suy ra  $Q_{bu,5} = Q_{bu,5} - (Q_{bu,1} + Q_{bu,2} + Q_{bu,3} + Q_{bu,4})$

Bước 4: Trường hợp có nghiệm âm

Giả thiết giải ra  $Q_{bu,2} < 0$ , chứng tỏ phụ tải 2 không cần bù. Cho  $Q_{bu,2} = 0$

Trở lại bước 1, bỏ hàng 2 và cột 2 ứng với  $Q_{bu,2}$  và tiến hành lại các bước 2 và 3 cho đến khi tất cả các nghiệm đều dương.

Sau khi bỏ hàng cột ứng với  $Q_{bu,2}$ , bảng ở bước 1 có dạng sau:

Số thứ tự nút	$Q_{bu,1}$	$Q_{bu,3}$	$Q_{bu,4}$	$Q_{bu,5}$	Hàng số	=	Về phải
1	$R_{11}$	$R_{13}$	$R_{14}$	$R_{15}$	$D_1$	=	$\lambda$
3	$R_{31}$	$R_{33}$	$R_{34}$	$R_{35}$	$D_3$	=	$\lambda$
4	$R_{41}$	$R_{43}$	$R_{44}$	$R_{45}$	$D_4$	=	$\lambda$
5	$R_{51}$	$R_{53}$	$R_{54}$	$R_{55}$	$D_5$	=	$\lambda$

Lúc bấy giờ:

$$Q_{bu,5} = Q_{bu,\Sigma} - (Q_{bu,1} + Q_{bu,3} + Q_{bu,4})$$

Cũng có thể giải bằng phép lặp dần đúng thừa số Lagrange  $\lambda$  như sau:

Bắt đầu từ phương trình đạo hàm riêng:

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{bu,i}} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,i}} - \lambda = 0 \quad \text{với } i = 2, 3, 4, \dots \quad (11.26)$$

Hay theo phương trình (9.52) (ví dụ với mạng có năm nút, nút 1 là nút cân bằng):

$$\frac{2}{U^2} \left\{ - \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_j + \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_{bu,j} \right\} - \lambda = 0 \quad \text{với } i = 2, 3, 4, 5 \quad (11.27)$$

hoặc:

$$\frac{2}{U^2} \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_{bu,j} = \frac{2}{U^2} \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_j + \lambda \quad \text{với } i, j = 2, 3, 4, 5 \quad (11.28)$$

$$\sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_{bu,j} = \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_j + \lambda' \quad \text{với } i, j = 2, 3, 4, 5 \quad \text{và } \lambda' = \frac{\lambda U^2}{2} \quad (11.29)$$

Đặt  $E_i = \sum_{j=2}^5 R_{ij} Q_j + \lambda'$  có được hệ phương trình sau (với  $i, j = 2, 3, 4, 5$ ):

STT	$Q_{bu,2}$	$Q_{bu,3}$	$Q_{bu,4}$	$Q_{bu,5}$	Về phải
2	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$E_2$
3	$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{34}$	$R_{35}$	$E_3$
4	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{44}$	$R_{45}$	$E_4$
5	$R_{52}$	$R_{53}$	$R_{54}$	$R_{55}$	$E_5$

Tóm tắt các bước tính toán theo phép lặp dần đúng giá trị  $\lambda$ :

Bước 1: Thành lập Zbus

Bước 2: Thành lập hệ phương trình (11.29)

Bước 3: Giải hệ phương trình trên với một giá trị  $\lambda_0'$  cho trước (Ví dụ cho  $\lambda_0' = 0$ )

Bước 4: Kiểm tra điều kiện ràng buộc:  $\sum Q_{bù,i} = Q_{bù,\Sigma}$ .

Nếu  $\sum Q_{bù,i} > Q_{bù,\Sigma}$  thì giảm  $\lambda$  và quay lại bước 2.

Bước 5: Kiểm tra nghiệm âm. Nếu có nghiệm âm tại nút k, chứng tỏ nút k không cần bù và cho  $Q_{bù,k}$  bằng không và bỏ hàng và cột ứng với nút k trong hệ phương trình và lập lại từ bước 3 đến bước 5. Nếu xuất hiện từ hai nghiệm âm trở lên thì nên tiến hành ứng với nghiệm âm có trị số tuyệt đối lớn nhất và không cần bù cho nút này.

### Ví dụ 11.1

Cho mạng điện 110 kV năm nút trong H.11.5. Phụ tải nút 4 ( $40 + j40$ ) MVA, phụ tải nút 5 ( $20 + j15$ ) MVA. Điện áp định mức nút 4 và 5 là 22 kV.

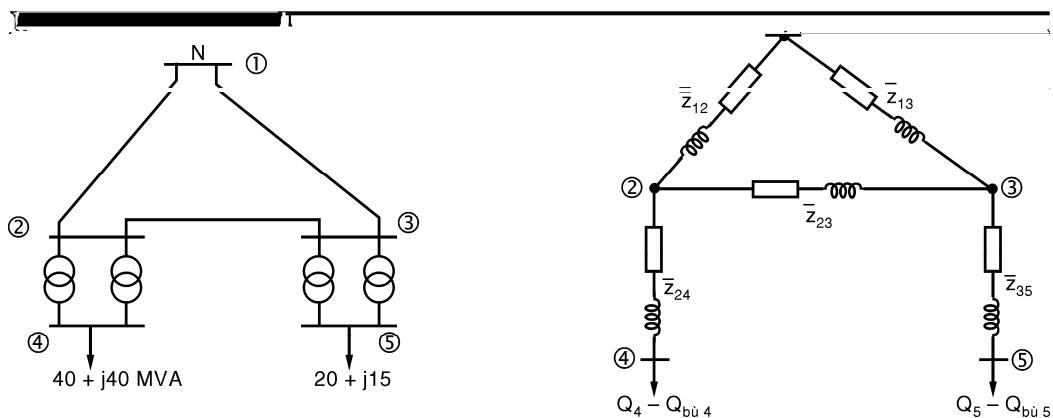
Tổng trở các nhánh:

$$\begin{aligned}\bar{z}_{12} &= 5,1 + j12,21 \Omega \\ \bar{z}_{13} &= 4,2 + j8,3 \Omega \\ \bar{z}_{23} &= 18,4 + j17,6 \Omega \\ \bar{z}_{24} &= 1,22 + j20,16 \Omega \\ \bar{z}_{35} &= 2,465 + j31,76 \Omega\end{aligned}$$

Xác định:

- Công suất phát của nguồn N với điện áp 1,05 đvtđ.
- Nếu hệ số công suất của nguồn phát được qui định là 0,85 ; hãy tính tổng công suất kháng cần bù cưỡng bức trong mạng điện.
- Phân bổ dung lượng bù tại các nút phụ tải.

### Giải



Hình 11.5

- Kết quả phân bổ công suất với công suất cơ bản 100 MVA

STT	P	Q	U (đvtđ)	U (kV)	góc (độ)	Tên
001	0.622	0.635	1.0500	115.50	+00.000	NUT_1
002	0.000	0.000	0.9987	109.86	-00.823	NUT_2
003	0.000	0.000	1.0242	112.66	-00.665	NUT_3
004	-0.400	-0.400	0.9196	020.23	-04.732	NUT_4
005	-0.200	-0.150	0.9785	021.53	-03.492	NUT_5

Từ kết quả phân bố công suất có được công suất nguồn N:

$$S_N = 62,2 \text{ MW} + j63,5 \text{ MVar}$$

ứng với hệ số công suất  $\cos\varphi_N = 0,7$ .

b) Với  $\cos\varphi_F = 0,85$ , tổng dung lượng cản bù cưỡng bức:

$$\cos\varphi_F = 0,85 \Rightarrow \tan\varphi_F = 0,62$$

$$\cos\varphi_N = 0,7 \Rightarrow \tan\varphi_N = 1,02$$

$$Q_{bu\Sigma} = 62,2(1,02 - 0,62) = 24,88 \text{ MVar}$$

c) Phân bố dung lượng bù cưỡng bức.

Kết quả tính toán ma trận  $Z_{bus}$  với nút 1 làm chuẩn:

$$\begin{matrix} & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & \left[ \begin{array}{cccc} 4,4976 + j8,5427 & 0,6099 + j2,5404 & 4,4976 + j8,5427 & 0,6099 + j2,5404 \\ 0,6099 + j2,5404 & 3,6425 + j6,5500 & 0,6099 + j2,5404 & 3,6425 + j6,5500 \\ 4,4976 + j8,5427 & 0,6099 + j2,5404 & 5,7176 + j28,7027 & 0,6099 + j2,5404 \\ 0,6099 + j2,5404 & 3,6425 + j6,5500 & 0,6099 + j2,5404 & 6,1075 + j38,3100 \end{array} \right] \\ 3 & \\ 4 & \\ 5 & \end{matrix}$$

Suy ra ma trận  $R_{bus}$ :

$$\begin{matrix} & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & \left[ \begin{array}{cccc} 4,4976 & 0,6099 & 4,4976 & 0,6099 \\ 0,6099 & 3,6425 & 0,6099 & 3,6425 \\ 4,4976 & 0,6099 & 5,7176 & 0,6099 \\ 0,6099 & 3,6425 & 0,6099 & 6,1075 \end{array} \right] \\ 3 & \\ 4 & \\ 5 & \end{matrix}$$

Bước 1: Các hệ số của phương trình đạo hàm riêng  $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,i}} = \lambda$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,4}} = R_{44}Q_{bu,4} + R_{45}Q_{bu,5} + D_4 = \lambda$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{bu,5}} = R_{54}Q_{bu,4} + R_{55}Q_{bu,5} + D_5 = \lambda$$

$$\begin{aligned} \text{với } D_4 &= -(R_{42}Q_2 + R_{43}Q_3 + R_{44}Q_4 + R_{45}Q_5) \\ &= -(5,7176 \cdot 40 + 0,6099 \cdot 15) = -237,8505 \\ D_5 &= -(R_{52}Q_2 + R_{53}Q_3 + R_{54}Q_4 + R_{55}Q_5) \\ &= -(0,6099 \cdot 40 + 6,1075 \cdot 15) = -116,0085 \end{aligned}$$

Suy ra hệ phương trình:

$$5,7176 Q_{bu,4} + 0,6099 Q_{bu,5} - 237,8505 = \lambda \quad (1)$$

$$0,6099 Q_{bu,4} + 6,1075 Q_{bu,5} - 116,0085 = \lambda \quad (2)$$

Bước 2: Trừ phương trình (1) với phương trình (2), bỏ phương trình (2)

$$\begin{array}{ccc} E_{44}Q_{bù,4} + E_{45}Q_{bù,5} + F_4 = 0 \\ \text{cột 1} & \text{cột 2} & \text{cột 3} \\ 5,1077 Q_{bù,4} - 5,4976 Q_{bù,5} - 121,8442 = 0 \end{array} \quad (3)$$

Bước 3: Khử  $Q_{bù,5}$  bằng cách trừ hệ số cột 1 cho hệ số cột 2 của (3), bỏ cột 2 và tính lại cột 3:

$$G_{44}Q_{bù,4} + H_4 = 0$$

trong đó:

$$G_{44} = 5,1077 - (-5,4976) = 10,6053$$

$$H_4 = F_4 + E_{45}Q_{bù\Sigma} = -121,8442 + (-5,4976).24,88 = -258,6243$$

suy ra:

$$10,6053 Q_{bù,4} - 258,6243 = 0$$

$$Q_{bù,4} = \frac{258,6243}{10,6053} = 24,386 \text{ MVAr}$$

$$Q_{bù,5} = Q_{bù\Sigma} - Q_{bù,4} = 24,88 - 24,386 = 0,494 \text{ MVAr}$$

Giải theo phương pháp lặp dần thừa số  $\lambda$ :

$$R_{44}Q_{bù,4} + R_{45}Q_{bù,5} = E_4$$

$$R_{54}Q_{bù,4} + R_{55}Q_{bù,5} = E_5$$

với:

$$\begin{aligned} E_4 &= R_{42}Q_2 + R_{43}Q_3 + R_{44}Q_4 + R_{45}Q_5 + \lambda \\ &= 5,7176 \cdot 40 + 0,6099 \cdot 15 + \lambda = 237,8505 + \lambda \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_5 &= R_{52}Q_2 + R_{53}Q_3 + R_{54}Q_4 + R_{55}Q_5 + \lambda \\ &= 0,6099 \cdot 40 + 6,1075 \cdot 15 + \lambda = 116,0085 + \lambda \end{aligned}$$

hay:

$$5,7176 Q_{bù,4} + 0,6099 Q_{bù,5} = 237,8505 + \lambda$$

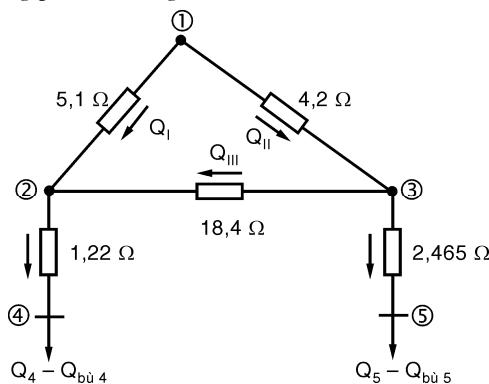
$$0,6099 Q_{bù,4} + 6,1075 Q_{bù,5} = 116,0085 + \lambda$$

với ràng buộc  $Q_{bù,4} + Q_{bù,5} = 24,88$

Lời giải hối tự khi  $\lambda = -98,1504$  với kết quả:

$$Q_{bù,4} = 24,389 \text{ MVAr} \quad Q_{bù,5} = 0,497 \text{ MVAr}$$

Giải theo cách thông thường trong mục 11.4 bỏ qua cảm kháng chỉ xét điện trở các nhánh (H.11.6.) và tìm phân bố dòng phản kháng trên các nhánh



Hình 11.6

$$Q_I = \frac{(40 - Q_{bu,4})(18,4 + 4,2) + (15 - Q_{bu,5}).4,2}{5,1 + 18,4 + 4,2} = 0,816.(40 - Q_{bu,4}) + 0,152.(15 - Q_{bu,5})$$

$$Q_{II} = \frac{(15 - Q_{bu,5})(18,4 + 5,1) + (40 - Q_{bu,4}).5,1}{5,1 + 18,4 + 4,2} = 0,184.(40 - Q_{bu,4}) + 0,848.(15 - Q_{bu,5})$$

Suy ra:

$$\begin{aligned} Q_{III} &= Q_{II} - (15 - Q_{bu,5}) = 0,184.(40 - Q_{bu,4}) + 0,848.(15 - Q_{bu,5}) - (15 - Q_{bu,5}) \\ &= 0,184.(40 - Q_{bu,4}) - 0,152.(15 - Q_{bu,5}) \end{aligned}$$

Cực tiểu hàm  $f(Q_{bu,4}, Q_{bu,5})$  như sau:

$$\begin{aligned} f &= (40 - Q_{bu,4})^2 \cdot 1,22 + (15 - Q_{bu,5})^2 \cdot 2,465 + [0,816(40 - Q_{bu,4}) + 0,152(15 - Q_{bu,5})]^2 \cdot 5,1 \\ &\quad + [0,184(40 - Q_{bu,4}) + 0,848(15 - Q_{bu,5})]^2 \cdot 4,2 + [0,184(40 - Q_{bu,4}) - 0,152(15 - Q_{bu,5})]^2 \cdot 18,4 \end{aligned}$$

thỏa mãn ràng buộc:

$$Q_{bu,4} + Q_{bu,5} = 24,88 \text{ MVAr.}$$

Theo (11.7)

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial Q_{bu,4}} &= \frac{\partial f}{\partial Q_{bu,4}} - \lambda = 0 \\ &= -2(40 - Q_{bu,4}) \cdot 1,22 - 2 \cdot 5,1[0,816(40 - Q_{bu,4}) + 0,152(15 - Q_{bu,5})] \cdot 0,816 - \\ &\quad 2 \cdot 4,2[0,184(40 - Q_{bu,4}) + 0,848(15 - Q_{bu,5})] \cdot 0,184 - 2 \cdot 18,4[0,184(40 - Q_{bu,4}) \\ &\quad - 0,152(15 - Q_{bu,5})] \cdot 0,184 - \lambda = 0 \end{aligned}$$

Suy ra:

$$10,762 Q_{bu,4} + 1,5465 Q_{bu,5} - 453,6975 = \lambda \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial Q_{bu,5}} &= \frac{\partial f}{\partial Q_{bu,5}} - \lambda = 0 \\ &= -2(15 - Q_{bu,5}) \cdot 2,465 - 2 \cdot 5,1[0,816(40 - Q_{bu,4}) + 0,152(15 - Q_{bu,5})] \cdot 0,152 - \\ &\quad 2 \cdot 4,2[0,184(40 - Q_{bu,4}) + 0,848(15 - Q_{bu,5})] \cdot 0,848 + 2 \cdot 18,4[0,184(40 - Q_{bu,4}) \\ &\quad - 0,152(15 - Q_{bu,5})] \cdot 0,152 - \lambda = 0 \end{aligned}$$

Suy ra:

$$1,5466 Q_{bu,4} + 12,0564 Q_{bu,5} - 242,71 = \lambda \quad (2)$$

Trừ phương trình (1) và phương trình (2) vế với vế:

$$g(Q_{bu,4}, Q_{bu,5}) = 9,2154 Q_{bu,4} - 10,5099 Q_{bu,5} - 210,9875 = 0$$

Thay  $Q_{bu,5} = Q_{bu\Sigma} - Q_{bu,4} = 24,88 - Q_{bu,4}$  vào phương trình  $g(Q_{bu,4}, Q_{bu,5})$

$$9,2154 Q_{bu,4} - 10,5099(24,88 - Q_{bu,4}) - 210,9875$$

$$19,7253 Q_{bu,4} = 472,4738$$

Suy ra:

$$Q_{bu,4} = 23,953 \text{ MVAr}$$

$$Q_{bu,5} = 24,88 - 23,953 = 0,927 \text{ MVAr}$$

Nhận xét: nếu chỉ tính theo mạng điện trớ thì kết quả có sai lệch chút ít so với tính theo mạng tổng trớ.

# Chương 12

## VẬN HÀNH KINH TẾ MÁY PHÁT

### 12.1 MỞ ĐẦU

Đề tài vận hành nền kinh tế quá rộng để có thể đề cập trong một chương. Ở đây chỉ đưa ra các khía cạnh quan trọng của vấn đề. Trong những năm gần đây, nhiều vấn đề được triển khai liên quan đến:

1. Dự báo phụ tải chính xác hơn cả ngắn hạn lẫn dài hạn;
2. Định thời biểu của các máy phát còn gọi là phương thức huy động (sự ủy thác công suất kinh tế tổ máy);
3. Vận hành kinh tế các nhà máy khi đang hoạt động trên lưới;
4. Phát triển kinh tế và hiện đại hóa hệ thống điện.

### 12.2 CÁC RÀNG BUỘC VỀ VẬN HÀNH

Một số các ràng buộc phải được nhắc đến bao gồm:

#### 12.2.1 Ràng buộc về khả năng của từng máy phát

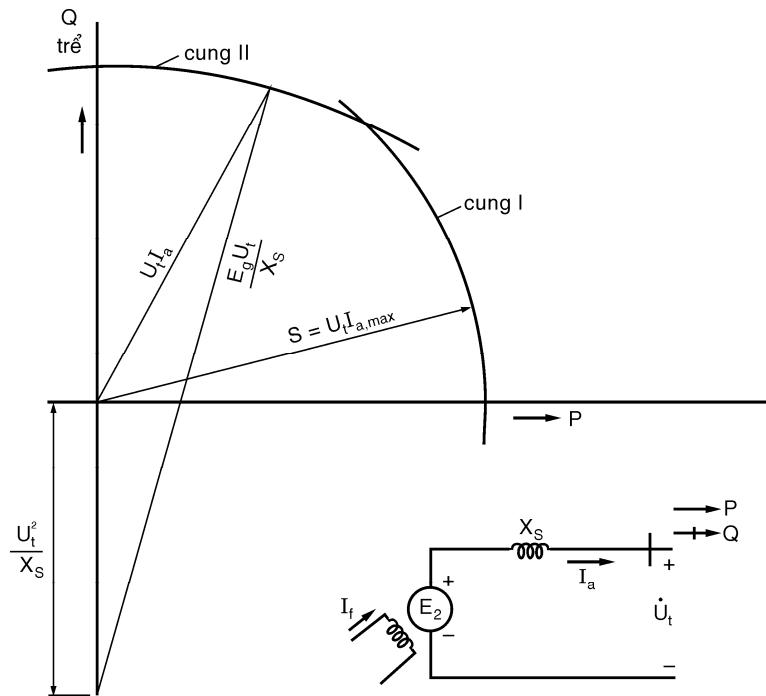
Những ràng buộc này được xác định chủ yếu bởi các ràng buộc về nhiệt và khả năng của lò hơi cũng bao gồm thời gian lên máy của các tổ máy cũng như mức độ nhận tải sau khi đã lên máy. Lượng công suất truyền tải từ thanh cáp máy phát vào hệ thống cũng có giới hạn theo quan điểm ổn định. Có một giới hạn theo quan điểm phát nóng về lượng công suất tác dụng và phản kháng mà máy phát có thể phát ra. Những giới hạn này dựa trên cuộn dây xoay chiều phần ứng và cuộn dây kích thích một chiều. Tham khảo H.12.1 trong đó mô tả các đường cong khả năng đối với một máy phát với sức điện động  $E_g$  không đổi đang cung cấp công suất vào hệ thống với điện áp đầu cực không đổi  $U_t$  qua điện kháng đồng bộ  $X_s$ . Đường cong khả năng bao gồm hai cung tròn. Cung I biểu diễn giới hạn phát nóng do dòng điện cực đại cho phép trong cuộn dây xoay chiều của stato ( $I_{uf,max}$ ). Cung này có tâm ở góc, có bán kính bằng công suất  $S$  không đổi. Công suất tác dụng  $P$  vẽ theo trực hoành và công suất phản kháng  $Q$  vẽ theo trực tung. Máy phát sẽ vận hành an toàn bên trong cung tròn này (về bên trái) nếu xét theo phát nóng của stato máy phát. Cung II biểu diễn giới hạn phát nóng bởi dòng điện kích thích cho phép và sức điện

động tương ứng với kích thích cực đại ( $E_g$ ), cung thứ hai này có tâm ở  $-\left| \frac{U_t}{X_s} \right|^2$  trên trực  $Q$  và có

bán kính bằng  $\left| \frac{E_g}{X_s} \right|$ . Hai cung này tạo nên đường biên cho công suất  $P + jQ$ . Tuy vậy, nếu

máy phát trở nên có hệ số công suất sớm do dưới kích thích của cuộn dây kích từ, công  $Q$  sẽ giảm đáng kể do phát nóng phụ thêm trong lõi sắt. Điều này chưa thể thấy ngay được, nhưng

công suất  $Q_{s\sigma m}$  cho phép có thể giảm xuống khoảng một nửa công suất định mức  $Q_{tr}$  của máy phát. Lý thuyết về ổn định sẽ đặt ra thêm các đường biên cho máy phát.



Hình 12.1: Đường cong khả năng tải của máy phát đồng bộ

### 12.2.2 Yêu cầu dự trữ an toàn cho hệ thống

Phải kể đến các trường hợp khẩn cấp như mất đường dây, máy phát, máy biến áp... bị cắt ra khỏi hệ thống. Một lượng dự trữ cần thiết như vùng an toàn có xét đến việc cắt cưỡng bức các phần tử trong hệ thống hoặc do sai số dự báo. Cần xem xét chương trình dự trữ về mặt địa dư khi mà việc cắt đứt đường dây truyền tải có thể gây ra cô lập một vùng của hệ thống.

## 12.3 DỰ BÁO TẢI NGẮN HẠN

Dự báo phụ tải thường được chia làm “dài hạn” trong đó phụ tải đỉnh theo mùa được tiên đoán trên cơ sở thời gian dài và “ngắn hạn”, trong đó các tiên đoán từng giờ được đưa ra cho một ngày nhất định. Dựa vào sự sắp xếp điển hình trong quá khứ, phòng sản xuất đưa ra dự báo ngắn hạn, liên hệ đến các phương pháp có tính truyền thống về kinh nghiệm, suy luận và trực giác. Dựa trên dự báo này, các nguồn được huy động theo lịch trình hay theo danh sách ưu tiên nào đó. Nhóm vận hành sẽ làm việc chặt chẽ với nhóm sản xuất nhằm đảm bảo sự an toàn hệ thống được duy trì. Một sai số dự báo 2 hay 3% về phía thấp có thể đưa đến cần phải dùng các máy phát tuabin khí hiệu suất thấp hay các đơn vị phủ định có chi phí sản xuất cao. Mặt khác, một sai số dự báo lớn hơn thực tế sẽ dư thừa công suất phát trong dự trữ nóng. Độ chính xác 1% được coi là đối tượng mong muốn nhưng thường khó đạt được. Các thông tin tin cậy về thời tiết cũng góp phần vào dự báo tốt.

Bài toán dự báo ngắn hạn không phải đơn giản vì nhiều yếu tố cần đưa vào biểu thức của phụ tải tổng. Trong các yếu tố đó có ảnh hưởng của ánh sáng, thời tiết, kiểu mẫu đô thị phụ tải ngày hay mùa, phụ tải yêu cầu công nghiệp. Ngay cả khi có thể tiên đoán chính xác

các yếu tố này luôn luôn có các yếu tố ngẫu nhiên không đoán trước được như mưa bão, sấm sét...

Một kỹ thuật dùng trong dự báo là lý thuyết hồi qui. Chẳng hạn, tải tổng  $P$  có thể được biểu diễn bằng tổng của nhiều biểu thức tuyến tính theo  $W_1, W_2, \dots, W_n$  trong đó những giá trị  $W$  này là các biến số về thời tiết có liên quan đến nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc gió, độ trong thấy v.v... Biểu thức dự báo phụ tải có dạng:

$$P = C_0 + C_1 W_1 + C_2 W_2 + \dots + C_n W_n \quad (12.1)$$

Từ một số các khảo sát riêng rẽ với các giá trị  $P$  và  $Q$  được biết, các hệ số  $C$  được xác định bằng chương trình hồi qui và phương pháp gần đúng bình phương cực tiểu. Trong phạm vi có hạn của quyển sách, ở đây chỉ có dụng ý giúp cho sinh viên có khái niệm tổng quát về dự báo ngắn hạn và tầm quan trọng của nó trong việc định thời biểu vận hành các nguồn và điều độ kinh tế tải của nguồn phát trong hệ thống.

## 12.4 SỰ PHÂN BỐ KINH TẾ TẢI GIỮA CÁC MÁY PHÁT BÊN TRONG NHÀ MÁY

Nhiều yếu tố được cho là quan trọng trong việc sản xuất điện năng với chi phí tối thiểu bao gồm:

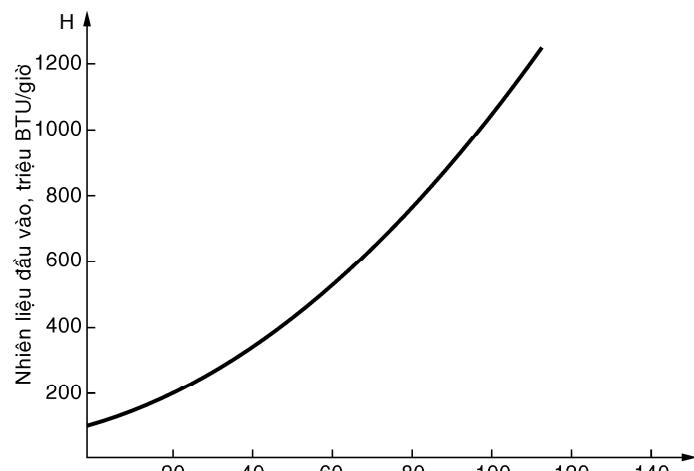
- 1) Hiệu suất vận hành của các máy phát
- 2) Chi phí nhiên liệu
- 3) Tổn thất truyền tải điện

Rõ ràng một máy phát có hiệu suất cao nhất trong hệ thống có thể không đảm bảo chi phí thấp nhất cho mỗi MWh phát ra nếu như nó được đặt ở xa phụ tải hoặc là đặt ở nơi mà giá nhiên liệu quá cao.

Mục này giả thiết các đơn vị tổ máy được đặt trong cùng một nhà máy hoặc chúng đặt đủ gần để có thể bỏ qua tổn thất truyền tải. Việc xét tổn thất đường dây đối với lợi ích kinh tế được bàn ở mục kế. Mục tiêu của giai đoạn này là phân bố tải trong nhà máy giữa các tổ máy sao cho chi phí về nhiên liệu của nhà máy là nhỏ nhất.

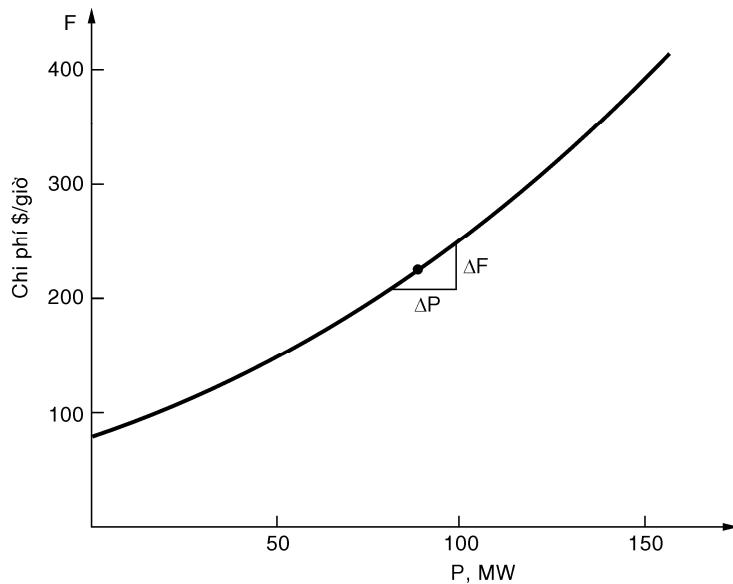
Đường cong đầu vào - đầu ra (nhập-xuất) của nhà máy nhiệt điện là quan trọng trong việc mô tả hiệu suất của nhà máy. Một đường cong như vậy là đồ thị của nhiên liệu đầu vào (BTU/giờ, BTU là đơn vị nhiệt năng trong đơn vị Anh: 1 BTU = 1054,8 Joule = 252 Calo) theo công suất điện kW hay MW ở đầu ra như trình bày trong H.12.2.

Máy phát (hay nhà máy) có suất nhiệt được tính bằng BTU hay kiloJoule đầu vào cho mỗi MWh điện năng ở đầu ra. Không được nhầm lẫn đường cong suất nhiệt với đường cong suất tăng nhiên liệu mặc dù các đơn vị trên trục toạ độ của hai đường này giống nhau. Các điểm của đường cong suất nhiệt có được từ đường cong đầu vào - đầu ra bằng cách đơn giản là chia tung



Hình 12.2: Đường cong nhập xuất của một tổ máy phát

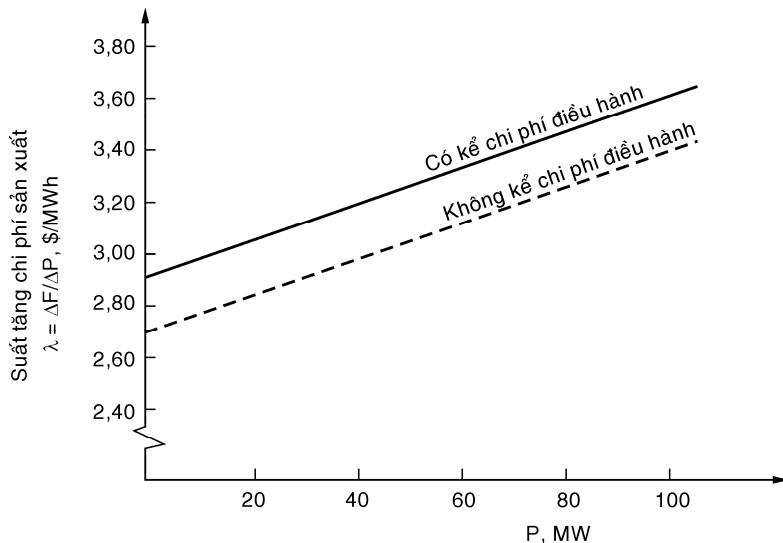
độ của từng điểm trên đường cong này với hoành độ tương ứng của điểm đó. Còn đường cong suất tăng nhiên liệu là đồ thị của độ dốc của đường cong đầu vào - đầu ra theo công suất ở đầu ra. Suất nhiệt của các tổ máy phát dùng dầu được cải thiện đáng kể. Ví dụ, năm 1940 suất nhiệt



lớn hơn 16 000 BTU/kWh thì gần đây trị số này khoảng 10 000 BTU/kWh hay ít hơn.

**Hình 12.3:** Đường cong nhập xuất với tung độ tính theo \$/giờ

Hình 12.3 là đường cong đầu vào - đầu ra với tung độ được đổi đơn vị từ BTU/giờ (H) ra tiền \$/giờ (F). Ngoài ra độ dốc ( $\Delta F/\Delta P$ ) ứng với các công suất khác nhau của đầu ra có ý nghĩa quan trọng. Đồ thị của độ dốc ( $\lambda = \Delta F/\Delta P$ ) theo P là đường cong suất tăng chi phí có dạng trong H.12.4.



**Hình 12.4:** Đường cong suất tăng chi phí đối với máy phát

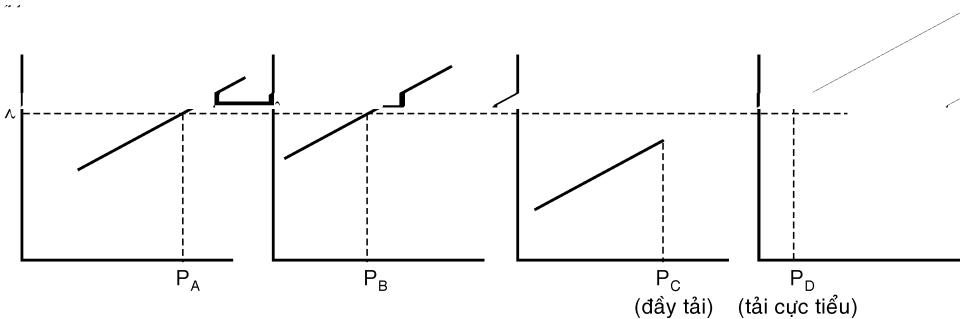
Đường cong suất tăng chi phí là thước đo chi phí phải đắt hơn như thế nào để sản suất thêm một lượng tăng công suất bắt đầu từ công suất đang phát. Để ý có hai đường trong H.12.4. Đường đứt nét biểu diễn đường suất tăng chi phí nhiên liệu thực tế trong khi đường liền nét có

kể thêm các chi phí tăng về lao động, phục vụ... gọi chung là chi phí điều hành. Việc xác định ảnh hưởng của chi phí điều hành thường khó chính xác và thường chỉ gần đúng. Vì đường suất tăng chi phí gần với quan hệ tuyến tính nên nó có thể được biểu diễn bằng phương trình đường thẳng.

Bây giờ giả thiết hai hay nhiều máy phát trong nhà máy vận hành chung trong điều kiện kinh tế nhất. Tiêu chuẩn căn bản cho cách vận hành như vậy là mỗi đơn vị tổ máy phải có cùng suất tăng chi phí nhiên liệu ( $\lambda$ ). Phát biểu dưới dạng toán học:

$$\lambda = \frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} = \dots = \frac{dF_n}{dP_n} \quad (12.2)$$

nguyên lý này được dùng trong H.12.5 đối với các đơn vị A và B



**Hình 12.5:** Minh họa sự phân bổ kinh tế tải giữa bốn đơn vị máy phát

$$P_{\text{tổng}} = P_A + P_B + P_C + P_D$$

Đã nhiên một đơn vị mà toàn bộ dãy suất tăng chi phí đều ở dưới dãy  $\lambda$  của các đơn vị khác (xem đường cong đối với đơn vị C) thì sẽ mang đầy tải trước khi những đơn vị khác mang tải lớn hơn mức tải cực tiểu. Tương tự đơn vị D với dãy suất tăng chi phí cao hơn sẽ mang tải ở mức tối thiểu và có thể dùng làm dự trữ. Chú ý trị số của  $\lambda$  được chọn sao cho thỏa mãn công suất tổng của toàn nhà máy:

$$P_{\text{tổng}} = P_A + P_B + P_C + P_D$$

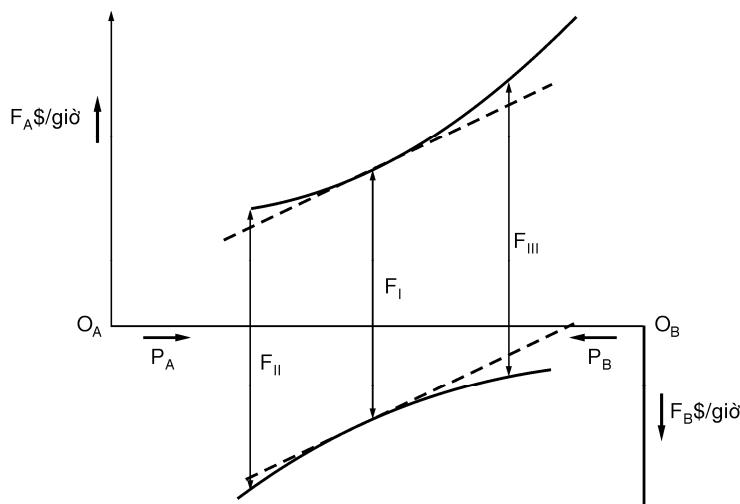
Nếu công suất phát của nhà máy tăng lên thì  $\lambda$  cũng tăng theo.

Có nhiều cách để chứng minh nguyên lý về tiêu chuẩn  $\lambda$  bằng nhau trong vận hành kinh tế. Phương pháp được chọn ở đây là chứng minh bằng đồ thị, mặc dù phương pháp thừa số Lagrange thường được dùng để chứng minh tiêu chuẩn này. Với phương pháp dùng đồ thị, giả thiết trước hết chỉ xét hai đơn vị tổ máy và không có sự đảo ngược độ dốc đối với hai đường đầu vào - đầu ra của hai tổ máy. Đường cong của đơn vị A được vẽ bình thường trong khi trục tung ở đơn vị B bị quay đi  $180^{\circ}$  có chiều dương hướng xuống, còn gốc toạ độ  $O_B$  của đơn vị B đặt cách gốc  $O_A$  một khoảng bằng tải tổng  $P_A + P_B$ . Khoảng cách thẳng đứng giữa hai đường biểu diễn cho chi phí tổng trong mỗi giờ để phát ra công suất  $P_{\text{tổng}}$  của nhà máy (H.12.6). Câu hỏi sẽ được trả lời bằng đồ thị liên quan đến điểm vận hành tối ưu (kinh tế nhất).

Trước hết, đoạn thẳng đứng  $F_I$  biểu diễn điểm vận hành khi độ dốc của hai đường cong bằng nhau.  $F_I$  còn biểu diễn chi phí tổng mỗi giờ vận hành cả hai máy. Để xác định xem có gì khác khi vận hành ở hai bên của đường ứng với độ dốc nhau chỉ cần kiểm tra các đường chi phí ứng với điều kiện II và III. Các đường đứt nét được vẽ tiếp xúc với đường cong tại đường có độ dốc bằng nhau. Bất cứ khoảng cách thẳng đứng nào nằm giữa hai đường

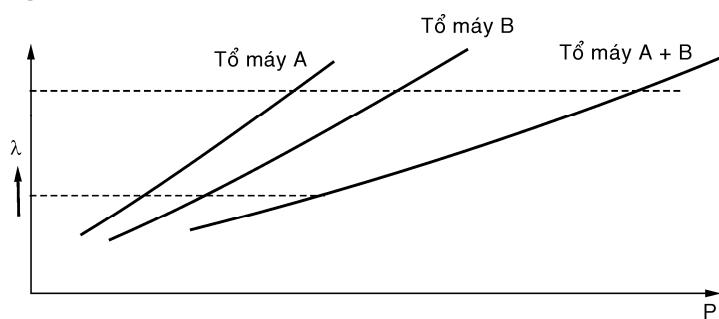
song song này bằng với chi phí  $F_I$  và rõ ràng khoảng cách này nhỏ hơn  $F_{II}$  hoặc  $F_{III}$ .

Tiêu chuẩn độ dốc bằng nhau đã được chứng minh đúng với hai đơn vị máy phát cũng đúng khi số tổ máy nhiều hơn. Thực vậy, đường cong suất tăng chi phí của hai (hay nhiều) máy có thể dễ dàng được kết hợp thành một đường trong điều kiện  $\lambda$  bằng nhau như trong H.12.7. Điều này được làm bằng cách cộng các giá trị hoành độ  $P$  của hai đường suất tăng chi phí ở các điểm có  $\lambda$  bằng nhau.



**Hình 12.6:** Minh họa tiêu chuẩn  $\lambda$  bằng nhau trong phân bổ kinh tế phụ tải giữa hai tổ máy

Đường cong suất tăng chi phí thường được coi như đường thẳng ít nhất trên một khoảng cho trước. Vì lí do này, phương trình của đường có dạng:  $\lambda = mP + b$  trong đó  $m$  là độ dốc và  $b$  là tung độ gốc.



**Hình 12.7:** Kết hợp các đường suất tăng chi phí theo tiêu chuẩn  $\lambda$  bằng nhau

### Ví dụ 12.1

Tổng công suất phát của hai máy phát trong nhà máy là 315 MW. Xác định việc phân chia công suất của hai máy phát theo điều kiện kinh tế nhất. Các đường cong suất tăng chi phí được biểu diễn bằng các phương trình đường thẳng.

$$\lambda_A = \frac{dF_A}{dP_A} = 0,004 P_A + 2,2 \quad (\$/MWh)$$

$$\lambda_B = \frac{dF_B}{dP_A} = 0,007 P_B + 2,0$$

**Giải**

Giải hệ phương trình:

$$\lambda_A = \lambda_B \Leftrightarrow \begin{cases} 0,004 P_A + 2,2 = 0,007 P_B + 2,0 \\ P_A + P_B = 315 \end{cases} \quad (1)$$

(2)

$$(2) \Rightarrow P_A = 315 - P_B$$

Thay vào (1):

$$0,004(315 - P_B) + 2,2 = 0,007 P_B + 2,0$$

$$1,26 - 0,004 P_B + 2,2 = 0,007 P_B + 2,0$$

$$0,011 P_B = 3,46 - 2,0 = 1,46$$

$$P_B = 133 \text{ MW}$$

$$P_A = 315 - 133 = 182 \text{ MW}$$

Suất tăng chi phí  $\lambda$  tương ứng với cách vận hành này:

$$\lambda = 0,004 P_A + 2,2 = 0,004 \times 182 + 2,2 = 2,93 (\$/MWh)$$

## 12.5 KỸ THUẬT THỪA SỐ PHẠT CÓ XÉT TỔN THẤT ĐƯỜNG DÂY

Mục trước nhấn mạnh đến tiêu chuẩn  $\lambda$  bằng nhau đối với phân bố kinh tế công suất giữa các máy phát bên trong nhà máy hay gần nhau về điện để có thể bỏ qua tổn thất. Có thể dùng khái niệm về “thừa số phạt” bằng cách hiệu chỉnh lại  $\lambda$  của nhà máy có kể đến ảnh hưởng của tổn thất truyền tải.

Nhắc lại rằng suất tăng chi phí nhiên liệu  $\lambda_k$  đối với một máy phát được biểu diễn bằng độ dốc của đường cong đầu vào - đầu ra của máy phát k:

$$\lambda_k = \frac{\Delta F_k}{\Delta P_k} \quad (12.3)$$

Điều hợp lý nếu  $\lambda_k$  được hiệu chỉnh đối với tổn thất truyền tải bằng một thừa số phạt  $L_k$  nào đó thì giá trị mới  $\lambda'_k$  liên hệ đến suất thay đổi trong chi phí sản xuất ứng với sự thay đổi công suất thực tế đến tận phụ tải:

$$\lambda'_k = L_k \frac{\Delta F_k}{\Delta P_{tai}} \quad (12.4)$$

còn có thể viết:

$$\lambda'_k = L_k \lambda_k \quad (12.5)$$

Thay phương trình (12.3) và (12.4) vào phương trình (12.5):

$$\frac{\Delta F_k}{\Delta P_{tai}} = L_k \frac{\Delta F_k}{\Delta P_k}$$

$$\text{Suy ra: } L_k = \frac{\Delta P_k}{\Delta P_{tai}} \quad (12.6)$$

$$\text{Mặt khác: } \Delta P_{tai} = \Delta P_k - \Delta P_{tổn thất} \quad (12.7)$$

Khi tải tăng thêm một lượng  $\Delta P_{tai}$  thì máy phát k phải phát thêm  $\Delta P_k$  và tổn thất trong hệ thống tăng thêm một lượng  $\Delta P_{tổn thất}$ .

Thay phương trình (12.7) vào phương trình (12.6):

$$L_k = \frac{\Delta P_k}{\Delta P_k - \Delta P_{tai}}$$

hay:

$$L_k = \frac{1}{1 - \frac{\Delta P_{tt}}{\Delta P_k}} \quad (12.8)$$

Dạng tổng quát của phương trình (12.8) được biểu diễn theo đạo hàm riêng  $\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k}$  để chỉ sự thay đổi của riêng máy phát k và thừa số phạt  $L_k$  có dạng như sau:

$$L_k = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k}} \quad (12.9)$$

Khi các đơn vị trong cùng nhà máy được mang tải theo suất tăng chi phí bằng nhau đối với công suất phát thì tính kinh tế trong việc điều độ hệ thống có xét đến tổn thất truyền tải lại đòi hỏi các đơn vị phải được mang tải với suất tăng chi phí bằng nhau đối với công suất được phân phối tại phụ tải. Nói cách khác:

$$\lambda'_{\text{hệ thống}} = \lambda'_1 = \lambda'_2 = \dots = \lambda'_n \quad (12.10)$$

## 12.6 XÁC ĐỊNH PHƯƠNG TRÌNH TỔN THẤT

Một bước quan trọng trong việc giải bài toán vận hành là xác định thừa số phạt  $L_k$  để hiệu chỉnh  $\lambda_k$  của máy phát k thành  $\lambda'_k$ . Điều này dẫn đến yêu cầu phải tính  $\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k}$  trong phương trình

(12.9). Để tính đạo hàm riêng này cần phải có biểu thức toán học của tổn thất trong hệ thống ( $P_{tt}$ ) theo công suất phát của máy phát:

$$P_{tt} = f(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (12.11)$$

Đến đây dùng ký hiệu  $P_{tt}$  để chỉ tổn thất công suất tác dụng trong hệ thống.

Có nhiều cách để viết phương trình tổn thất. Có hai phương pháp:

1) Phương pháp thứ nhất diễn tả  $P_{tt}$  theo các hệ số tổn thất. Ở đây tổn thất truyền tải là hàm số của các hệ số  $B$  và công suất phát của máy phát theo phương trình:

$$P_{tt} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n P_i \cdot B_{ik} \cdot P_k \quad (12.12)$$

trong đó  $P_i, P_k$  là công suất phát của máy phát (hay nhà máy) i và k. Phương trình (12.12) được viết dưới dạng ma trận như sau:

$$P_{tt} = [P]_t \cdot [B] \cdot [P] \quad (12.13)$$

trong đó:

$$[P]_t = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_n] \quad (12.14)$$

và

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{n1} & B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{bmatrix} \quad (12.15)$$

với  $B_{im} = B_{mi}$

Ví dụ phương trình tổn thất hệ thống có ba nguồn:

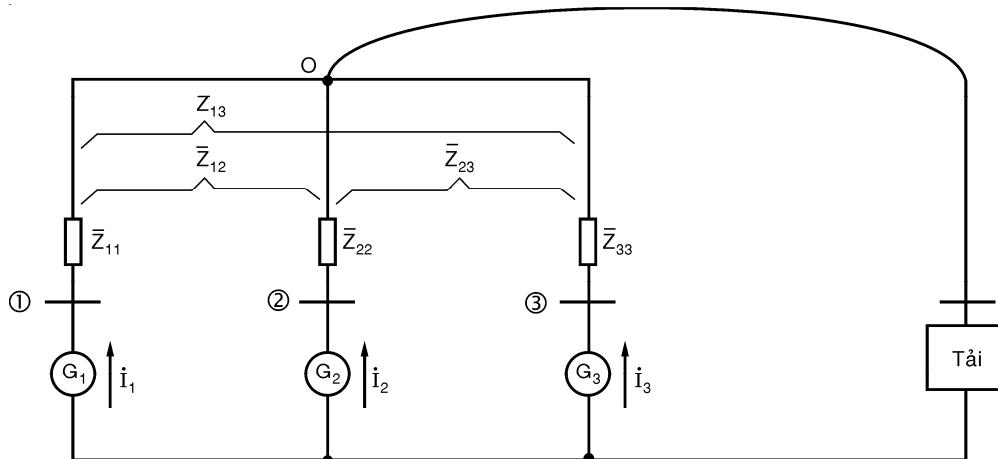
$$P_{tt} = B_{11} \cdot P_1^2 + B_{22} \cdot P_2^2 + B_{33} \cdot P_3^2 + 2 \cdot B_{12} \cdot P_1 \cdot P_2 + 2 \cdot B_{13} \cdot P_1 \cdot P_3 + 2 \cdot B_{23} \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (12.16)$$

Phương pháp để tìm các hệ số  $B$  sẽ không được đề cập ở đây. Để dùng được phương pháp

này cần phải có một số giả thiết đơn giản hóa và trong một số trường hợp phải sửa đổi các hệ số B nếu giả thiết ban đầu không phù hợp nữa.

2) Phương pháp thứ hai là dùng ma trận tổng trở thanh cái. Các nguyên tắc cơ bản của phương pháp này sẽ được đưa ra, lại một lần nữa khái niệm về vật lý và mạch tương đương của mô hình ma trận được nhấn mạnh như đã nói trong tính toán ngắn mạch hay phân bố công suất. Như trước đây mạch tương đương biểu diễn cho ma trận  $Z_{TC}$  được gọi là mạch tương đương “hình cào”.

Hình 12.8 biểu diễn một hệ thống nhỏ gồm ba máy phát cung cấp cho một phụ tải trung tâm.



**Hình 12.8: Hình cào tương đương của ma trận tổng trở thanh cái dùng tính toán tổn thất**

Có lý do chính đáng để chọn nút phụ tải làm nút chuẩn trong khảo sát này. Theo cách này, tổn thất hệ thống được tính toán theo dòng điện (hay công suất) của máy phát. Phương trình (12.9) đòi hỏi phải đạo hàm riêng của  $P_u$  theo  $P_k$ , giữ công suất của máy phát khác không đổi khi  $P_k$  thay đổi một số giá trị nào đó, sự thay đổi này chủ yếu được hấp thu bởi phụ tải (cộng với một số thay đổi nhỏ về tổn thất công suất). Một nhận xét khác rút ra từ H.12.8 là sự hiện diện của nút phụ tải duy nhất. Mặc dù đây không phải là trường hợp thường gặp nhưng với các phép biến đổi ma trận thích hợp vẫn có thể khử các nút tải để có một nút tổng hợp, điều này sẽ được bàn kỹ trong mục 12.8. Các phần tử tổng trở đều vào trong hình cào tương đương là các phần tử trên đường chéo của ma trận tổng trở thanh cái trong khi các tổng trở tương hỗ của hình cào là các phần tử ngoài đường chéo:

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}_{TC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} \bar{Z}_{12} \bar{Z}_{13} \\ \bar{Z}_{21} \bar{Z}_{22} \bar{Z}_{23} \\ \bar{Z}_{31} \bar{Z}_{32} \bar{Z}_{33} \end{bmatrix}$$

Về chi tiết thành lập  $[\bar{Z}_{TC}]$  bằng máy tính, xem phương pháp triển khai từng bước của  $[Z_{TC}]$ . Đối với hệ thống H.12.8, tổn thất công suất tác dụng và phản kháng trong nhánh 3 của hình cào tương đương cho bởi:

$$\Delta P_3 + j\Delta Q_3 = \bar{I}_3^* \bar{U}_{30} \quad (12.17)$$

với  $U_{30}$  là sụt áp từ nút 3 đến nút 0 hay là điện áp trên nhánh cào thứ ba.

Tổng tổn thất trong mạng điện bằng tổng tổn thất trên các nhánh:

$$(P + jQ)_t = \bar{I}_1^* \bar{U}_{10} + \bar{I}_2^* \bar{U}_{20} + \bar{I}_3^* \bar{U}_{30} \quad (12.18)$$

Dưới dạng ma trận:

$$(P + jQ)_{tt} = [I_1^* I_2^* I_3^*] x \begin{bmatrix} \bar{U}_{10} \\ \bar{U}_{20} \\ \bar{U}_{30} \end{bmatrix} \quad (12.19)$$

$$(P + jQ)_t = [I^*]_t x [U_{nhánh}] \quad (12.20)$$

Các phần tử điện áp nhánh được viết như sau:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{U}_{10} = \bar{Z}_{11} \cdot \bar{I}_1 + \bar{Z}_{12} \cdot \bar{I}_2 + \bar{Z}_{13} \cdot \bar{I}_3 \\ \bar{U}_{20} = \bar{Z}_{21} \cdot \bar{I}_1 + \bar{Z}_{22} \cdot \bar{I}_2 + \bar{Z}_{23} \cdot \bar{I}_3 \\ \bar{U}_{30} = \bar{Z}_{31} \cdot \bar{I}_1 + \bar{Z}_{32} \cdot \bar{I}_2 + \bar{Z}_{33} \cdot \bar{I}_3 \end{array} \right\} \quad (12.21)$$

Dưới dạng ma trận:

$$[U_{nhánh}] = [\bar{Z}_{TC}] \cdot [I] \quad (12.22)$$

Thay phương trình (12.22) vào phương trình (12.20):

$$(P + jQ)_{tt} = [I^*]_t x [\bar{Z}_{TC}] x [I] \quad (12.23)$$

Phương trình (12.23) còn có thể viết theo ký hiệu chỉ số. Đối với hệ thống  $n$  thanh cái (không kể thanh cái chuẩn), phương trình tổn thất ứng với phương trình (12.19) trở thành:

$$(P + jQ)_{tt} = \sum_{k=1}^n I_k^* \cdot \bar{U}_{k0} \quad (12.24)$$

Phương trình (12.21) cũng được viết:

$$\bar{U}_{k0} = \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{ki} \cdot \bar{I}_i \quad (12.25)$$

Thay phương trình (12.25) vào phương trình (12.24):

$$(P + jQ)_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n I_k^* \bar{Z}_{ki} \cdot \bar{I}_i \quad (12.26)$$

Mặc dù phương trình (12.23) hay phương trình (12.26) là phương trình tổn thất dùng ma trận  $[\bar{Z}_{TC}]$ , nhưng chưa phải là dạng tiện dụng nhất. Xem lại chương “Phân bố công suất trong hệ thống điện” về thông tin của một nút bất kỳ, trong đó một nút được biểu diễn bằng hai đại lượng, nút phụ tải là nút  $P, Q$ ; nút máy phát là nút  $P, |U|$  và nút máy phát cân bằng là nút  $|U|, \delta$ . Điều này có ý nghĩa là các dòng điện trong phương trình (12.26) tốt nhất phải được biểu diễn theo  $P, Q, \dots$ . Trước hết, cần viết riêng tổn thất  $P_t$  và  $Q_t$  trong phương trình (12.26), phương trình này được viết thành hai thành phần thực và ảo:

$$\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n I_k^* \bar{Z}_{ki} \cdot \bar{I}_i = \sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^n (I_{kRe} - jI_{kIm})(R_{ki} + jX_{ki})(I_{iRe} + jI_{iIm}) \quad (12.27)$$

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n (I_{kRe} \cdot R_{ki} \cdot I_{iRe} - I_{kRe} \cdot X_{ki} \cdot I_{iIm} + I_{kIm} \cdot X_{ki} \cdot I_{iRe} + I_{kIm} \cdot R_{ki} \cdot I_{iIm}) \quad (12.28)$$

trong đó, Re ký hiệu cho phần thực và Im ký hiệu cho phần ảo.

Số hạng thứ hai và thứ ba trong phương trình (12.28) triệt tiêu nhau vì chúng giống nhau khi khai triển biểu thức tổng, như vậy:

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n (I_{kRe} \cdot R_{ki} \cdot I_{iRe} + I_{kIm} \cdot R_{ki} \cdot I_{iIm}) \quad (12.29)$$

nhưng

$$\boxed{I_k} = \frac{P_k - jQ_k}{\boxed{U_k}} = \frac{P_k - jQ_k}{|U_k|} (\cos \delta_k + j \sin \delta_k)$$

trong đó:  $\delta_k$  - góc lệch pha điện áp  $U_k$

$$\boxed{I_k} = \frac{P_k \cdot \cos \delta_k + Q_k \cdot \sin \delta_k}{|U_k|} + j \frac{P_k \cdot \sin \delta_k - Q_k \cdot \cos \delta_k}{|U_k|} = I_{kRe} + jI_{kIm} \quad (12.30)$$

Phương trình (12.30) cũng dùng để viết cho dòng điện  $I_i$  trong đó thay chỉ số  $k$  bằng chỉ số  $i$ . Thay phần thực và phần ảo của  $I_k$  và  $I_i$  vào phương trình (12.29):

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n R_{ki} \cdot \left[ \frac{(P_k \cdot \cos \delta_k + Q_k \cdot \sin \delta_k)(P_i \cdot \cos \delta_i + Q_i \cdot \sin \delta_i)}{|U_k| \cdot |U_i|} + \frac{(P_k \cdot \sin \delta_k - Q_k \cdot \cos \delta_k)(P_i \cdot \sin \delta_i - Q_i \cdot \cos \delta_i)}{|U_k| \cdot |U_i|} \right] \quad (12.31)$$

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{R_{ki}}{|U_k| \cdot |U_i|} \left[ P_k \cdot P_i \cdot (\cos \delta_k \cdot \cos \delta_i + \sin \delta_k \cdot \sin \delta_i) + P_k \cdot Q_i \cdot (\cos \delta_k \cdot \sin \delta_i - \sin \delta_k \cdot \cos \delta_i) + Q_k \cdot P_i \cdot (\sin \delta_k \cdot \cos \delta_i - \cos \delta_k \cdot \sin \delta_i) + Q_k \cdot Q_i \cdot (\sin \delta_k \cdot \sin \delta_i + \cos \delta_k \cdot \cos \delta_i) \right] \quad (12.32)$$

Áp dụng công thức lượng giác:

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{R_{ki}}{|U_k| \cdot |U_i|} [P_k \cdot P_i \cdot \cos(\delta_i - \delta_k) + P_k \cdot Q_i \cdot \sin(\delta_i - \delta_k) - Q_k \cdot P_i \cdot \sin(\delta_i - \delta_k) + Q_k \cdot Q_i \cdot \cos(\delta_i - \delta_k)] \quad (12.33)$$

Thu gọn các số hạng:

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \left[ \frac{R_{ki} \cdot \cos(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|} \cdot (P_k \cdot P_i + Q_k \cdot Q_i) + \frac{R_{ki} \sin(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|} \cdot (P_k \cdot Q_i - Q_k \cdot P_i) \right] \quad (12.34)$$

Nhận xét: tích số thứ hai của phương trình (12.34) thường nhỏ hơn so với tích số thứ nhất. Điều này đặc biệt đúng khi mà các góc pha điện áp gần bằng nhau (khiến cho  $\sin(\delta_i - \delta_k)$  gần bằng không). Cũng vậy, thừa số  $(P_k \cdot Q_i - Q_k \cdot P_i)$  thường nhỏ hơn so với tổng  $(P_k \cdot P_i + Q_k \cdot Q_i)$ . Một cách gần đúng, có thể đơn giản phương trình (12.34):

$$P_{tt} \approx \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{R_{ki} \cdot \cos(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|} \cdot (P_k \cdot P_i + Q_k \cdot Q_i) \quad (12.35)$$

trong đó:  $(\delta_i - \delta_k)$  là nhỏ.

Phương trình (12.34) và (12.35) cũng có thể được viết dưới dạng ma trận.

Đặt:  $C_{ki} = \frac{R_{ki} \cdot \cos(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|}$  (12.36)

$$D_{ki} = \frac{R_{ki} \cdot \sin(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|}$$
 (12.37)

Viết lại phương trình (34) theo  $C_{ki}$  và  $D_{ki}$ :

$$P_{tt} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n (P_k \cdot C_{ki} \cdot P_i + Q_k \cdot C_{ki} \cdot Q_i + P_k \cdot D_{ki} \cdot Q_i - Q_k \cdot D_{ki} \cdot P_i) \quad (12.38)$$

Gần đúng các hệ số D gần bằng không:

$$P_{tt} \approx \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n (P_k \cdot C_{ki} \cdot P_i + Q_k \cdot C_{ki} \cdot Q_i) \quad (12.39)$$

Dạng ma trận của phương trình (12.38):

$$P_{tt} = \begin{bmatrix} \underbrace{P_1 \cdot P_2 \dots P_n}_{[\bar{P}]_t}; & \underbrace{\frac{Q_1 \cdot Q_2 \dots Q_n}{[Q]_t}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & | & D_{11}D_{12}\dots D_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & | & D_{21}D_{22}\dots D_{2n} \\ \dots & \dots & & \dots & | & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} & | & D_{n1}D_{n2}\dots D_{nn} \\ -D_{11} - D_{12} & \dots & -D_{1n} & | & C_{11}C_{12}\dots C_{1n} \\ -D_{21} - D_{22} & \dots & -D_{2n} & | & C_{21}C_{22}\dots C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & | & \dots \\ -D_{n1} - D_{n2} & \dots & -D_{nn} & | & C_{n1}C_{n2}\dots C_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \\ Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix} \quad (12.40)$$

Viết dạng thu gọn theo ma trận con:

$$P_{tt} = [\bar{P}_t \quad \bar{Q}_t] \times \begin{bmatrix} \bar{C} & \bar{D} \\ -\bar{D} & \bar{C} \end{bmatrix} \times [\bar{P} \quad \bar{Q}] \quad (12.41)$$

$\bar{P}$ ,  $\bar{Q}$  là các ma trận cột  $n \times 1$ ;  $\bar{C}, \bar{D}$  là các ma trận vuông  $n \times n$ . Khi tính toán gần đúng cho  $\bar{D} = 0$ . Nhắc lại rằng từ các phương trình (12.5) và (12.9) trước khi xác định thừa số phạt và suất tăng chi phí được hiệu chỉnh của máy phát, cần phải lấy đạo hàm riêng của  $P_{tt}$  theo  $P_k$  tức là xác định  $\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k}$  với mọi biến số  $P$  và  $Q$  được coi như không đổi, trừ  $P_k$ . Mọi sự thay đổi công suất

tác dụng phát (và góc công suất  $\delta$ ) của máy phát k đều ít ảnh hưởng đến việc thay đổi công suất  $Q$  giữa các máy phát. Sự phân bố công suất phản kháng giữa các máy phát coi như phụ thuộc vào trị số điện áp của máy phát. Lấy đạo hàm phương trình (12.38) ta có được:

$$\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (C_{ki} \cdot P_i + D_{ki} \cdot Q_i) \quad (12.42)$$

Khi bỏ qua các hệ số D:

$$\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k} \approx 2 \cdot \sum_{i=1}^n C_{ki} \cdot P_i \quad (12.43)$$

## 12.7 QUÁ TRÌNH GIẢI BÀI TOÁN VẬN HÀNH KINH TẾ

Mục này giả thiết dùng hệ qui chiếu có dạng trong H.12.8 với ma trận tổng trở thanh cái và hình cào tương đương trong đó tất cả phụ tải được biểu diễn bằng một phụ tải tổng hợp. Nếu không phải là trường hợp như vậy, xem mục 12.8 về các phép biến đổi cần thiết.

*Quá trình giải bài toán được tóm tắt như sau:*

1. Thành lập ma trận tổng trở thanh cái đối với mạng điện có dạng trong H.12.8 có thể dùng phương pháp triển khai từng bước. Ví dụ 12.2 chỉ tính cho mạng đơn giản, nếu cần thiết biến đổi để có một thanh cái phụ tải tổng hợp làm chuẩn, tham khảo mục 12.8.

2. Tìm phương trình đạo hàm riêng của tổn thất đối với đơn vị mỗi máy ( $\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_1}, \frac{\partial P_{tt}}{\partial P_2}, \dots$ ) theo công suất của các máy phát theo phương trình (12.42):

$$\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (C_{ki} \cdot P_i + D_{ki} \cdot Q_i)$$

hay dưới dạng gần đúng:

$$\frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k} \approx 2 \cdot \sum_{i=1}^n C_{ki} \cdot P_i$$

Nhắc lại rằng, các hệ số C và D là các hàm số của các điện trở đầu vào ( $R_{ii}$ ) và tương hỗ ( $R_{ki}$ ) trong ma trận tổng trở thanh cái, chúng còn là các hàm số điện áp thanh cái và góc pha theo các phương trình (12.36) và (12.37):

$$C_{ki} = \frac{R_{ki} \cdot \cos(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|}; D_{ki} = \frac{R_{ki} \cdot \sin(\delta_i - \delta_k)}{|U_k| \cdot |U_i|}$$

Tất nhiên góc pha điện áp của máy phát vẫn chưa biết vì bài toán điều độ kinh tế một khi chưa giải xong thì lời giải công suất cung cấp bởi các máy phát chưa thể xác định được. Do đó, để gần đúng lần đầu cho các hệ số C và D có thể dùng hoặc (1) các điện áp của phân bố công suất gần đúng hoặc (2) giả thiết gần đúng ban đầu của C và D rằng  $|U_k| = |U_i| = 1,0$  và  $\delta_k = \delta_i$  dẫn đến  $C_{ki} = R_{ki}$  và  $D_{ki} = 0$ .

3. Với tổng phụ tải đã cho, cộng thêm vào đó sự phỏng đoán tốt nhất về tổn thất công suất  $P_{tt}$  để có được yêu cầu công suất tổng của hệ thống.

4. Giả thiết có được các phương trình suất tăng chi phí đối với từng nhà máy có thể coi là hàm tuyến tính của công suất phát hay  $\lambda_k = m_k \cdot P_k + b_k$ . Thay  $\lambda_k$  vào các phương trình suất tăng có hiệu chỉnh  $\lambda'_k$ , có được:

$$\begin{aligned} \lambda'_k &= \lambda_k \cdot L_k \\ \lambda'_k &= (m_k \cdot P_k + b_k) \cdot \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{tt}}{\partial P_k}} \end{aligned} \quad (12.44)$$

hay:

$$\lambda'_k = f_k(P_1, P_2, \dots, P_n)$$

Bây giờ giả thiết một giá trị đối với  $\lambda'_k$  bằng nhau đối với mỗi đơn vị tổ máy sẽ nhận được một tập hợp n phương trình (đối với n máy phát) theo  $P_1, P_2, \dots, P_n$  như sau:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda'_1 = f_1(P_1, P_2, \dots, P_n) \\ \lambda'_2 = f_2(P_1, P_2, \dots, P_n) \\ \vdots \\ \lambda'_n = f_n(P_1, P_2, \dots, P_n) \end{array} \right\} \quad (12.45)$$

Các phương trình trên được giải để có  $P_1, P_2, \dots, P_n$  và lúc này cần thiết phải kiểm tra với yêu cầu công suất tổng:

$$\sum_{i=1}^n P_i = ? \quad (12.46)$$

Nếu tổng này lớn hơn yêu cầu giảm bớt trị số giả thiết  $\lambda'$  nói trên và giải lại (12.45).

5. Các thông tin về công suất có được trong bước 4 được đưa vào phân bố công suất, qui định  $P$  và  $|U|$  cho nút máy phát,  $P$  và  $Q$  cho nút phụ tải,  $|U|$  và  $\delta$  cho máy phát cân bằng. Trong bài toán phân bố công suất này:

a) Tính  $\delta_k$  và  $Q_k$  cho mỗi thanh cái máy phát. Các  $\delta_k$  và  $|U_k|$  sẽ được dùng để tính lại  $C$  và  $D$  trong bước 2.

b) Tính công suất của máy phát cân bằng. Nếu khác với công suất được tính trong bước 4 thì điều chỉnh lại tổn thất ước lượng trong bước 3 bằng sự sai biệt. Tổn thất mới  $P_u$  này sẽ thay thế cho bước 3 và được dùng để xác định yêu cầu công suất tổng trong hệ thống.

6. Lặp lại bước 4 và 5 cho đến khi không có sự thay đổi nào đáng kể trên tổn thất hệ thống  $P_u$ .

Ví dụ sau đây nhằm mục đích đi xuyên suốt bài toán điều độ kinh tế trong hệ thống dùng ma trận tổng trở thanh cái. Cần thiết phải làm quen với quá trình tính tay mặc dù phương pháp này được hiểu là tự nó dẫn đến việc áp dụng máy tính. Quá trình tính toán đầy đủ được trình bày bao gồm cả việc xác định  $\bar{Z}_{TC}$  cũng như bài toán phân bố công suất.

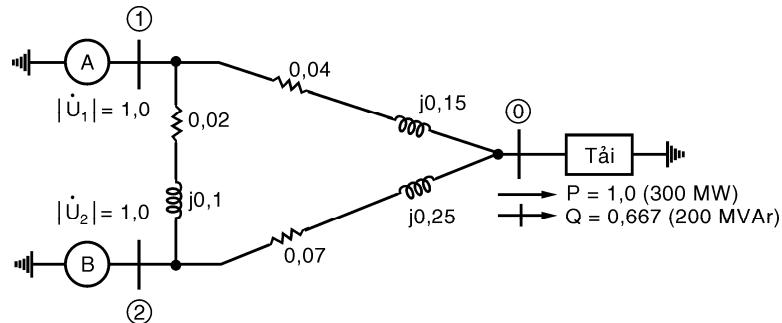
**Ví dụ 12.2:** Cho hai máy phát có phương trình suất tăng chi phí:

$$\lambda_A = \frac{dF_A}{dP_A} = 0.004 P_A + 2.2$$

$$\lambda_B = \frac{dF_B}{dP_B} = 0.007 P_B + 2.0$$

Những máy phát này không ở trong cùng một nhà máy và cung cấp cho phụ tải qua mạng điện truyền tải. Sơ đồ tương đương một pha trong đơn vị tương đối trên cơ bản 300 MVA. Phụ tải có công suất 300 MW (1 đvtđ) và 200 MVar (0.667 đvtđ). Cả hai thanh cái máy phát được duy trì ở điện áp 1.0 đvtđ.

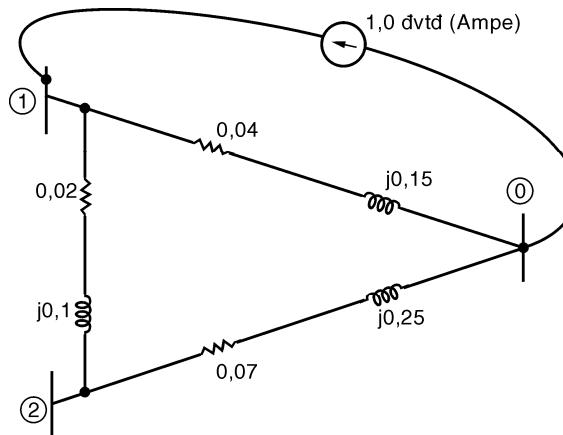
Tìm sự phân bố kinh tế công suất của các máy phát có xét đến tổn thất truyền tải.



Hình 12.9: Sơ đồ Ví dụ 12.2

**Giải**

Bước 1: thành lập ma trận  $[\bar{Z}_{TC}]$  và hình cào tương đương. Dùng nút 0 làm chuẩn. Ở đây  $\bar{Z}_{11}$  là tổng trở đầu vào từ nút 1 đến nút 0 với máy phát B để hở,  $\bar{Z}_{12}$  là tổng trở tương hõ giữa hai nhánh của hình cào. Trong cách tính toán bằng tay các tổng trở này (ngược với kỹ thuật bằng máy tính để triển khai  $Z_{TC}$ ), trước tiên bơm một dòng điện 1,0 đvtđ xuất phát từ nút chuẩn và đi vào ở nút 1 (H.12.10). Tổng trở đầu vào từ 1 đến 0 về trị số bằng với điện áp của nút 1 đối với nút 0 bởi vì  $1,0 \times \bar{Z}_{11} = \bar{U}_{10}$ . Cũng vậy tổng trở tương hõ ( $\bar{Z}_{12}$ ) bằng với điện áp giữa nút 2 và nút 0 với dòng điện 1,0 đi vào ở nút 1 hay  $\bar{Z}_{12} = \bar{U}_{20}$ .

Hình 12.10: Xác định các phần tử của  $[Z_{TC}]$  bằng cách bơm dòng điện 1 ampe

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{11} &= \frac{(0,04 + j0,15)(0,09 + 0,35)}{0,13 + j0,5} = \frac{(0,155\angle75,07^0)(0,361\angle75,6^0)}{0,516\angle75,45^0} \\ &= 0,1084\angle75,22^0 = 0,0277 + j0,1047\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{12} &= \frac{(0,07 + j0,25)\bar{Z}_{11}}{0,09 + j0,35} = \frac{(0,26\angle74,36^0)(0,1084\angle75,22^0)}{0,361\angle75,6^0} \\ &= 0,078\angle74^0 = 0,0215 + j0,075\end{aligned}$$

Tương tự:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{22} &= \frac{(0,07 + j0,25)(0,06 + j0,25)}{0,13 + j0,5} = \frac{(0,26\angle74,36^0)(0,257\angle76,5^0)}{0,516\angle75,45^0} \\ &= 0,129\angle74,42^0 = 0,0346 + j0,124\end{aligned}$$

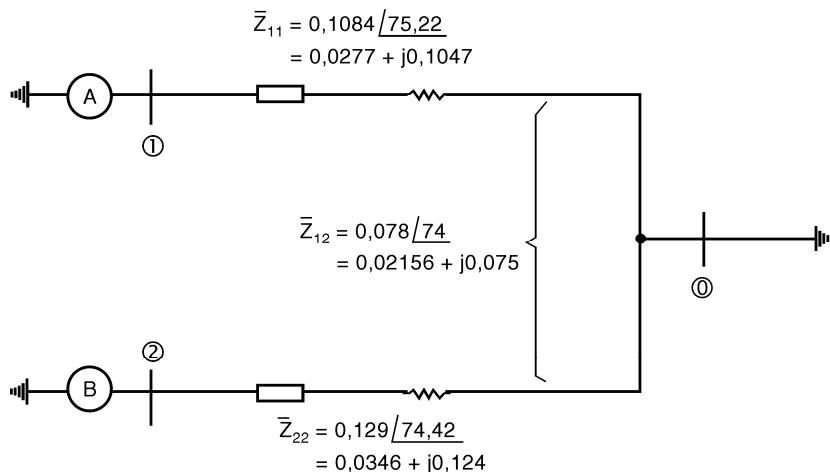
$$\begin{bmatrix} \bar{Z}_{TC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{11} & \bar{Z}_{12} \\ \bar{Z}_{21} & \bar{Z}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1084\angle75.22^0 & 0,078\angle74^0 \\ 0,078\angle74^0 & 0,129\angle74,42^0 \end{bmatrix}$$

và mạch tương đương hình cào (H.12.11).

Bước 2: Gắn đúng ban đầu cho các hệ số C và D và dùng để xác định phương trình số gia tổn thất đối với mỗi máy phát. Từ phương trình (12.36) và (12.37)

$$C_{ki} = \frac{R_{ki} \cos(\delta_i - \delta_k)}{|U_i| |U_k|} \quad \text{theo (12.36)}$$

$$D_{ki} = \frac{R_{ki} \sin(\delta_i - \delta_k)}{|U_i| |U_k|} \quad \text{theo (12.37)}$$



**Hình 12.11:** Mạch tương đương hình cào của  $[\bar{Z}_{TC}]$

Thường  $\delta$  và  $|U|$  được lấy từ kết quả phân bố công suất trong thời gian gần nhất của mạng thực tế. Tuy vậy, đối với gắn đúng ban đầu, giả thiết  $\delta_1 = \delta_2$  và  $|U_1|, |U_2|$  được cho bằng 1.0. Như vậy:

$$C^{(1)}_{ki} = R_{ki} \quad \text{và} \quad D^{(1)}_{ki} = 0$$

$$C^{(1)}_{11} = R_{11} = 0,0277$$

$$C^{(1)}_{12} = R_{12} = 0,0215$$

$$C^{(1)}_{22} = R_{22} = 0,0346$$

Thay thế các hệ số bằng số này vào phương trình (12.43) đạo hàm riêng (suất tăng tổn thất)

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{tt}}{\partial P_1} &= 2 \sum_{i=1}^2 C_{ii} P_i = 2(C_{11} P_1 + C_{12} P_2) \\ &= 2(0,0277 P_1 + 0,0215 P_2) \\ &= 0,0554 P_1 + 0,043 P_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{tt}}{\partial P_2} &= 2 \sum_{i=1}^2 C_{2i} P_i = 2(C_{21} P_1 + C_{22} P_2) \\ &= 2(0,0215 P_1 + 0,0346 P_2) \\ &= 0,043 P_1 + 0,0692 P_2 \end{aligned}$$

Bước 3: Ước lượng tổn thất trong mạng điện và cộng với phụ tải yêu cầu để có gần đúng ban đầu về công suất phát tổng. Giả sử phỏng đoán tổn thất là 5%.

$$P_{\text{yêu cầu}} = P_{\text{tải}} + P_{\text{tt}} = 1,0 + 0,05 = 1,05 \text{ đvtđ}$$

Bước 4: Giả thiết giá trị ban đầu của suất tăng chi phí  $\lambda' = 3,0 \text{ $/ MWh}$ . Theo tiêu chuẩn  $\lambda'$  bằng nhau, cho  $\lambda'_1$  và  $\lambda'_2$  cùng bằng giá trị này và tìm lời giải kinh tế của  $P_1$  và  $P_2$  (thử nghiệm lần đầu). Kiểm tra  $(P_1 + P_2)$  với tổng yêu cầu 1,05. Phương trình  $\lambda'_1$  từ phương trình (12.44):

$$\lambda'_1 = \lambda_1 \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{\text{tt}}}{\partial P_1}} \quad \text{theo (12.44)}$$

hay:  $\lambda'_1 (1 - \frac{\partial P_{\text{tt}}}{\partial P_1}) = \lambda_1 \quad (12.47)$

Trong đó suất tăng chi phí đối với nhà máy 1 cho bởi:

$$\lambda_1 = 0,004 \times 300(P_1 \text{ đvtđ}) + 2,2$$

Thay vào phương trình (12.47) có được:

$$3,0 [1 - (0,0554 P_1 + 0,043 P_2)] = 1,2P_1 + 2,2$$

$$3,0 - 0,166 P_1 - 0,129 P_2 = 1,2 P_1 + 2,2$$

$$1,37 P_1 + 0,129 P_2 = 0,8 \quad (\text{a})$$

Tương tự:  $\lambda'_2 (1 - \frac{\partial P_{\text{tt}}}{\partial P_2}) = \lambda_2$

hay:  $3,0 [1 - (0,043 P_1 + 0,0692 P_2)] = 0,007 \times 300 P_2 + 2,0$

$$3,0 - 0,129 P_1 - 0,2076 P_2 = 2,1 P_2 + 2,0$$

$$0,129 P_1 + 2,31 P_2 = 1,0 \quad (\text{b})$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{1,0 - 2,31 P_2}{0,129}$$

Thay vào phương trình (a):

$$1,37 \left( \frac{1,0 - 2,31 P_2}{0,129} \right) + 0,129 P_2 = 0,8$$

$$1,37 - 3,17 P_2 + 0,0167 P_2 = 0,1032$$

$$3,15 P_2 = 1,27$$

$$P_2 = 0,404 \quad (121 \text{ MW})$$

Thay  $P_2$  trở vào (b) có được:

$$P_1 = 0,528$$

Bây giờ kiểm tra  $P_1 + P_2$  với sự ước lượng ban đầu:

$$0,528 + 0,404 = 0,932 \neq 1,05$$

$\lambda'$  như vậy là nhỏ theo ước lượng ban đầu. Thủ chọn lại  $\lambda' = 3,1$  và lặp lại như trong bước 4:

$$1,37 P_1 + 0,132 P_2 = 0,9 \quad (\text{c})$$

$$0,133 P_1 + 2,315 P_2 = 1,1 \quad (\text{d})$$

Giải hệ phương trình mới này có được:

$$P_1 = 0,601 \quad (180,3 \text{ MW})$$

$$P_2 = 0,441 \quad (132,3 \text{ MW})$$

Lại kiểm tra công suất yêu cầu:

$$P_1 + P_2 = 0,601 + 0,441 = 1,042 \quad (313 \text{ MW})$$

Tổng số này sẽ được chấp nhận đối với phân bố công suất lần đầu bởi lẽ sự gần đúng ban đầu về công suất yêu cầu chỉ mới là phỏng chừng.

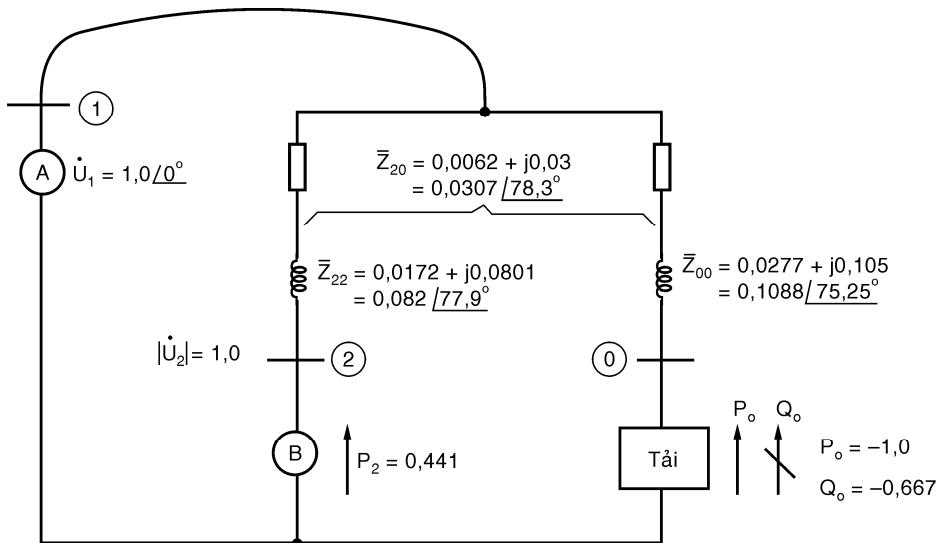
#### Bước 5

Yêu cầu thông tin về phân bố công suất nhằm mục đích điều chỉnh các hệ số C và D. Tham khảo H.12.12, trong đó vẽ ra một tương đương hình cao tiêu biểu dùng một thanh cái máy phát làm chuẩn. Các bước để có mạch tương đương như trong H.12.12. suy ra từ H.12.9. sẽ không lặp lại ở đây nữa. Kết quả  $\bar{Z}_{TC}$  (dùng cho phân bố công suất) như sau:

$$\bar{Z}_{00} = 0,0277 + j0,105 = 0,1088 \angle 75,25^\circ$$

$$\bar{Z}_{22} = 0,0172 + j0,0801 = 0,082 \angle 77,88^\circ$$

$$\bar{Z}_{02} = 0,0062 + j0,03 = 0,0307 \angle 78,3^\circ$$



Hình 12.12: Mạch tương đương dùng tính toán phân bố công suất

Các số liệu ban đầu của các thanh cái:

$$U_{chuẩn} = U_1 = 1.0 \angle 0^\circ ; P_2 = 0,441 ; |U_2| = 1.0 ; P_0 = -1,0 ; Q_0 = -0,667$$

Các phương trình phân bố công suất dùng cho phép lặp Gauss-Seidel:

$$\boxed{\dot{U}_0 = \frac{\bar{Z}_{00}(P_0 - jQ_0)}{\dot{U}_0^*} + \frac{\bar{Z}_{02}(P_2 - jQ_2)}{\dot{U}_2^*} + \dot{U}_1} \quad \text{theo (5.58)} \quad (a)$$

$$\boxed{\dot{U}_2 = \frac{\bar{Z}_{20}(P_0 - jQ_0)}{\dot{U}_0^*} + \frac{\bar{Z}_{22}(P_2 - jQ_2)}{\dot{U}_2^*} + U_1} \quad (b)$$

Các ẩn số là:  $\delta_2, Q_2, \left| \dot{U}_0 \right|$ , và  $\delta_0$

Gần đúng ban đầu, cho  $\delta_2 = 0^\circ$ ,  $\dot{U}_0 = 1.0 \angle 0^\circ$  và  $Q_2$  được tính gần đúng

$$\begin{aligned}
Q_2 &= -\operatorname{Im} \frac{\bar{U}_2^{*(0)}}{\bar{Z}_{22}} [\bar{U}_2^{(0)} - U_{\text{chuẩn}} - \frac{(P_0 - jQ_0)}{\bar{U}_0^{*(0)}} \bar{Z}_{20}] \quad \text{theo (5.63)} \\
&= -\operatorname{Im} \frac{1,0\angle 0^0}{0,082\angle 77,9^0} \left[ 1,0\angle 0^0 - 1,0\angle 0^0 - \frac{(-1,0 + 0,667)(0,0307\angle 78,3^0)}{1,0\angle 0^0} \right] \\
&= -\operatorname{Im} 12,2\angle -77,9^0 \left[ (1,2\angle -33,7^0)(0,0307\angle 78,3^0) \right] \\
&= -\operatorname{Im} 0,450\angle -33,3^0 = -\operatorname{Im}(0,376 - j0,247) \\
&= 0,247 \text{ đvtđ}
\end{aligned}$$

Lần lặp thứ nhất đối với  $U_0$  trong phương trình (1)

$$\begin{aligned}
\bar{U}_0^{(1)} &= \frac{\bar{Z}_{00}(P_0 - jQ_0)}{U_0^{*(0)}} + \frac{\bar{Z}_{02}(P_2 - jQ_2^{(0)})}{|U_2| \angle -\delta_2^{(0)}} + \bar{U}_1 \\
&= \frac{0,1088\angle 75,25^0(-1,0 + j0,667)}{1,0\angle 0^0} + \frac{0,0307\angle 78,3^0(0,441 - j0,247)}{1,0\angle 0^0} + 1,0\angle 0^0 \\
&= -0,1306\angle 41,6^0 + (0,0307\angle 78,3^0)(0,505\angle -29,2^0) + 1,0\angle 0^0 \\
&= -0,0976 - j0,0866 + 0,01015 + j0,0117 + 1,0 \\
&= 0,9126 - j0,0749 = 0,913\angle -4,71^0
\end{aligned}$$

Trước khi thực hiện đến  $\bar{U}_2^{(1)}$ , tính lặp lại một lần nữa trên  $\bar{U}_0$  để có  $\bar{U}_0^{(1)}$  mới, kết quả là:

$$\bar{U}_0^{(1)}_{\text{mới}} = 0,906\angle -4,69^0$$

Lần lặp thứ nhất trên  $U_2$ :

$$\begin{aligned}
\bar{U}_2^{(1)} &= \frac{\bar{Z}_{20}(P_0 - jQ_0)}{U_0^{*(1)}} + \frac{\bar{Z}_{22}(P_2 - jQ_2^{(0)})}{|U_2| \angle -\delta_2^{(0)}} + \bar{U}_1 \\
&= \frac{0,0307\angle 78,3^0(-1,2\angle -33,7^0)}{0,906\angle 4,69^0} + \frac{0,082\angle 77,9^0(0,505\angle -29,25^0)}{1,0\angle 0^0} + 1,0\angle 0^0 \\
&= -0,0406\angle 40,3^0 + 0,0414\angle 48,6^0 + 1,0\angle 0^0 \\
&= -0,0310 - j0,0263 + 0,0274 + j0,031 + 1,0 \\
&= 0,9964 + j0,0048 = 0,996\angle 0,3^0
\end{aligned}$$

Vì  $|U_2|$  được qui định bằng 1,0, nên  $\bar{U}_2^{(1)} = 1,0\angle 0,3^0$

Bây giờ dùng kết quả của  $\bar{U}_0^{(1)}$  và  $\bar{U}_2^{(1)}$  tính lặp lại  $Q_2^{(1)}$ :

$$Q_2^{(1)} = 0,306$$

Tính lặp lại  $U_0$  được  $\bar{U}_2^{(2)} = 0,897\angle -4,8^0$

Do mục đích tính toán, kết quả phân bố công suất coi như chấp nhận được và được dùng cho bài toán điều độ.

$$\bar{U}_0 = 0,897\angle -4,8^0, \bar{U}_2 = 1,0\angle 0,3^0, Q_2 = 0,306$$

Cũng từ mạch tương đương, tính  $P_1$  và  $Q_1$  của máy phát cân bằng

$$\bar{I}_1 = -(\bar{I}_2 + \bar{I}_{\text{tải}})$$

$$\begin{aligned}
 \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^*} &= -\frac{P_2 - jQ_2}{U_2^*} - \frac{P_0 - jQ_0}{U_0^*} \\
 P_1 - jQ_1 &= -U_1^* \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^*} - U_1^* \frac{P_0 - jQ_0}{U_0^*} \\
 &= \frac{-1,0 \angle 0^0 (0,441 - j0,306)}{1,0 \angle -0,3^0} - \frac{1,0 \angle 0^0 (-1,2 \angle -33,7^0)}{0,897 \angle 4,8^0} \\
 &= -0,536 \angle -34,5^0 + 1,34 \angle -38,5^0 \\
 &= -0,442 + j0,303 + 1,05 - j0,835 \\
 &= 0,608 - j0,532 \\
 \Rightarrow P_1 &= 0,608 \\
 Q_1 &= 0,532
 \end{aligned}$$

Bây giờ đi thẳng đến bước 5b, so sánh trị số  $P_1 = 0,608$  với trị số  $0,601$  (được tính toán với tổn thất ước lượng bằng  $0,042$ ). Tổn thất gần đúng ban đầu phải được điều chỉnh bằng sự sai biệt  $0,608 - 0,601 = 0,007$  đvtđ.

Nhìn trực tiếp hơn, tổn thất mới được nhận từ kết quả phân bố công suất là:

$$\begin{aligned}
 P_u &= P_1 + P_2 - P_{tải} \\
 &= 0,608 + 0,441 - 1,0 = 0,049 \text{ đvtđ}.
 \end{aligned}$$

và công suất tổng yêu cầu phát là  $1,049$  đvtđ.

Một loạt đầy đủ các bước đã được hoàn tất trong phương thức điều độ. Các trị số sau cùng về điện áp, công suất yêu cầu... sẽ được dùng để quay trở lại bước 2 và lặp lại các bước tính toán tiếp theo. Các hệ số C và D không thay đổi đáng kể trong bài toán này. Cũng vậy, các phương trình suât tăng tổn thất về cơ bản không thay đổi. Tuy vậy, yêu cầu công suất phát được tăng từ  $1,042$  đến  $1,049$  sẽ làm tăng giá trị bằng số của  $\lambda'$  so với trị số giả định (đã cho bằng  $3,1$  \$ /MWh trong bước 4). Có thể dùng phương pháp nội suy ở đây để ước lượng lại  $\lambda'$ , dùng các kết quả đã có như dưới đây:

$\lambda'$	Công suất yêu cầu
$0,1 \left\{ \begin{array}{l} 3,0 \\ 3,1 \end{array} \right.$	$0,932 \left. \begin{array}{l} \\ 1,042 \end{array} \right\} 0,11$
$x? \left\{ \begin{array}{l} \\ 3,1+x \end{array} \right.$	$1,049 \left. \begin{array}{l} \\ 0,007 \end{array} \right\}$

Từ bảng ở trên ta có được:

$$x = 0,1 \frac{0,007}{0,11} = 0,00635$$

$\lambda'$  mới được chọn là  $3,1 + 0,006 = 3,106$

Giải  $P_1$  và  $P_2$  như trước đây trong bước 4:

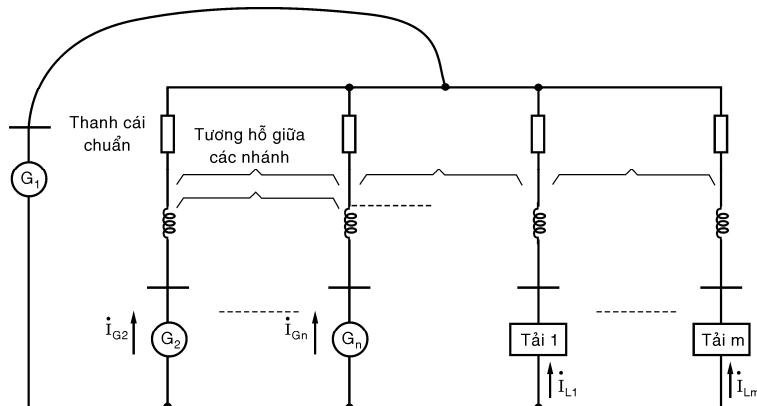
$$P_1 = 0,607 \quad (182,1 \text{ MW})$$

$$P_2 = 0,442 \quad (132,6 \text{ MW})$$

Phân bổ tải của các máy phát như vậy không thay đổi nhiều lăm đến nỗi phải tính tay lại một lần nữa các bước của bài toán và như vậy có thể chấp nhận công suất tổng yêu cầu là  $182,1 + 132,6 = 314,7 \text{ MW}$  với tổn thất là  $0,049 \times 300 = 14.7 \text{ MW}$ . Hãy so sánh với kết quả của Ví dụ 12.1 khi không xét đến tổn thất với yêu cầu 315 MW. Kết quả cho thấy máy B chỉ bị phạt hơn nhà máy A một ít do tổn thất truyền tải.

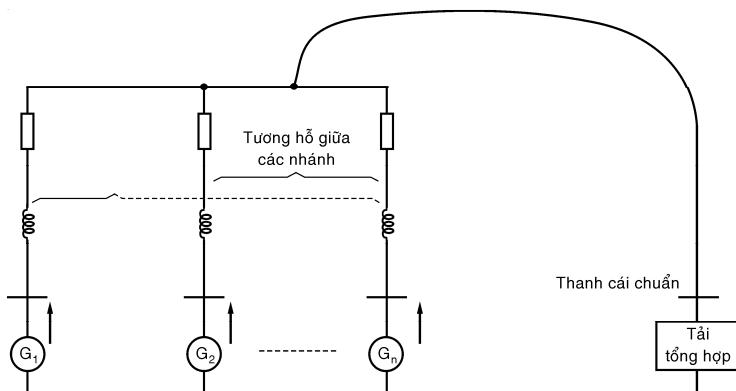
## 12.8 BIẾN ĐỔI MỘT HỆ THỐNG CÓ $m$ PHỤ TẢI THÀNH MỘT HỆ THỐNG CÓ MỘT PHỤ TẢI TỔNG HỢP

Phép biến đổi một ma trận tổng trở thanh cái từ dạng trình bày trong H.12.13 thành dạng trong H.12.14 là cần thiết để giải bài toán điều độ trong mục 12.7. Phép biến đổi này có thể thực hiện được bằng cách dùng phương pháp của Gabriel Kron.



**Hình 12.13:** Tương đương hình cào của  $Z_{TC}$  đối với hệ thống dùng thanh cái  $G_1$  làm chuẩn (hệ qui chiếu 1)

Hình 12.13 là hệ qui chiếu 1 và H.12.14 là hệ qui chiếu 3, như vậy cần có bước trung gian để chuyển từ H.12.13 sang H.12.14 thông qua hệ qui chiếu 2 trong H.12.15.



**Hình 12.14:** Mạch tương đương hình cào ở dạng sau cùng dùng trong mục 12.7 (hệ qui chiếu 3)

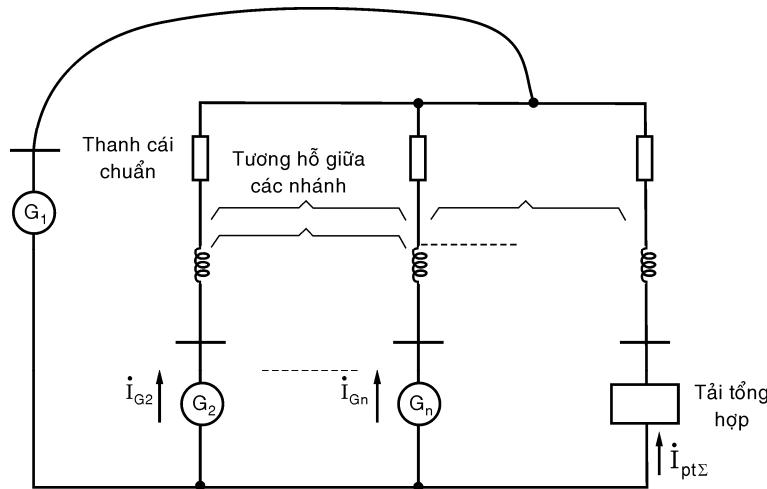
Ba phương trình cơ bản của phép biến đổi là:

$$\bar{I}_{\text{cũ}} = \bar{C} \bar{I}_{\text{mới}} \quad (12.48)$$

$$\bar{E}_{\text{mới}} = \bar{C}^* \bar{E}_{\text{cũ}} \quad (12.49)$$

$$\bar{Z}_{\text{mới}} = \bar{C}^* \bar{Z}_{\text{cũ}} \bar{C} \quad (12.50)$$

Trong bước thứ nhất, ma trận  $Z_{TC}$  trong H.12.13 (hệ qui chiếu 1) được biến đổi như trong H.12.15 (hệ qui chiếu 2). Dạng mới này vẫn coi thanh cái máy phát thanh cái 1 làm chuẩn, nhưng tất cả các phụ tải được tập trung thành phụ tải tổng hay phụ tải tổng hợp.



**Hình 12.15:** Mạch tương đương hình cào của  $Z_{TC2}$  trong hệ qui chiếu 2

Ma trận nối  $C_{12}$  dùng trong phép biến đổi này là ma trận trong phương trình (12.48), quan hệ dòng điện cũ và mới. Dòng điện của riêng từng phụ tải được giả thiết quan hệ với dòng điện tổng bằng các hằng số  $K_1, K_2, \dots, K_m$  hay:

$$\dot{I}_{pt1} = K_1 \dot{I}_{pt\Sigma}$$

$$\dot{I}_{pt2} = K_2 \dot{I}_{pt\Sigma}$$

.....

Viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{g2} \\ \dot{I}_{g3} \\ \vdots \\ \dot{I}_{gn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{g2} \\ \dot{I}_{g3} \\ \vdots \\ \dot{I}_{gn} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{pt1} \\ \dot{I}_{pt2} \\ \vdots \\ \dot{I}_{ptm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & K_1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & K_2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & K_m \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{pt\Sigma} \end{bmatrix}$$

$\underbrace{\quad \quad \quad}_{\text{bậc } (n+m-1, n)}$

(12.51)

hay  $\bar{I}_{\text{cũ}} = \bar{C}_{1-2} \bar{I}_{\text{mới}}$

Khi thành lập được ma trận  $\bar{C}_{1-2}$ , ma trận này được áp dụng trực tiếp vào phương trình (12.50) để xác định  $\bar{Z}_{TC}$  trong hệ qui chiếu 2:

$$[\bar{Z}_{TC2}] = \bar{C}_{1-2}^* \times [\bar{Z}_{TC1}] \times \bar{C}_{1-2} \quad (12.52)$$

bậc  $(n \times n) \quad (n, n+m-1) \quad (n+m-1, n+m-1) \quad (n+m-1, n)$

với  $\bar{C}_{1-2}^*$  là ma trận liên hợp chuyển vị của  $\bar{C}_{1-2}$ .

Sau khi có được  $Z_{TC2}$  cần di chuyển thanh cái chuẩn từ máy phát 1 đến thanh cái phụ tải tổng hợp để đi đến hệ qui chiếu 3. Dòng điện phụ tải tổng liên hệ với các dòng điện máy phát bằng biểu thức:

$$I_{g1} + I_{g2} + \dots + I_{gn} = -I_{pt\Sigma} \quad (12.53)$$

Lại dùng phương trình (48) với ma trận nối  $\bar{C}_{2-3}$  (chuyển từ hệ qui chiếu 2 sang hệ qui chiếu 3) được xác định như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{g2} \\ \dot{I}_{g3} \\ \vdots \\ \vdots \\ \dot{I}_{gn} \\ -\dot{I}_{pt\Sigma} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}}_{\text{bậc } (n \times n)} \begin{bmatrix} \dot{I}_{g1} \\ \dot{I}_{g2} \\ \vdots \\ \vdots \\ \dot{I}_{gn} \end{bmatrix} \quad (12.54)$$

và dùng  $\bar{C}_{2-3}$  cùng với phương trình (50), ma trận  $[Z_{TC}]$  mới đổi với H.12.14 ở hệ qui chiếu 3 cho bởi:

$$[\bar{Z}_{TC3}] = \bar{C}_{2-3}^* \times [\bar{Z}_{TC2}] \times \bar{C}_{2-3} \quad (12.55)$$

bậc  $(n \times n) \quad (n \times n) \quad (n \times n) \quad (n \times n)$

## 12.9 ĐỊNH THỜI BIỂU HUY ĐỘNG CỦA CÁC TỔ MÁY PHÁT

Thoạt nhìn thì có nhận xét việc định thời biểu phải thực hiện trước bài toán vận hành điều độ kinh tế vì trước hết các tổ máy phải được giao phó nhiệm vụ phát điện lên lưới và một khi đã được giao phó thì phụ tải phải được điều độ sao cho chi phí là ít nhất. Tuy vậy, việc định thời biểu có tính kinh tế trước hết phải xét tất cả các yếu tố về chi phí trong đó có chi phí nhiên liệu của bài toán điều độ. Các tính toán trước đó được thực hiện để có được chi phí tương đối về nhiên liệu đối với nhiều tổ hợp khác nhau của các nhà máy có thể được liên kết trên lưới. Chính vì lí do này mà quá trình bao hàm chi phí nhiên liệu của bài toán điều độ kinh tế được xét trước trong chương này.

Nhiều hạng mục được xét đến trong chương trình huy động các máy phát bao gồm:

1. Dự báo ngắn hạn phụ tải;
2. Các yêu cầu về dự trữ hệ thống;
3. Tính an toàn và tin cậy của hệ thống;
4. Chi phí lên máy của tất cả các tổ máy;
5. Chi phí xuống máy;
6. Mức chi phí nhiên liệu thấp nhất của tất cả các tổ máy;

7. Suất tăng chi phí của các tổ máy;
8. Chi phí bảo quản;
9. Chi phí do tổn thất trên đường dây truyền tải;
10. Chi phí bán buôn của điện năng trao đổi.

Chi phí về điện năng trao đổi được thỏa thuận giữa các công ty điện lực phụ thuộc vào suất tăng chi phí để sản xuất thêm một lượng điện năng sau cùng. Nếu một công ty đang vận hành ở phụ tải đỉnh với chi phí cao thì chi phí phát thêm sau cùng sẽ cao và ngược lại lúc phụ tải thấp hơn khi có thể có nhiều tổ máy hiệu quả sẵn sàng nhận thêm tải thì suất tăng chi phí sẽ thấp hơn.

Chi phí lò hơi bao gồm chi phí nhiên liệu, công lao động và bảo trì. Nếu lò hơi không được hâm, nó nguội theo hàm mũ của thời gian. Một lò hơi gọi là được hâm vẫn còn hoạt động khi máy phát đang xuống máy nhưng được cách ly với tuabin.

Đối với lò hơi không hâm, chi phí lò hơi được viết:

$$\text{Chi phí lò hơi} = C_0 (1 - e^{-at}) + K$$

trong đó:

$C_0$  - chi phí để khởi động một lò hơi đã nguội hoàn toàn

$a$  - hằng số nguội của lò hơi

$t$  - thời gian tổ máy đã xuống máy, lò hơi đã nguội dần sau khoảng thời gian  $t$  này

$K$  - chi phí không đổi dùng khởi động tuabin cộng với công lao động và chi phí bảo quản.

Nếu lò hơi được hâm thì chi phí lò hơi có dạng:

$$\text{Chi phí lò hơi} = B \cdot t + K$$

trong đó:

$B$  - chi phí cho mỗi giờ hâm lò

$t$  - thời gian hâm lò.

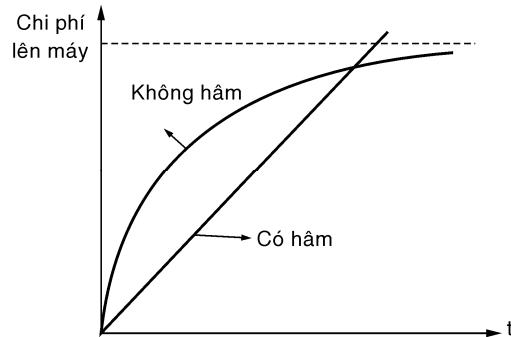
Đường biểu diễn chi phí lò hơi có dạng (H.12.16).

#### **Phương pháp để lập thời biểu cho máy phát**

Một số kỹ thuật đã được dùng để định thời biểu vận hành cho một tổ hợp tối ưu các máy phát. Hai trong số những phương pháp này được tóm tắt ngắn gọn như sau:

##### **I- Lập thời biểu theo danh sách ưu tiên**

Phương pháp này chủ yếu là sắp xếp các tổ máy theo một thứ tự ưu tiên chẵng hạn theo chi phí nhiên liệu cho một đơn vị điện năng phát được. Thứ tự ưu tiên có thể được điều chỉnh đối với an toàn trong vùng, tổn thất hệ thống ... Trong thực tế sử dụng bảng danh sách này, điều độ viên tính tổng phụ tải yêu cầu trong từng giờ cộng với yêu cầu về dự trữ hệ thống và lập thời biểu huy động đủ số máy phát (theo thứ tự ưu tiên) đáp ứng đủ phụ tải tổng. Để xuống máy, danh sách ưu tiên được sắp xếp theo thứ tự ngược lại. Tuy nhiên, trước khi xuống một tổ máy phí tổn để tiếp tục vận hành tổ máy phải được cân nhắc với các phí tổn lên máy và xuống máy. Qui tắc để xuống mỗi tổ máy phải liên hệ đến số giờ trước khi tổ máy đó lại được cần đến. Một



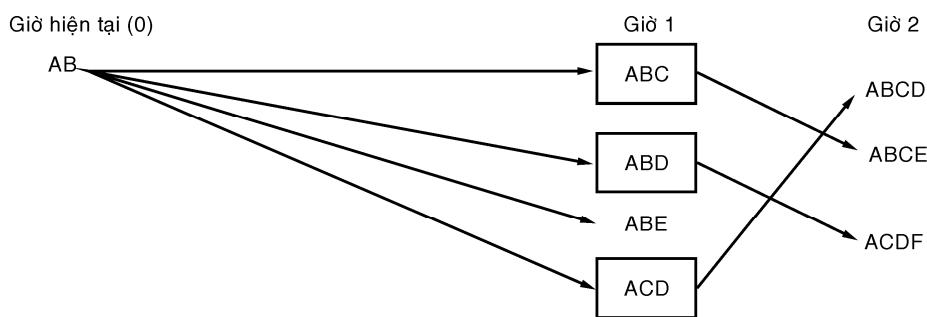
Hình 12.16

khi các tổ máy được huy động lên lươi, tiêu chuẩn λ bằng nhau được áp dụng, giả thiết hệ thống sản có máy tính để giải bài toán điều độ kinh tế.

## 2- Qui hoạch động

Phương pháp này là một cách khác nhằm tối ưu hóa quá trình lập thời biểu cho một thời kỳ. Thời kỳ đó được chia làm nhiều thời đoạn, mỗi thời đoạn thường là một giờ. Các quyết định được đưa ra đầu mỗi giờ về kế hoạch huy động máy. Các yêu cầu về phụ tải và dự trữ hệ thống giả thiết được biết trong suốt thời kỳ đang xét cùng với các ràng buộc về vận hành. Vấn đề là làm cực tiểu chi phí tổng của toàn thời kỳ theo phương cách như sau:

a) Liệt kê tất cả các tổ hợp các máy phát có thể có được cho mỗi giờ sắp đến thỏa mãn phụ tải tổng yêu cầu theo như dự báo phụ tải, dự trữ trong hệ thống và mọi ràng buộc trong vận hành. Chẳng hạn, giả thiết các tổ hợp có thể được đối với một thời kỳ hai giờ được trình bày trong H.12.17 trong đó ký hiệu A, B, C... biểu diễn các tổ máy phát được huy động.



**Hình 12.17:** Minh họa các tổ hợp có thể và ba con đường có chi phí thấp qua giờ 2.

b) Chi phí vận hành tổng được tính từ giờ 0 đến mỗi tổ hợp phương thức vận hành có thể được của giờ 1. Những phí tổn này bao gồm phí tổn vận hành của giờ 0 cộng với chi phí sản xuất của giờ 1 và chi phí lên máy để đi từ giờ 0 đến giờ 1.

c) Kế đó, đối với mỗi phương thức vận hành của giờ 2 xác định con đường có chi phí thấp nhất để đi từ giờ 0 đến giờ 2. Chẳng hạn con đường có chi phí thấp nhất đối với tổ hợp ABCD là đi qua tổ hợp ACD trong giờ 1. Đến cuối giờ 2, có ba con đường tối ưu như đã trình bày.

d) Tiến hành sang giờ 3 và lập lại phương cách tổng quát ở bước c) để có được con đường phí tổn ít nhất để đi đến giờ 3. Lặp lại qui trình này cho thời đoạn mỗi giờ của thời kỳ. Nếu có 24 giờ được xét trong thời kỳ 24 giờ và Ví dụ có được 7 phương thức có thể có trong giờ 24 thì sẽ có 7 con đường tốt nhất được tìm thấy. Tuy rằng chi phí thành tiền được tính cho mỗi con đường nhưng không nhất thiết là tiền ít nhất là biểu diễn cho con đường tốt nhất vì theo lý thuyết bài toán sẽ không bao giờ chấm dứt với thời gian hướng về vô cùng.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 12

**12.1.** Đường cong nhập xuất của máy phát tuabin hơi biểu diễn cho biểu thức:

$$F = 2,5 \times 10^4 P^2 + 1,0 \times 10^7 P + 1,0 \times 10^4$$

trong đó: F: nhiên liệu đầu vào (BTU /giờ)

P: công suất đầu ra (MW)

a) Vẽ đường cong nhập-xuất (BTU /giờ theo MW)

b) Vẽ đường suất nhiệt (BTU /MWh theo MW)

c) Viết lại biểu thức F bằng cách đổi đơn vị của F từ BTU /giờ sang \$ /giờ nếu cho chi phí nhiên liệu là 0.28 \$ mỗi  $10^6$  BTU.

d) Từ phương trình có được ở câu c), tìm phương trình suất tăng chi phí và vẽ đường  $\lambda$  tính bằng \$ /MWh theo MW.

**12.2.** Tham khảo Ví dụ 12.1, tính lại giá trị  $\lambda$  mới và sự phân bổ kinh tế công suất của hai máy phát đối với tổng công suất 250 MW. Bỏ qua tổn thất trên đường dây.

$$\text{ĐS: } P_A = 140,91 \text{ MW} \quad P_B = 109,9 \text{ MW}$$

**12.3.** Giả thiết phụ tải tổng 315 MW trong Ví dụ 12.1 được chia đều giữa hai máy phát. Hãy tính phí tổn tính bằng \$ /giờ do cách phân bổ này so với phân bổ kinh tế.

$$\text{ĐS: } 52,987 \text{ $ /giờ}$$

**12.4.** Trong Ví dụ 12.2, hãy trình bày tất cả các công việc để có được ma trận tổng trở thanh cáp dùng trong bước phân bổ công suất của bài toán vận hành kinh tế. Kết quả của ma trận này được cho trong H.12.12.

**12.5.** Cho dữ kiện của Ví dụ 12.2. Trong bước 3, thay đổi ước lượng ban đầu 5% tổn thất bằng ước lượng 10% tổn thất và làm lại các bước 3,4 và 5 qua một lần lặp.

**12.6.** Trong Ví dụ 12.2, thay đổi tổng trở của nhánh nối từ thanh cáp 2 đến thanh cáp 0 từ  $0.07+j0.25$  thành  $0.15 + j0.5$  và làm lại bài toán qua hai lần lặp.

# Chương 13

## XÁC ĐỊNH NHU CẦU ĐIỆN

### 13.1 MỞ ĐẦU

Xác định phụ tải điện là nhiệm vụ đầu tiên khi thiết kế cung cấp điện. Nhu cầu điện chẵng những xác định theo phụ tải thực tế mà còn phải kể đến khả năng phát triển trong tương lai. Xác định nhu cầu điện có liên quan đến bài toán dự báo phụ tải ngắn hạn hay dài hạn. Ví dụ xác định nhu cầu điện của một phân xưởng thì chủ yếu dựa vào máy móc thực tế đặt trong phân xưởng đó, xác định nhu cầu điện của một xí nghiệp phải xét khả năng mở rộng xí nghiệp trong tương lai gần còn đối với một khu vực thì phải tính đến khả năng phát triển trong vòng 5, 10 năm sắp tới.

Dự báo phụ tải ngắn hạn là xác định phụ tải của công trình ngay khi công trình được đưa vào vận hành. Phụ tải xác định này gọi là phụ tải tính toán. Phụ tải tính toán dùng để chọn các thiết bị điện như: máy biến áp, dây dẫn, các khí cụ đóng cắt, bảo vệ, để tính tổn thất công suất, tổn thất điện áp, tính toán chọn thiết bị bù.

Phụ tải điện phụ thuộc vào nhiều yếu tố như số lượng và công suất các máy, chế độ vận hành, qui trình công nghệ sản xuất ... Vì vậy xác định phụ tải tính toán là khó khăn và quan trọng. Nếu phụ tải tính toán được xác định nhỏ hơn phụ tải thực tế thì khi vận hành sẽ gây quá tải thiết bị điện, làm giảm tuổi thọ các thiết bị truyền dẫn như đường dây, máy biến áp. Ngược lại, nếu phụ tải tính toán lớn hơn thực tế thì các thiết bị chọn lớn hơn yêu cầu gây lãng phí.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu và nhiều phương pháp xác định phụ tải điện nhưng vì phụ tải phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nói trên nên chưa có phương pháp nào hoàn toàn chính xác và tiện lợi.

Các phương pháp xác định phụ tải tính toán có thể chia ra làm hai nhóm chính như sau:

*Nhóm thứ nhất:* bao gồm các phương pháp dựa vào kinh nghiệm thiết kế vận hành và đưa ra các hệ số tính toán. Các phương pháp này thuận tiện, nhưng chỉ cho kết quả gần đúng. Các phương pháp chính:

- Phương pháp tính theo hệ số yêu cầu;
- Phương pháp tính theo suất tiêu hao điện năng trên một đơn vị sản phẩm;
- Phương pháp tính theo suất phụ tải trên một đơn vị diện tích.

*Nhóm thứ hai:* bao gồm các phương pháp dựa trên cơ sở lý thuyết xác suất và thống kê. Các phương pháp này có xét ảnh hưởng của nhiều yếu tố, kết quả chính xác hơn nhưng tính toán phức tạp. Trong chương này sẽ đề cập một phương pháp thường dùng là phương pháp tính theo công suất trung bình và hệ số cực đại (phương pháp số thiết bị hiệu quả).

### 13.2 ĐỒ THỊ PHỤ TẢI ĐIỆN

Đường cong biểu diễn sự thay đổi của công suất tiêu thụ của phụ tải theo thời gian gọi là

đồ thị phụ tải. Phụ tải điện đặc trưng cho nhu cầu (hay yêu cầu) của từng thiết bị, nhóm thiết bị trong phân xưởng hay của toàn xí nghiệp. Công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q và dòng điện I là ba dạng cơ bản của phụ tải dùng trong tính toán thiết kế và vận hành hệ thống cung cấp điện. Sự thay đổi của phụ tải theo thời gian có thể quan sát bằng các dụng cụ đo và dụng cụ tự ghi. Các đặc trưng của đồ thị phụ tải tham khảo mục 7.5. Chương 7.

Đồ thị phụ tải của thiết bị ký hiệu bằng chữ in nhỏ: p(t), q(t), i(t). Đồ thị phụ tải của nhóm thiết bị ký hiệu bằng chữ in hoa: P(t), Q(t), I(t). Nếu nhóm có n thiết bị thì có thể viết:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t) \quad Q(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) \quad (13.1)$$

Khi thiết kế cung cấp điện thường sử dụng đồ thị phụ tải của từng nhóm thiết bị thuộc từng tủ động lực. Với đồ thị phụ tải của toàn xí nghiệp, có thể xác định nhu cầu tiêu thụ của xí nghiệp và từ đó xác định và lựa chọn nguồn cung cấp điện, sơ đồ cung cấp và các thiết bị điện.

Theo thời gian chia ra đồ thị phụ tải ngày, đồ thị phụ tải tháng và đồ thị phụ tải năm. Nghiên cứu đồ thị phụ tải ngày để biết được tình trạng làm việc của các thiết bị trong phân xưởng hay trong xí nghiệp, từ đó có thể điều chỉnh phụ tải sao cho đồ thị được bằng phẳng hơn nhằm giảm bớt công suất cực đại mà nguồn phải cung cấp.

### 13.3 CÁC ĐỊNH NGHĨA VÀ KÝ HIỆU CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN

**1- Công suất định mức** (hay công suất đặt của thiết bị điện): là công suất của thiết bị dùng điện được ghi trên nhãn máy hay trong lý lịch máy, được biểu diễn bằng công suất tác dụng p (đối với động cơ, lò điện trở, bóng đèn ... ) hoặc biểu diễn bằng công suất biểu kiến S (đối với máy biến áp hàn, lò điện cảm ứng ... ). Công suất định mức được tính với thời gian làm việc lâu dài.

Đối với động cơ điện, công suất ghi trên nhãn máy chính là công suất cơ định mức trên trực. Trong động cơ có tổn hao nên công suất điện phải lớn hơn và được tính bởi:

$$P_{dm,elec} = \frac{P_{dm,co}}{\eta} \quad (13.2)$$

trong đó  $\eta$  là hiệu suất của động cơ ( $\eta = 0,85$  đến  $0,87$ ).

Đối với thiết bị điện làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại như cầu trục, thang máy, máy biến áp hàn thì khi tính phụ tải điện phải qui đổi về công suất định mức ở chế độ làm việc dài hạn:

$$\text{Đối với động cơ: } P'_{dm} = P_{dm} \sqrt{\frac{\varepsilon\%}{100}} \quad (13.3)$$

$$\text{Đối với máy biến áp hàn: } S'_{dm} = S_{dm} \sqrt{\frac{\varepsilon\%}{100}} \quad (13.4)$$

trong đó  $\varepsilon\%$  là hệ số tiếp điện thường có giá trị tiêu chuẩn  $\varepsilon\% = 15, 25, 40, 60\%$ .

Công suất định mức của một nhóm thiết bị bằng tổng công suất của từng thiết bị trong nhóm:

$$P_{dm} = \sum_{i=1}^n p_{dm,i}; Q_{dm} = \sum_{i=1}^n q_{dm,i}; I_{dm} = \frac{\sqrt{P_{dm}^2 + Q_{dm}^2}}{\sqrt{3}U_{dm}} \quad (\text{đối với thiết bị ba pha}) \quad (13.5)$$

Nếu trong mạng điện có các thiết bị một pha thì phải phân bố các thiết bị đó lên ba pha sao cho độ không cân bằng là ít nhất. Sau đây là một số chỉ dẫn:

a) nếu tại một điểm cung cấp (tủ phân phối, đường dây chính) phần công suất không cân bằng nhỏ hơn 15% tổng công suất (một pha và ba pha) tại điểm đó thì các thiết bị một pha được coi như thiết bị ba pha có công suất tương đương.

b) nếu phần công suất không cân bằng lớn hơn 15% tổng công suất các thiết bị tại điểm đang xét thì qui đổi về phụ tải định mức ba pha của các thiết bị như sau:

- Trường hợp các thiết bị một pha nối vào điện áp pha của mạng:

$$P_{dm,3\text{ pha}} = 3P_{dm,1\text{ pha (max)}}$$

trong đó  $P_{dm,1\text{ pha (max)}}$  là công suất định mức của các thiết bị một pha của pha mang tải lớn nhất.

- Trường hợp trong mạng vừa có thiết bị một pha nối vào điện áp pha, vừa có thiết bị một pha nối vào điện áp dây thì phải qui đổi các thiết bị nối vào điện áp dây thành các thiết bị tương đương nối vào điện áp pha. Các hệ số qui đổi cho trong Bảng 13.1:

**Bảng 13.1: Hệ số qui đổi tải một pha về ba pha**

Hệ số quy đổi	Hệ số công suất của phụ tải								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1
$p_{(ab)a}, p_{(bc)b}, p_{(ac)c}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,80	0,72	0,64	0,5
$p_{(ab)b}, p_{(bc)c}, p_{(ac)a}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,20	0,28	0,36	0,5
$q_{(ab)a}, q_{(bc)b}, q_{(ac)c}$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,30	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$q_{(ab)b}, q_{(bc)c}, q_{(ac)a}$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,88	0,80	0,67	0,53	0,29

**Ví dụ 13.1:** Một mạng có các thiết bị một pha nối vào điện áp dây  $U_{ab}$ ,  $U_{ac}$  và điện áp pha  $U_{an}$ . Hãy qui đổi phụ tải về pha a.

### Giải

Phụ tải tác dụng của pha a:

$$P_{pha,a} = P_{ab} \cdot p_{(ab)a} + P_{ac} \cdot p_{(ac)a} + P_{an}$$

Phụ tải phản kháng pha a:

$$Q_{pha,a} = Q_{ab} \cdot q_{(ab)a} + Q_{ac} \cdot q_{(ac)a} + Q_{an}$$

trong đó  $P_{ab}$ ,  $P_{ac}$ ,  $Q_{ab}$ ,  $Q_{ac}$  là tổng công suất tác dụng và phản kháng của các thiết bị một pha nối vào điện áp dây  $U_{ab}$  và  $U_{ac}$ ;  $P_{an}$ ,  $Q_{an}$  là tổng công suất tác dụng và phản kháng của các thiết bị một pha mắc vào điện áp pha  $U_{an}$ .

a) Khi chỉ có một thiết bị một pha mắc vào điện áp pha:

$$P_{qui\ đổi,3\ pha} = 3P_{dm,1\ pha}$$

b) Khi chỉ có một thiết bị một pha mắc vào điện áp dây:

$$P_{qui\ đổi,3\ pha} = \sqrt{3} P_{dm,1\ pha}$$

**2- Phụ tải trung bình** là một đặc trưng tĩnh cơ bản của phụ tải trong một khoảng thời gian

nào đó. Tổng phụ tải trung bình của các thiết bị dùng làm căn cứ để đánh giá giới hạn dưới của phụ tải tính toán. Trong thực tế phụ tải trung bình được tính toán theo công thức sau:

- Đối với một thiết bị:

$$p_{tb} = \frac{a_p}{t} \quad q_{tb} = \frac{a_q}{t} \quad s_{tb} = \sqrt{p_{tb}^2 + q_{tb}^2} \quad i_{tb} = \frac{\sqrt{p_{tb}^2 + q_{tb}^2}}{\sqrt{3}U_{dm}} \quad (13.6)$$

trong đó  $a_p, a_q$  – điện năng tác dụng và phản kháng được xác định theo chỉ số công tơ đo điện năng tác dụng và phản kháng.

- Đối với một nhóm thiết bị:

$$P_{tb} = \frac{A_p}{t} \quad Q_{tb} = \frac{A_q}{t} \quad S_{tb} = \sqrt{P_{tb}^2 + Q_{tb}^2} \quad I_{tb} = \frac{\sqrt{P_{tb}^2 + Q_{tb}^2}}{\sqrt{3}U_{dm}} \quad (13.7)$$

hay:  $P_{tb} = \sum_{i=1}^n p_{tb,i}$   $Q_{tb} = \sum_{i=1}^n q_{tb,i}$   $(13.8)$

Biết phụ tải trung bình có thể đánh giá được mức độ sử dụng của các thiết bị. Phụ tải trung bình là số liệu quan trọng để xác định phụ tải tính toán, tổn thất điện năng. Thông thường, phụ tải trung bình được xác định ứng với thời gian khảo sát là một ca làm việc, một ngày, một tháng hay một năm.

### 3- Phụ tải cực đại

Trị số phụ tải cực đại  $p_{max}, P_{max}, q_{max}, Q_{max}, s_{max}, S_{max}, i_{max}, I_{max}$  là trị số lớn nhất trong các trị số trung bình có được trong một khoảng thời gian khảo sát nào đó. Theo khoảng thời gian khảo sát, phân biệt hai loại phụ tải cực đại:

a) Phụ tải cực đại dài hạn  $p_{max}, P_{max}, \dots$  là phụ tải trung bình lớn nhất trong khoảng thời gian tương đối ngắn (thường lấy bằng 5, 10 hoặc 30 phút ứng với ca làm việc có phụ tải lớn nhất trong ngày). Đôi khi dùng phụ tải cực đại để làm phụ tải tính toán.

Phụ tải cực đại dùng để tính tổn thất công suất lớn nhất, tổn thất điện năng, chọn tiết diện dây dẫn và cáp theo mật độ dòng kinh tế.

b) Phụ tải cực đại ngắn hạn hay còn gọi là phụ tải đỉnh nhọn là phụ tải cực đại trong thời gian 1–2 giây. Dùng phụ tải đỉnh nhọn để kiểm tra sự dao động điện áp trong lưới điện, kiểm tra điều kiện tự mở máy của động cơ công suất lớn, chọn dây chày của cầu chì, tính dòng điện khởi động của rơle bảo vệ ...

### 4- Phụ tải trung bình bình phương

Được định nghĩa xác định theo biểu thức sau:

$$P_{tbbp} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt} \quad (13.9)$$

$$Q_{tbbp} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T Q^2(t) dt} \quad (13.10)$$

$$I_{tbbp} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}$$

trong đó  $T$  là khoảng thời gian khảo sát. Phụ tải trung bình bình phương dùng để tính tổn thất công suất trung bình, hệ số tổn thất và tổn thất điện năng.

$$\Delta P_{tb} = \frac{P_{tbbp}^2 + Q_{tbbp}^2}{U^2} R \quad (13.11)$$

$$\Delta A = \Delta P_{tb} \cdot T \quad (\text{xem mục 7.5. Chương 7}) \quad (13.12)$$

### 5- Phụ tải tính toán

Phụ tải tính toán là một số liệu rất cơ bản trong thiết kế hệ thống cung cấp điện và được định nghĩa như sau:

*Phụ tải tính toán,  $P_{tt}$  – là phụ tải giả thiết lâu dài không đổi, tương đương với phụ tải thực tế (biến đổi) về mặt hiệu ứng nhiệt lớn nhất. Nói cách khác, phụ tải tính toán cũng làm nóng dây dẫn lên tới nhiệt độ bằng nhiệt độ lớn nhất do phụ tải thực tế gây ra.*

Quan hệ giữa phụ tải tính toán với các phụ tải khác được nêu trong bất đẳng thức sau:

$$P_{max} \geq P_{tt} \geq P_{tbbp} \geq P_{tb} \quad (13.13)$$

Quá trình phát nóng của dây dẫn có quán tính nghĩa là dòng điện chạy qua dây dẫn phải qua một thời gian  $T$  nào đó thì dây dẫn mới nóng lên đến nhiệt độ ổn định. Thời gian  $T$  bằng khoảng ba lần hằng số thời gian phát nóng  $T_0$  của dây dẫn. Với loại dây dẫn thông dụng  $T_0$  khoảng 10 phút, như vậy  $T$  khoảng 30 phút. Do đó, thường lấy trị số trung bình của phụ tải lớn nhất xuất hiện trong 30 phút để làm phụ tải tính toán. Hằng số thời gian phát nóng  $T_0$  thay đổi theo cỡ dây và cách bố trí dây (trên không, trong ống, chôn dưới đất), tiết diện dây càng lớn thì trị số  $T_0$  càng lớn.

Tóm lại phụ tải tính toán theo phát nóng được xác định như sau:

- Khi đồ thị phụ tải thay đổi: phụ tải tính toán là phụ tải trung bình lớn nhất trong khoảng thời gian: 0,5, 0,75, 1, 1,5, 2 giờ (tùy theo cỡ dây và cách bố trí)
- Khi đồ thị phụ tải ít thay đổi hoặc không đổi: phụ tải tính toán lấy bằng phụ tải trung bình.

## 13.4 CÁC HỆ SỐ ĐẶC TRƯNG CHO CÁC THIẾT BỊ TIÊU THỤ ĐIỆN VÀ ĐỒ THỊ PHỤ TẢI

Khi tính toán xác định phụ tải thường dùng các hệ số đặc trưng cho các chế độ làm việc của các thiết bị tiêu thụ điện theo công suất và theo thời gian.

Qui ước về ký hiệu: dùng chữ  $k$  để chỉ hệ số liên quan đến từng thiết bị, chữ  $K$  để chỉ hệ số liên quan đến một nhóm thiết bị.

### 1- Hệ số sử dụng

Hệ số sử dụng của một thiết bị điện  $k_{sd}$ , hay của một nhóm thiết bị là tỷ số giữa công suất trung bình và công suất định mức:

$$k_{sd} = \frac{P_{tb}}{P_{dm}} ; \quad K_{sd} = \frac{P_{tb}}{P_{dm}} = \frac{\sum k_{sd} p_{dm}}{\sum p_{dm}} \quad (13.14)$$

Nếu có đồ thị phụ tải thì hệ số sử dụng được tính như sau:

$$K_{sd} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + \dots + P_n t_n}{P_{dm} (t_1 + t_2 + \dots + t_n)} \quad (13.15)$$

Hệ số sử dụng đặc trưng cho chế độ làm việc của phụ tải theo công suất và theo thời gian và là số liệu để xác định phụ tải tính toán.

Từ định nghĩa trên có thể phân biệt hệ số sử dụng theo công suất tác dụng, công suất phản kháng và theo dòng điện.

### 2- Hệ số đóng điện

Hệ số đóng điện  $k_d$  của thiết bị là tỷ số giữa thời gian đóng điện trong chu trình với toàn bộ thời gian của chu trình  $t_{ct}$ .

Thời gian đóng điện  $t_d$  gồm thời gian làm việc mang tải  $t_{lv}$  và thời gian chạy không tải  $t_{kt}$ , như vậy:

$$k_d = \frac{t_{lv} + t_{kt}}{t_{ct}} \quad (13.14)$$

Hệ số đóng điện của một nhóm thiết bị cho bởi trị số trung bình có trọng lượng các hệ số đóng điện của các thiết bị trong nhóm:

$$K_d = \frac{\sum k_d p_{dm}}{\sum p_{dm}} \quad (13.15)$$

Hệ số đóng điện phụ thuộc vào quá trình công nghệ.

### 3- Hệ số phụ tải

Hệ số phụ tải công suất tác dụng của thiết bị còn gọi là hệ số mang tải là tỷ số của công suất tác dụng thực tế mà thiết bị tiêu thụ (nghĩa là phụ tải trung bình  $p_{tb,d}$  trong thời gian đóng điện  $t_d$  trong chu trình) và công suất định mức

$$k_{pt} = \frac{p_{tb,d}}{p_{dm}} \quad (13.16)$$

Mặt khác:

$$k_{pt} = \frac{p_{tb,d}}{p_{dm}} = \frac{p_{tb,d} \cdot t_d}{p_{dm} \cdot t_d} = \frac{a}{p_{dm} \cdot t_d} = \frac{p_{tb} \cdot t_{ct}}{p_{dm} \cdot t_d} = \frac{k_{sd}}{k_d} \quad (13.17)$$

trong đó điện năng  $a = p_{tb,d} \cdot t_d = p_{tb} \cdot t_{ct}$

Hệ số phụ tải công suất tác dụng của nhóm thiết bị là tỷ số của hệ số sử dụng nhóm  $K_{sd}$  với hệ số đóng điện nhóm  $K_d$

$$K_{pt} = \frac{K_{sd}}{K_d} \quad (13.18)$$

### 4- Hệ số cực đại

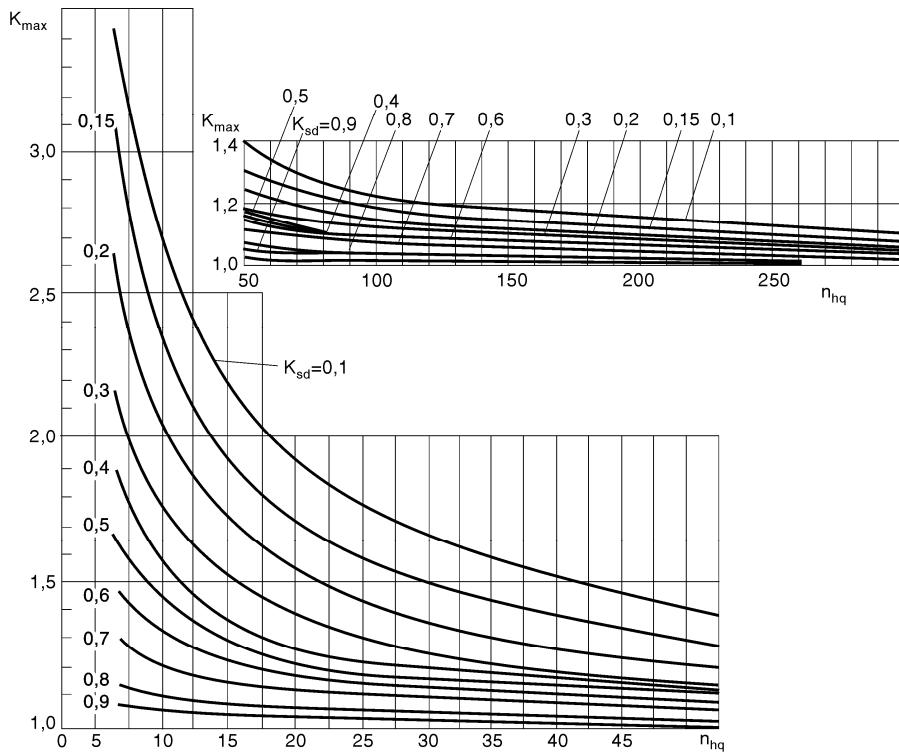
Hệ số cực đại là tỷ số của công suất tác dụng tính toán với công suất trung bình của nhóm thiết bị trong khoảng thời gian khảo sát

$$K_{max} = \frac{P_{tt}}{P_{tb}} \quad (13.19)$$

Thời gian khảo sát là thời gian của ca mang tải lớn nhất. Hệ số cực đại phụ thuộc vào số thiết bị làm việc hiệu quả  $n_{hq}$ , vào hệ số sử dụng  $K_{sd}$ . Trong thực tế có thể tra  $K_{max}$  theo đường cong  $K_{max} = f(K_{sd}, n_{hq})$  (H.13.1) hoặc tra bảng 13.2. Theo bảng số này thì khi  $n_{hq} > 200$  với  $K_{sd}$  bất kỳ hoặc là khi  $K_{sd} > 0,8$  với  $n_{hq}$  bất kỳ thì một cách gần đúng có thể lấy  $K_{max} = 1$ .

**Bảng 13.2:** Hệ số cực đại  $K_{max}$  theo  $K_{sd}$  và  $n_{hq}$ 

$n_{hq}$	Giá trị $K_{max}$ khi $K_{sd}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,36	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,32	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,28	1,25	1,20	1,13	0,17	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,26	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,24	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,21	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,19	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,17	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,15	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,14	1,13	1,12	1,09	1,05	0,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,13	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,12	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,10	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,09	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,08	1,09	1,08	1,05	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,07	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,06	1,07	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,05	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
220	1,14	1,12	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
260	1,13	1,11	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
280	1,13	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,03	1,03	1,0	1,01



**Hình 13.1: Đường cong  $K_{max} = f(n_{hq}, K_{sd})$**

### 5- Hệ số nhu cầu

Hệ số nhu cầu công suất tác dụng là tỷ số giữa công suất tác dụng tính toán (khi thiết kế) hoặc công suất tác dụng tiêu thụ (khi vận hành) với công suất tác dụng định mức của nhóm thiết bị.

$$K_{nc} = \frac{P_{tt}}{P_{dm}} \quad \text{hay} \quad K_{nc} = \frac{P_{t.thu}}{P_{dm}} \quad (13.20)$$

Hệ số nhu cầu của các nhóm thiết bị khác nhau thuộc các ngành công nghiệp khác nhau được xác định theo kinh nghiệm vận hành và thiết kế có thể tham khảo trong các sổ tay thiết kế.

Dựa vào định nghĩa hệ số sử dụng, hệ số cực đại, hệ số nhu cầu có được quan hệ sau:

$$K_{nc} = \frac{P_{tt}}{P_{dm}} = \frac{P_{tt} \cdot P_{tb}}{P_{dm} \cdot P_{tb}} = \frac{P_{tt}}{P_{tb}} \cdot \frac{P_{tb}}{P_{dm}} = K_{max} \cdot K_{sd} \quad (13.21)$$

Theo sổ tay tra cứu,  $K_{nc}$  là hằng số, điều này chỉ đúng khi số thiết bị trong nhóm lớn và khi  $K_{sd}$  lớn. Trong trường hợp tổng quát, nếu lấy  $K_{nc}$  là hằng số thì khi tính toán gặp sai số lớn.

### 6- Hệ số điền kín phụ tải

Hệ số điền kín phụ tải (còn gọi tắt là hệ số phụ tải trong mục 7.5. Chương 7 là tỷ số giữa công suất trung bình với công suất cực đại trong khoảng thời gian khảo sát).

$$K_{dk} = \frac{P_{tb}}{P_{max}} \quad (13.22)$$

Thời gian khảo sát là thời gian của ca mang tải lớn nhất. Tương tự, xác định hệ số điền kín phụ tải theo công suất phản kháng và theo dòng điện.

### 7- Hệ số đồng thời các trị số cực đại của phụ tải

Hệ số này còn gọi tắt là hệ số đồng thời.

Hệ số đồng thời là tỷ số giữa phụ tải tính toán cực đại tổng của một nút trong hệ thống cung cấp điện với tổng các phụ tải tính toán cực đại của các nhóm thiết bị có nối vào nút đó.

$$K_{dt} = \frac{P_{tt\Sigma}}{\sum_{i=1}^n P_{tt,i}} \quad (13.23)$$

Hệ số đồng thời nói lên tính chất phụ tải tính toán cực đại của các nhóm thiết bị không cùng xảy ra ở một thời điểm,  $K_{dt} \leq 1$ .

Hệ số đồng thời cho phân xưởng có nhiều nhóm thiết bị:

$$K_{dt,px} = \frac{P_{tt,px}}{\sum_{i=1}^n P_{tt,nhóm,i}} \quad (13.24)$$

Hệ số đồng thời của nhà máy điện hay trạm biến áp xí nghiệp cung cấp điện cho nhiều phân xưởng:

$$K_{dt,nm} = \frac{P_{tt,nm}}{\sum_{i=1}^n P_{tt,px,i}} \quad (13.25)$$

Nếu ước lượng hệ số đồng thời và dùng hệ số này để tính phụ tải tính toán tổng của nút phụ tải ( $P_{tt\Sigma} = K_{dt} \cdot \Sigma P_{tt}$ ) thì phụ tải tính toán không được nhỏ hơn phụ tải trung bình tại nút đó.

#### **8- Hệ số phân tán các trị số cực đại của phụ tải**

Hệ số phân tán là nghịch đảo của hệ số đồng thời:

$$K_{p,tán} = \frac{1}{K_{dt}}, \quad K_{p,tán} \geq 1 \quad (13.26)$$

#### **9- Yêu cầu phân tán (hay yêu cầu đồng thời, coincident demand)**

Đó là yêu cầu cực đại  $P_{tt\Sigma}$  hay  $P_{max\Sigma}$ ,  $D_g$  của nhóm phụ tải xét trong toàn bộ gồm các phụ tải không liên quan với nhau trong một khoảng thời gian qui định. Do đó yêu cầu cần cực đại có phân tán có ý nghĩa quan trọng. Nó là cực đại của phụ tải tổng hợp hay là tổng của các phụ tải góp phần vào yêu cầu cực đại trong một khoảng thời gian đã định. Yêu cầu không đồng thời  $\Sigma P_{tt}$  hay  $\Sigma P_{max}$ ,  $\Sigma D_i$  (noncoincident demand) được định nghĩa là tổng các yêu cầu của một nhóm phụ tải không có ràng buộc về khoảng thời gian theo đó mỗi yêu cầu được áp dụng.

**10- Hệ số yêu cầu** là tỷ số của yêu cầu cực đại của hệ thống với tổng các phụ tải có nối vào hệ thống (demand factor, DF).

$$K_{yc} = DF = \frac{Yêu cầu cực đại}{Tổng yêu cầu có nối với hệ thống} = \frac{P_{max}}{P_{dm}}$$

Dĩ nhiên, hệ số yêu cầu cũng có thể được tính cho một phần của hệ thống nghĩa là cho phụ tải công nghiệp hay thương mại thay vì cho toàn bộ hệ thống. Trong trường hợp nào đi nữa hệ số yêu cầu thường nhỏ hơn 1, nó là một dấu hiệu về vận hành đồng thời của phụ tải tổng có nối với hệ thống. Hệ số yêu cầu có ý nghĩa tương tự như hệ số nhu cầu.

Tổng yêu cầu có nối với hệ thống: là tổng các công suất định mức liên tục của thiết bị tiêu thụ được nối với hệ thống.

*Hệ số phân tán (diversity factor):* là tỷ số của tổng các yêu cầu cực đại riêng rẽ của nhiều phần của toàn hệ thống chia cho yêu cầu cực đại của toàn hệ thống. Do đó, hệ số phân tán  $F_D$  là:

$$K_{p.tán} = F_D = \frac{\text{Tổng các yêu cầu cực đại của riêng từng phần}}{\text{Cực đại đồng thời}}$$

$$F_D = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n}{D_g} = \frac{\sum D_i}{D_g}$$

Hay

$$K_{p.tán} = \frac{\sum P_{\max}}{P_{\max\Sigma}}$$

trong đó:

$D_i$ : yêu cầu cực đại của phụ tải i ( $P_{\max,i}$ )

$D_g = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n$  = cực đại đồng thời của nhóm n phụ tải ( $P_{\max\Sigma}$ ).

Hệ số phân tán bằng hay lớn hơn 1.

Theo định nghĩa của hệ số yêu cầu:

$$DF = \frac{\text{Yêu cầu cực đại}}{\text{Tổng yêu cầu nối với hệ thống}} = \frac{P_{\max}}{P_{dm}}$$

Suy ra: Yêu cầu cực đại = Tổng yêu cầu nối với hệ thống x DF = TCD x DF

trong đó TCD: Tổng yêu cầu có nối với hệ thống (total connected demand), DF: hệ số yêu cầu (demand factor)

từ đó

$$K_{p.tán} = F_D = \frac{\sum_{i=1}^n (TCD_i \times DF_i)}{D_g} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{y2i} \cdot P_{dmi}}{P_{\max\Sigma}} = \frac{\sum P_{\max}}{P_{\max\Sigma}}$$

trong đó  $TCD_i$ : tổng yêu cầu có nối với hệ thống của nhóm hay loại phụ tải i;

$DF_i$  : hệ số yêu cầu của nhóm hay loại phụ tải i.

*Hệ số đồng thời:* là tỷ số của yêu cầu cực đại tổng đồng thời của một nhóm phụ tải chia cho tổng các yêu cầu cực đại của từng phụ tải riêng rẽ của nhóm phụ tải cùng lấy điện từ một điểm cung cấp. Hệ số đồng thời  $K_{dt}$  hay  $F_c$  (coincidence factor) cho bởi:

$$K_{dt} = F_c = \frac{\text{Yêu cầu cực đại đồng thời}}{\text{Tổng yêu cầu cực đại của từng phụ tải}} = \frac{P_{\max\Sigma}}{\sum P_{\max}}$$

$$K_{dt} = F_c = \frac{D_g}{\sum D_i}$$

Do đó, hệ số đồng thời là nghịch đảo của hệ số phân tán:

$$F_c = \frac{1}{F_D} \text{ hay } K_{dt} = \frac{1}{K_{p.tán}}$$

*Lượng phân tán phụ tải (load diversity, LD):* là hiệu số giữa tổng các phụ tải đỉnh của hai hay nhiều phụ tải riêng rẽ với phụ tải đỉnh của phụ tải tổng hợp. Do đó, lượng phân tán phụ tải cho bởi

$$LD = (\sum D_i) - D_g = \sum P_{max} - P_{max\Sigma}$$

**11- Hệ số góp phần**  $C_i$  là hệ số góp phần của phụ tải i vào yêu cầu cực đại của nhóm. Hệ số này được biểu diễn theo đơn vị tương đối của yêu cầu cực đại của riêng phụ tải thứ i. Do đó:

$$D_g = C_1 \cdot D_1 + C_2 \cdot D_2 + C_3 \cdot D_3 + \dots + C_n \cdot D_n$$

Từ đó hệ số đồng thời được viết lại:

$$F_c = \frac{C_1 \cdot D_1 + C_2 \cdot D_2 + C_3 \cdot D_3 + \dots + C_n \cdot D_n}{\sum D_i}$$

hay  $F_c = \frac{\sum C_i D_i}{\sum D_i}$

*Trường hợp đặc biệt:*

*Trường hợp 1:*  $D_1 = D_2 = D_n = \dots = D_n = D$

$$\text{Khi đó } F_c = \frac{D \sum C_i}{n \cdot D} = \frac{\sum C_i}{n}$$

Điều này có ý nghĩa là hệ số đồng thời bằng trung bình của các hệ số góp phần.

*Trường hợp 2:*  $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n = C$

$$\text{Khi đó } F_c = \frac{C \sum D_i}{\sum D_i} = C \text{ nghĩa là hệ số đồng thời bằng với hệ số góp phần.}$$

**12- Hệ số tổn thất** là tỷ số giữa tổn thất công suất trung bình với tổn thất công suất lúc phụ tải đỉnh trong một khoảng thời gian đã định. Hệ số tổn thất ( $K_u$  hay  $F_{LS}$ , loss factor) cho bởi:

$$K_u = F_{LS} = \frac{\text{Tổn thất công suất trung bình}}{\text{Tổn thất công suất lúc phụ tải đỉnh}} = \frac{\Delta P_{tb}}{\Delta P_{max}}$$

Phương trình này áp dụng cho tổn thất trong đồng nhưng không áp dụng cho tổn thất trong sắt của máy biến áp.

**Ví dụ 13.2:** Giả thiết phụ tải đỉnh hàng năm của phát tuyến sơ cấp là 2000 kW ứng với tổn thất công suất trên đường dây là 80 kW cho ba pha. Cho hệ số tổn thất là 0,15, hãy xác định: a) Tổn thất công suất trung bình hàng năm;

b) Tổn thất điện năng hàng năm của đường dây.

**Giải**

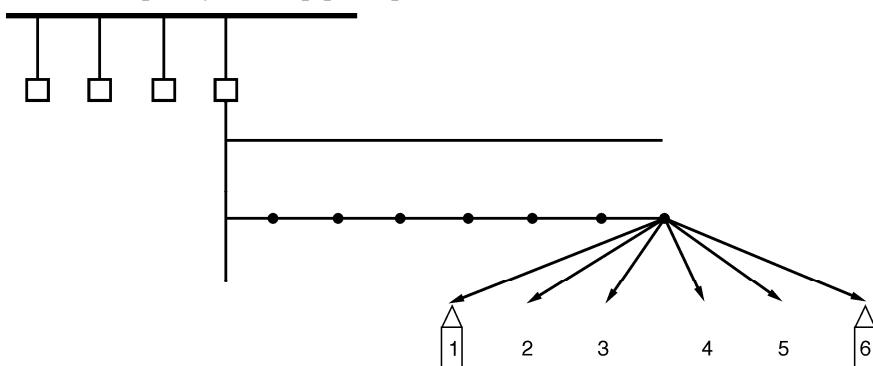
$$\begin{aligned} \text{a) Tổn thất công suất trung bình} &= \text{tổn thất công suất lúc phụ tải đỉnh} \times F_{LS} \\ &= 80 \text{ kW} \times 0,15 = 12 \text{ kW} \end{aligned}$$

b) Tổn thất điện năng hàng năm:

$$\Delta A = \text{tổn thất trung bình} \times 8760 = 12 \times 8760 = 105120 \text{ kWh}$$

**Ví dụ 13.3:** Giả thiết có sáu hộ tiêu thụ nối vào thanh cái hạ áp một máy biến áp phân phối (H.13.3).

Thanh cái hạ áp máy biến áp phân phối



Hình 13.3

Giả thiết công suất mỗi hộ tiêu thụ là 9 kW, hệ số yêu cầu và hệ số phân tán của nhóm hộ tiêu thụ lần lượt là 0,65 và 1,1. Xác định yêu cầu phân tán của nhóm sáu hộ tiêu thụ trên máy biến áp phân phối.

**Giải:** Yêu cầu phân tán của nhóm tải trên máy biến áp phân phối.

$$D_g = \frac{\left( \sum_{i=1}^6 TCD_i \right) \cdot DF}{F_D}$$

TCD: tổng yêu cầu nối với hệ thống  
(total connected demand)

DF: hệ số yêu cầu (demand factor)

F<sub>D</sub>: hệ số phân tán (diversity factor)

$$\text{hay } P_{\max\Sigma} = \frac{K_{ye} \cdot \sum P_{dm}}{K_{p,tan}} = \frac{\sum_{i=1}^6 0,65 \cdot (6 \times 9)}{1,1} = 31,9 \text{ kW}$$

**Ví dụ 13.4:** Giả thiết phát tuyến chính có phụ tải đỉnh 3000 kVA/pha và tổn thất đồng là 0,5% của công suất đỉnh. Hãy xác định:

- a) Tổn thất công suất trong đồng trong mỗi pha;
- b) Tổn thất ba pha.

**Giải**

a) Tổn thất mỗi pha:  $\Delta P = 0,5\% \cdot 3000 = 15 \text{ kW/pha}$

b) Tổn thất 3 pha:  $3\Delta P = 3 \cdot 15 = 45 \text{ kW/3pha}$

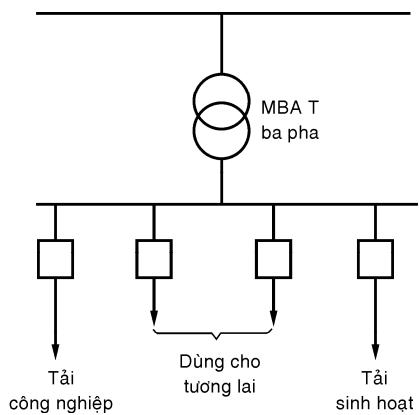
**Ví dụ 13.5:** Giả thiết có hai phát tuyến được cung cấp từ một máy biến áp (H.13.4.):

Một phát tuyến cung cấp cho phụ tải công nghiệp chủ yếu từ 8 giờ sáng đến 11 giờ đêm với công suất đỉnh 2000 kW xảy ra vào lúc 5 giờ chiều. Phát tuyến thứ hai cung cấp cho tải sinh hoạt chủ yếu từ 6 giờ sáng đến 12 giờ đêm với đỉnh 2000 kW vào lúc 9 giờ tối. Đồ thị phụ tải vẽ trong H.13.5. Hãy xác định:

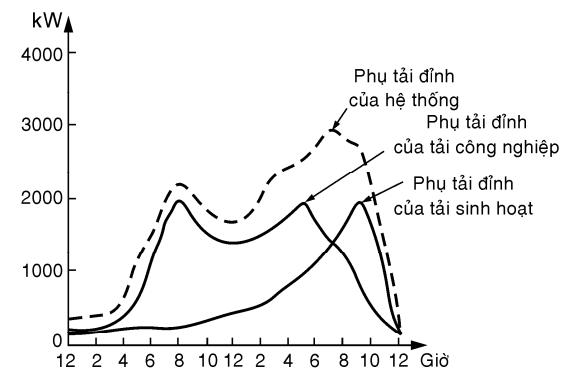
- a) Hệ số phân tán của phụ tải nối với máy biến áp T;

b) Lượng phân tán phụ tải của phụ tải nối với máy biến áp T.

c) Hệ số đồng thời của phụ tải nối với máy biến áp T.



**Hình 13.4**



**Hình 13.5**

**Giải:** a) Hệ số phân tán của phụ tải:  $F_D = \frac{\sum D_i}{D_g} = \frac{2000+2000}{3000} = 1,33$

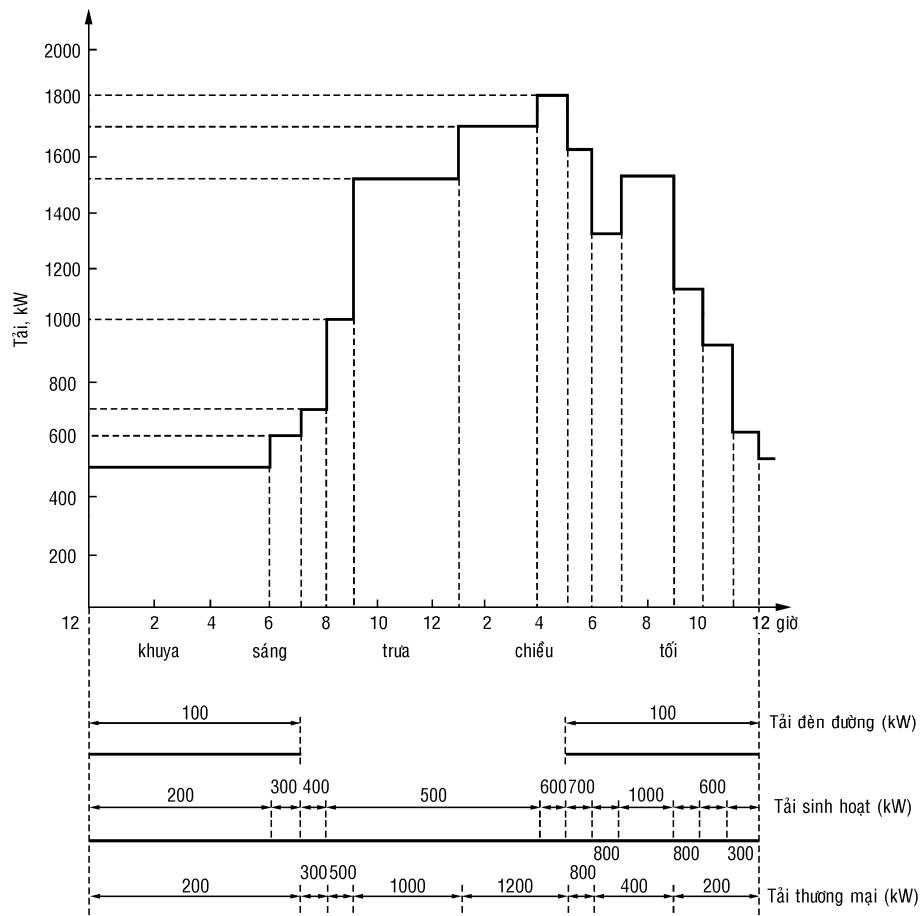
b) Lượng phân tán của phụ tải:  $LD = \sum D_i - D_g = 4000 - 3000 = 1000 \text{ kW}$

c) Hệ số đồng thời:  $F_C = \frac{1}{F_D} = \frac{1}{1,33} \approx 0,752$

**Ví dụ 13.6:** Cho phụ tải của một phát tuyến như sau:

Giờ	Phụ tải (kW)		
	Đèn đường	Sinh hoạt	Thương mại
12 giờ đêm	100	200	200
1	100	200	200
2	100	200	200
3	100	200	200
4	100	200	200
5	100	200	200
6	100	200	200
7	100	300	200
8	—	400	300
9	—	500	500
10	—	500	1000
11	—	500	1000
12 giờ trưa	—	500	1000
1	—	500	1000
2	—	500	1200
3	—	500	1200
4	—	500	1200
5	—	600	1200
6	100	700	800
7	100	800	400
8	100	1000	400
9	100	1000	400
10	100	800	200
11	100	600	200
12	100	300	200

Đồ thị phụ tải vẽ trong H.13.6.



**Hình 13.6**

Để ý rằng phụ tải đỉnh xảy ra vào lúc 5 giờ chiều. Hãy xác định:

- a) Các hệ số góp phần của mỗi lớp phụ tải;
- b) Hệ số phân tán đối với phát tuyến;
- c) Yêu cầu cực đại phân tán của nhóm phụ tải;
- d) Hệ số đồng thời của nhóm phụ tải.

**Giải**

- a) Hệ số góp phần của nhóm:

$$C_i = \frac{\text{Yêu cầu của nhóm vào thời điểm phụ tải đỉnh của hệ thống}}{\text{Yêu cầu cực đại không đồng thời của nhóm}}$$

$$C_{\text{đèn đường}} = \frac{0}{100} = 0$$

$$C_{\text{sinh hoạt}} = \frac{600}{1000} = 0,60$$

$$C_{\text{thương mại}} = \frac{1200}{1200} = 1,0$$

b) Hệ số phân tán:

$$F_D = \frac{\sum D_i}{D_g}$$

$$D_g = C_1 D_1 + C_2 D_2 + \dots + C_n D_n$$

$$F_D = \frac{\sum D_i}{\sum C_i D_i} = \frac{100 + 1000 + 1200}{0 \times 100 + 0,6 \times 1000 + 1,0 \times 1200} = 1,278$$

c) Yêu cầu cực đại có phân tán là yêu cầu cực đại đồng thời, tức là  $D_g$ .

$$\text{Hệ số phân tán cho bối: } F_D = \frac{\sum TCD_i \times DF_i}{D_g}$$

trong đó yêu cầu cực đại cho bối:

Yêu cầu cực đại  $D_i$  = Tổng yêu cầu nối với hệ thống  $TCD_i \times$  hệ số yêu cầu  $DF_i$ .

$$F_D = \frac{\sum D_i}{D_g} \quad \text{hay } D_g = \frac{\sum D_i}{F_D}$$

Do đó yêu cầu cực đại có phân tán của nhóm phụ tải

$$D_g = \frac{\sum D_i}{F_D} = \frac{100 + 1000 + 1200}{1,278} = 1800 \text{ kW}$$

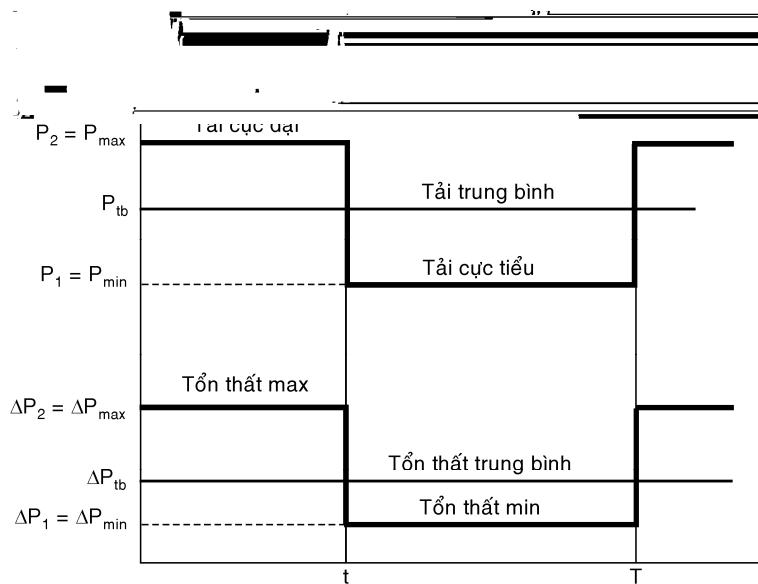
Xem trên đồ thị phụ tải  $D_g$  xảy ra từ 4 đến 5 giờ chiều.

d) Hệ số đồng thời của nhóm phụ tải:

$$F_c = \frac{D_g}{\sum D_i} \rightarrow F_c = \frac{1}{F_D} = \frac{1}{1,278} = 0,7825$$

### 13- Quan hệ giữa hệ số phụ tải và hệ số tổn thất

Tổng quát, hệ số tổn thất không được xác định từ hệ số phụ tải. Tuy nhiên, các trị số giới hạn của quan hệ này có thể tìm được. Giả thiết phát tuyến sơ cấp cung cấp cho phụ tải thay đổi. H.13.7 đưa ra một đồ thị phụ tải gồm hai bậc. Đồ thị này biểu diễn cho đồ thị theo thời khoảng.



Hình 13.7

Giả thiết tổn thất lúc phụ tải cực đại là  $\Delta P_{\max}$  và lúc phụ tải cực tiểu là  $\Delta P_{\min}$ :

$$* \text{ Hệ số phụ tải: } K_{pt} = \frac{P_{tb}}{P_{\max}}$$

$$\text{Từ đó thị có được: } P_{tb} = \frac{P_2 t + P_1(T-t)}{T}$$

$$\text{Suy ra: } K_{pt} = \frac{P_2 t + P_1(T-t)}{TP_2} = \frac{t}{T} + \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T-t}{T} \quad (1)$$

\* Hệ số tổn thất

$$K_{tt} = \frac{\Delta P_{tb}}{\Delta P_{\max}} = \frac{\Delta P_{tb}}{\Delta P_2}$$

Theo đđ thị:

$$\Delta P_{tb} = \frac{\Delta P_2 t + \Delta P_1(T-t)}{T}$$

$$\text{Suy ra: } K_{tt} = \frac{\Delta P_2 t + \Delta P_1(T-t)}{T \Delta P_2}$$

Tổn thất đường dây (trong đồng) là hàm của phụ tải. Tổn thất cực đại và cực tiểu có thể được biểu diễn lần lượt như sau:

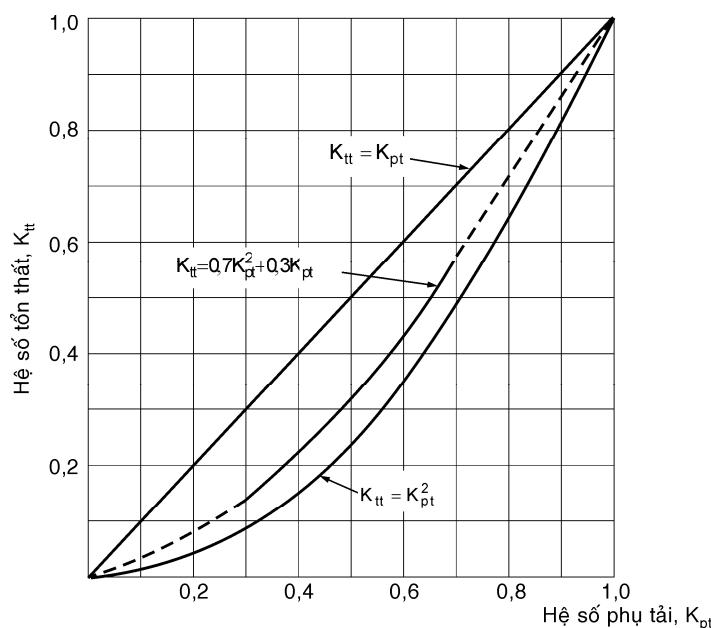
$$\Delta P_{\min} = \Delta P_1 = K \cdot P_1^2$$

$$\Delta P_{\max} = \Delta P_2 = K \cdot P_2^2$$

trong đó K là hằng số.

$$\text{Từ đó: } K_{tt} = \frac{K \cdot P_2^2 \cdot t + K \cdot P_1^2 \cdot (T-t)}{T \cdot K \cdot P_2^2} = \frac{t}{T} + \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \cdot \frac{T-t}{T} \quad (2)$$

Các phương trình (1) và (2) cho phép vẽ quan hệ giữa hệ số phụ tải và hệ số tổn thất trong ba trường hợp sau:



**Hình 13.8**

*Trường hợp 1:* Phụ tải cực tiểu  $P_1 = 0$

$$\text{Từ (1) và (2) có được: } K_{pt} = K_{ut} = \frac{t}{T}$$

*Trường hợp 2:* Phụ tải cực đại xảy ra trong thời gian rất ngắn  $t \rightarrow 0$ .

$$\text{Lúc đó: } \frac{T-t}{T} \rightarrow 1,0.$$

$$\text{Do đó } K_{ut} \rightarrow (K_{pt})^2.$$

*Trường hợp 3:* Phụ tải không đổi:  $t \rightarrow T$  nghĩa là chênh lệch giữa phụ tải cực tiểu và cực đại không đáng kể, ví dụ phụ tải của một nhà máy hóa dầu.

$$\text{Khi đó: } K_{ut} \rightarrow K_{pt} \rightarrow 1$$

Tổng quát, hệ số tổn thất ở trong khoảng:

$$K_{pt}^2 < K_{ut} < K_{pt}.$$

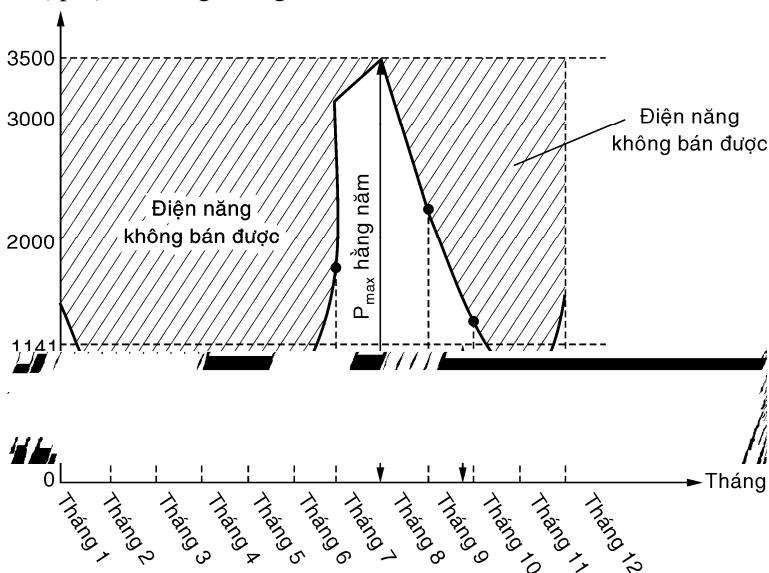
Hình 13.8 cho ba đường cong hệ số tổn thất theo hệ số phụ tải.

Hệ số tổn thất  $K_{ut}$  không thể xác định trực tiếp từ hệ số phụ tải, lý do là  $K_{ut}$  được xác định từ việc xem tổn thất là hàm của thời gian và tổn thất tỷ lệ với bình phương của phụ tải.

Buller và Woodrow đã đưa ra quan hệ gần đúng:

$$K_{ut} = 0,3K_{pt} + 0,7K_{pt}^2$$

**Ví dụ 13.7:** Giả thiết trạm biến áp phân phối cung cấp cho thị trấn phụ tải đỉnh hàng năm 3500 kW. Tổng điện năng cung cấp cho phát tuyến sơ cấp là 10.000.000 kWh. Phụ tải đỉnh xảy ra vào tháng 7,8. Đồ thị phụ tải hàng tháng H.13.9.



**Hình 13.9.**

- a) Tính yêu cầu công suất trung bình trong năm;
- b) Tính hệ số phụ tải hàng năm.

**Giải**

- a) Công suất trung bình hàng năm:

$$P_{tb,năm} = \frac{\text{Tổng điện năng trong năm}}{\text{Số giờ trong năm}} = \frac{10^7 \text{ kWh/năm}}{8760 \text{ giờ/năm}} = 1141 \text{ kW}$$

b) Hệ số phụ tải hàng năm:

$$K_{pt} = \frac{\text{Phụ tải trung bình}}{\text{Phụ tải đỉnh}} = \frac{1141}{3500} = 0,326$$

hay:

$$K_{pt} = \frac{A}{P_{max} \cdot 8760} = \frac{10^7 \text{ kWh/năm}}{3500 \text{ kW} \cdot 8760} = 0,326$$

**Ví dụ 13.8:** Giả thiết phụ tải hàng năm của phát tuyến sơ cấp là 2000 kW. Tổn thất công suất lúc phụ tải đỉnh  $\Delta P = 100$  kW. Tổng điện năng cung cấp ở đầu phát của phát tuyến là  $5,61 \times 10^6$  kWh.

a) Xác định hệ số tổn thất hàng năm;

b) Tính tổn thất điện năng hàng năm và chi phí do tổn thất với tiền điện là 0,03\$/kWh

**Giải**

a) Hệ số tổn thất cho bởi:

$$K_{tt} = 0,3 \cdot K_{pt} + 0,7 \cdot K_{pt}^2$$

trong đó:

$$K_{pt} = \frac{A}{P_{max} \cdot 8760} = 0,32$$

Suy ra:  $K_{tt} = 0,3 \cdot 0,32 + 0,7 \cdot 0,32^2 = 0,1681$

b) Theo định nghĩa của hệ số tổn thất:

$$K_{tt} = \frac{\text{Tổn thất công suất trung bình}}{\text{Tổn thất công suất lúc phụ tải}} = \frac{\Delta P_{tb}}{\Delta P_{max}}$$

Suy ra:  $\Delta P_{tb} = K_{tt} \cdot \Delta P_{max} = 0,1681 \cdot 100 = 16,81 \text{ kW}$

Tổn thất điện năng trong năm:

$$\Delta A = 16,81 \times 8760 = 147.000 \text{ kWh}$$

Chi phí do tổn thất điện năng:

$$Y_{\Delta A} = C \cdot \Delta A = 0,03 \times 147.000 = 4410 \text{ $/năm}$$

**Ví dụ 13.9:** Giả thiết một máy biến áp cung cấp cho ba phát tuyến. Yêu cầu cực đại 30 phút của mỗi phát tuyến cùng với hệ số công suất vào lúc phụ tải đỉnh được cho trong bảng.

Phát tuyến	Yêu cầu cực đại (kW)	Hệ số công suất
1	1800	0,95
2	2000	0,85
3	2200	0,90

Giả thiết hệ số phân tán giữa phụ tải các phát tuyến là 1,15 đối với công suất tác dụng và phản kháng.

a) Tính phụ tải yêu cầu cực đại 30 phút hàng năm của máy biến áp theo công suất tác dụng và biểu kiến.

b) Xác định lượng phân tán của phụ tải tác dụng

**Giải**

a) Hệ số phân tán của phụ tải cho bởi:

$$K_{\text{ptán}} = \frac{1800 + 2000 + 2200}{P_{\max\Sigma}} = 1,15$$

Do đó yêu cầu cực đại công suất tác dụng (có phân tán):

$$P_{\max\Sigma} = \frac{6000}{1,15} = 5217 \text{ kW}$$

Để tìm công suất biểu kiến kVA, trước hết tìm góc hệ số công suất:

$$\cos\varphi_1 = 0,95 \Rightarrow \varphi_1 = 18,2^0$$

$$\cos\varphi_2 = 0,85 \Rightarrow \varphi_2 = 31,79^0$$

$$\cos\varphi_3 = 0,9 \Rightarrow \varphi_3 = 25,84^0$$

Yêu cầu cực đại công suất phản kháng (có phân tán):

$$\begin{aligned} Q_{\max\Sigma} &= \left( \sum_{i=1}^3 P_{\max,i} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i \right) / K_{\text{ptán}} \\ &= \frac{1800 \cdot \operatorname{tg}18,2^0 + 2000 \cdot \operatorname{tg}31,79^0 + 2200 \cdot \operatorname{tg}25,84^0}{1,15} = 2518,8 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Suy ra:

$$S_{\max\Sigma} = \sqrt{P_{\max\Sigma}^2 + Q_{\max\Sigma}^2} = \sqrt{5217^2 + 2518,8^2} = 5793,6 \text{ kVA}$$

b) Lượng phân tán của phụ tải tác dụng:

$$LD = \Sigma P_{\max} - P_{\max\Sigma} = 6000 - 5217 = 783 \text{ kW}$$

### 13.5 SỐ THIẾT BỊ HIỆU QUẢ VÀ CÁCH XÁC ĐỊNH

Số thiết bị hiệu quả  $n_{hq}$  là số thiết bị giả thiết có cùng công suất và chế độ làm việc tạo nên phụ tải tính toán bằng với phụ tải tính toán của nhóm thiết bị thực tế (gồm n thiết bị có chế độ làm việc và công suất khác nhau)

Số thiết bị hiệu quả được tính toán theo công thức:

$$n_{hq} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n p_{dm,i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n p_{dm,i}^2} \quad (13.27)$$

Cách xác định  $n_{hq}$ :

1. Khi số thiết bị trong nhóm  $n \geq 4$  thì số thiết bị qui đổi  $n_{hq}$  lấy bằng số thực tế n nếu thỏa mãn điều kiện

$$m = \frac{p_{dm,max}}{p_{dm,min}} \leq 3 \quad (13.28)$$

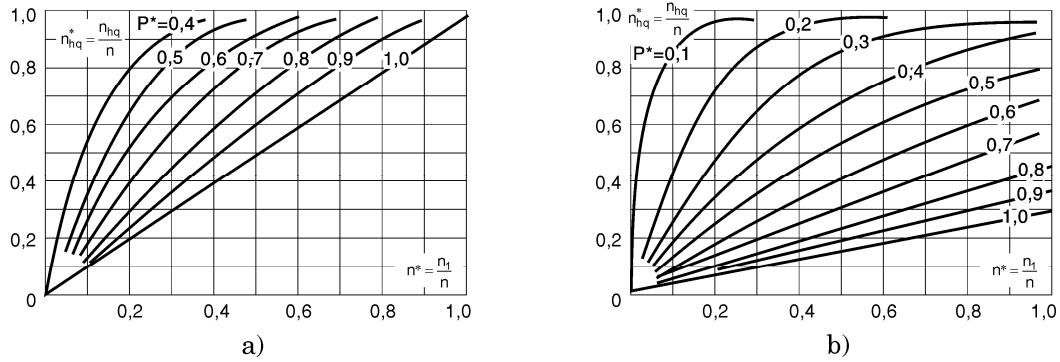
Khi xác định  $n_{hq}$  có thể bỏ qua các thiết bị nhỏ mà tổng công suất của chúng không vượt quá 5% tổng công suất định mức của toàn nhóm.

2. Khi  $m > 3$  và  $K_{sd} \geq 0,2$  thì số  $n_{hq}$  có thể xác định theo công thức:

$$n_{hq} = \frac{2 \sum_{i=1}^n p_{dm,i}}{p_{dm,max}} \quad (13.29)$$

Nếu tính ra  $n_{hq}$  lớn hơn  $n$  thì lấy  $n_{hq} = n$ .

3. Khi  $m > 3$  và  $K_{sd} < 0,2$  thì phải xác định  $n_{hq}$  bằng đường cong hay bằng số



**Hình 13.10:** Đồ thị  $n_{hq}^* = f(n^*, P^*)$

Trình tự xác định  $n_{hq}$  theo đường cong H.13.10 hay dùng bảng 13.3 theo thứ tự như sau:

- Tính:

$$n^* = \frac{n_1}{n} \quad P^* = \frac{P_1}{P} \quad (13.30)$$

trong đó:  $n$  - số thiết bị trong nhóm;  $n_1$  - số thiết bị có công suất định mức lớn hơn hay bằng một nửa công suất của thiết bị có công suất lớn nhất;  $P$  và  $P_1$  - tổng công suất ứng với  $n$  và  $n_1$  thiết bị.

- Tra bảng hoặc đường cong: ứng với  $n^*$  và  $P^*$  tìm được  $n_{hq}^*$

Các đường cong hay bảng tra được xây dựng theo công thức:

$$n_{hq}^* = \frac{0,95}{\frac{P^{*2}}{n^*} + \frac{(1-P^*)^2}{1-n^*}} \quad (13.31)$$

- Suy ra số thiết bị hiệu quả:

$$n_{hq} = n_{hq}^* \cdot n \quad (13.32)$$

Bảng 13.3. Bảng tra  $n_{hq}^*$  theo  $n^*$  và  $P^*$ 

$n^* = n_1/n$	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1		
0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007	0,009	0,010	0,011	0,013	0,015	0,017	0,019	0,021	0,024	0,030	0,039	0,051	0,073	0,11	0,18	0,34
0,01	0,009	0,011	0,012	0,013	0,015	0,017	0,019	0,023	0,026	0,031	0,037	0,047	0,059	0,076	0,10	0,14	0,20	0,32	0,52	0,52	0,71
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,19	0,26	0,36	0,51	0,71		
0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,27	0,36	0,48	0,64	0,81			
0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	0,22	0,34	0,44	0,57	0,72	0,86		
0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,18	0,22	0,26	0,41	0,51	0,61	0,79	0,90		
0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,20	0,24	0,28	0,33	0,40	0,40	0,57	0,68	0,79	0,89	0,94
0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,29	0,34	0,40	0,47	0,47	0,66	0,76	0,85	0,92	0,95
0,10	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,28	0,32	0,37	0,42	0,44	0,56	0,67	0,70	0,79	0,83	0,92	
0,15	0,14	0,16	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28	0,32	0,37	0,42	0,47	0,54	0,68	0,76	0,89	0,93	0,95				
0,20	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,42	0,47	0,54	0,64	0,71	0,78	0,85	0,93	0,95					
0,25	0,24	0,26	0,29	0,31	0,36	0,41	0,45	0,51	0,57	0,64	0,71	0,78	0,86	0,90	0,95						
0,30	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,48	0,53	0,60	0,66	0,75	0,80	0,86	0,90	0,95							
0,35	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94								
0,40	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,63	0,69	0,74	0,81	0,86	0,91	0,93									
0,45	0,43	0,44	0,44	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,81	0,87	0,91	0,93									
0,50	0,48	0,47	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,91	0,94	0,95										
0,55	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,87	0,91	0,94	0,95											
0,60	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94	0,95												
0,65	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94	0,95													
0,70	0,66	0,73	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95														
0,75	0,71	0,78	0,85	0,90	0,93	0,95															
0,80	0,70	0,83	0,89	0,94	0,95																
0,85	0,80	0,88	0,93	0,95																	
0,90	0,85	0,92																			
100	0,95																				

$P^* = P_{\text{lim}}/P_{\text{lim}}$

### Ví dụ 13.10

Xác định  $n_{hq}$  của nhóm thiết bị làm việc theo chế độ dài hạn, có công suất định mức như sau: 10 máy 0,6 kW, 5 máy 5,5 kW, 6 máy 7 kW, 5 máy 10 kW, 2 máy 15 kW. Hệ số sử dụng của nhóm thiết bị  $K_{sd} = 0,5$ .

#### Giải

Theo công thức chính xác của  $n_{hq}$ :

$$n_{hq} = \frac{(10 \cdot 0,6 + 5 \cdot 5,5 + 6 \cdot 7 + 5 \cdot 10 + 2 \cdot 15)^2}{10 \cdot (0,6)^2 + 5 \cdot (5,5)^2 + 6 \cdot (7)^2 + 5 \cdot (10)^2 + 2 \cdot (15)^2} = \frac{(155,5)^2}{1398,85} = 17,28$$

Tính theo gần đúng theo trường hợp 1:

Có thể bỏ qua 10 máy có công suất tổng là  $10 \times 0,6 = 6$  kW vì 6 kW nhỏ hơn 5% công suất tổng của nhóm (155,5 kW). Khi đó máy có công suất nhỏ nhất  $p_{dm,min} = 5,5$  kW, máy có công suất lớn nhất  $p_{dm,max} = 15$  kW.

$$m = \frac{15}{5,5} = 2,73 < 3$$

m thỏa điều kiện nên:

$$n_{hq} = 28 - 10 = 18 \text{ máy.}$$

### Ví dụ 13.11

Xác định  $n_{hq}$  của nhóm thiết bị có chế độ làm việc dài hạn, có công suất định mức như sau:

5 máy 20 kW, 5 máy 14 kW, 6 máy 10 kW, 5 máy 7 kW, 4 máy 4,5 kW, 5 máy 2,8 kW, 10 máy 1 kW. Hệ số sử dụng của nhóm thiết bị  $K_{sd} = 0,4$ .

#### Giải

Tổng số thiết bị trong nhóm:

$$n = 5 + 5 + 6 + 5 + 4 + 5 + 10 = 40$$

Tính:  $m = \frac{p_{dm,max}}{p_{dm,min}} = \frac{20}{1} = 20$

Vì  $m > 3$  và  $K_{sd} = 0,4 > 0,2$  nên áp dụng trường hợp 2

$$n_{hq} = \frac{2 \sum_{i=1}^n p_{dm,i}}{p_{dm,max}} = \frac{2 \times 307}{20} = 30,7$$

### Ví dụ 13.12

Xác định  $n_{hq}$  của nhóm thiết thiết bị làm việc ở chế độ làm việc dài hạn, có công suất định mức như sau:

4 máy 15 kW, 5 máy 8 kW, 4 máy 4,5 kW, 3 máy 2,8 kW, 20 máy 2 kW. Hệ số sử dụng của nhóm thiết bị  $K_{sd} = 0,1$ .

#### Giải

Xác định  $m = \frac{15}{2} = 7,5$ .

Khi  $m = 7,5$  và  $K_{sd} = 0,1$  thì không thể lấy bằng  $n$  được (theo trường hợp 1), mặt khác vì  $K_{sd} < 0,2$  nên không thể tính theo trường hợp 2. Vậy phải xác định theo trường hợp 3.

Số thiết bị có công suất định mức lớn hơn hay bằng một nữa công suất của thiết bị có công suất lớn nhất ( $15 \text{ kW}$ ):

$$n_1 = 4 + 5 = 9$$

Tổng công suất định mức của  $n_1$  thiết bị:

$$P_1 = 4 \cdot 15 + 5 \cdot 8 = 100 \text{ kW}$$

Tổng công suất định mức của toàn nhóm  $n$  thiết bị:

$$P = 4 \times 15 + 5 \times 8 + 4 \times 4,5 + 3 \times 2,8 + 20 \times 2 = 166,4 \text{ kW}$$

Tính:

$$n^* = \frac{n_1}{n} = \frac{9}{36} = 0,25$$

$$P^* = \frac{P_1}{P} = \frac{100}{166,4} = 0,6$$

Tra Bảng 13.3. với  $n^* = 0,25$  và  $P^* = 0,6$  có được  $n_{hq}^* = 0,57$

Suy ra:

$$n_{hq} = n_{hq}^* \cdot n = 0,57 \times 36 = 20,5$$

## 13.6 CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHỤ TẢI TÍNH TOÁN

Có nhiều phương pháp để xác định phụ tải tính toán. Những phương pháp đơn giản thì cho kết quả không thật chính xác, ngược lại nếu muốn chính xác hơn thì tính toán phức tạp. Tùy theo yêu cầu cụ thể và số liệu thu thập được mà chọn phương pháp thích hợp.

Sau đây trình bày một số các phương pháp thường dùng.

### 13.6.1 Xác định phụ tải tính toán theo công suất đặt và hệ số nhu cầu

Phụ tải tính toán của nhóm thiết bị có chế độ làm việc giống nhau được xác định theo công thức:

$$P_{tt} = K_{nc} \cdot P_{dm} \quad (13.33)$$

$$Q_{tt} = P_{tt} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (13.34)$$

$$S_{tt} = \sqrt{P_{tt}^2 + Q_{tt}^2} = \frac{P_{tt}}{\cos\varphi} \quad (13.35)$$

trong đó  $K_{nc}$  là hệ số nhu cầu của nhóm thiết bị, giá trị của nó có thể tham khảo ở sổ tay tra cứu

Khi hệ số công suất của các thiết bị trong nhóm không giống nhau thì có thể tính hệ số công suất của nhóm theo công thức:

$$\cos\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n p_{dm,i}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n p_{dm,i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n q_{dm,i}\right)^2}} \quad (13.36)$$

với  $q_{dm,i} = p_{dm,i} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i$ ,  $n$  là số thiết bị trong nhóm.

hoặc tính gần đúng  $\cos\varphi$  trung bình theo công thức:

$$\cos\varphi = \frac{p_{dm1} \cos\varphi_1 + p_{dm2} \cos\varphi_2 + \dots + p_{dmn} \cos\varphi_n}{p_{dm1} + p_{dm2} + \dots + p_{dm,n}} \quad (13.37)$$

Phụ tải tính toán tại một nút của hệ thống cung cấp điện (phân xưởng, xí nghiệp...) bằng tổng các phụ tải tính toán của các nhóm thiết bị có nối vào nút đó nhưng có xét đến hệ số đồng thời:

$$S_{tt} = K_{dt} \cdot \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n P_{tt,i} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^n Q_{tt,i} \right)^2} \quad (13.38)$$

trong đó n là số nhóm thiết bị ;  $K_{dt}$  là hệ số đồng thời.

### Ví dụ 13.13

Xác định phụ tải tính toán của các nhóm thiết bị của một phân xưởng, các nhóm có chế độ làm việc khác nhau. Công suất đặt, hệ số nhu cầu  $K_{nc}$ , hệ số công suất  $\cos\varphi$  cho trong Bảng 13.4. Kết quả tính toán cũng cho trong bảng.

Có thể tính hệ số nhu cầu của toàn phân xưởng:

$$K_{nc,px} = \frac{P_{tt,px}}{P_{dm,px}} = \frac{239,13}{376,9} = 0,63$$

Hệ số công suất của toàn phân xưởng:

$$\cos\varphi_{px} = \frac{P_{tt,px}}{S_{tt,px}} = \frac{239,13}{318,17} = 0,75$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{px} = 0,88$$

Kết quả  $\cos\varphi_{px}$  và  $\operatorname{tg}\varphi_{px}$  được ghi trong bảng.

Bảng 13.4

Số thứ tự nhóm	Số thiết bị	Tổng công suất đặt (kW)	Hệ số nhu cầu $K_{nc}$	$\cos\varphi$ $\operatorname{tg}\varphi$	Công suất tính toán		
					$P_{tt} = K_{nc} \cdot P_{dm}$ (kW)	$Q_{tt} = P_{tt} \cdot \operatorname{tg}\varphi$ (kVAr)	$S_{tt} = \sqrt{P_{tt}^2 + Q_{tt}^2}$ (kVA)
I	16	191,4	0,8	$\frac{0,75}{0,882}$	153,1	135	
II	2	9	0,35	$\frac{0,5}{1,732}$	3,2	5,5	
III	23	158,5	0,6	$\frac{0,75}{0,882}$	95	83,8	
IV	8	18	0,8	$\frac{0,85}{0,62}$	14,4	8,9	
Phụ tải tổng của 4 nhóm	49	376,9	Hệ số đồng thời $K_{dt} = 0,9$	$P_{tt,px} = K_{dt} \cdot \sum_{i=1}^4 P_{tt,nhóm} = 0,9 \cdot 265,7 = 239,13 \text{ kW}$	$Q_{tt,px} = K_{dt} \cdot \sum_{i=1}^4 Q_{tt,nhóm} = 0,9 \cdot 233,2 = 209,88 \text{ kVAr}$	$S_{tt,px} = \sqrt{P_{tt,px}^2 + Q_{tt,px}^2} = 318,17 \text{ kVA}$	

Phương pháp tính phụ tải tính toán theo công suất đặt và hệ số nhu cầu có ưu điểm là đơn giản, tính toán thuận tiện. Nhược điểm chủ yếu của phương pháp là kém chính xác vì hệ số nhu cầu tra ở sổ tay là một số liệu cố định, thực tế hệ số này phụ thuộc vào chế độ vận hành và số thiết bị trong nhóm. Vì vậy đây là phương pháp gần đúng sơ bộ.

### 13.6.2 Xác định phụ tải tính toán theo suất chỉ tiêu sản xuất

#### a) Xác định phụ tải tính toán theo suất tiêu hao điện năng trên một đơn vị sản phẩm

Đối với phụ tải có đồ thị phụ tải rất ít thay đổi (như quạt gió, bơm nước, máy nén, thiết bị điện phân, xí nghiệp giấy, xí nghiệp hóa chất ...) thì có thể dùng phương pháp này để xác định phụ tải tính toán với phụ tải tính toán bằng phụ tải trung bình trong ca mang tải lớn nhất:

$$P_{tt} = P_{tb,ca} = \frac{a_0 \cdot M_{ca}}{T_{ca}} \quad (13.39)$$

trong đó:

$a_0$ : suất tiêu hao điện năng trên một đơn vị sản phẩm (kWh/sản phẩm);

$M_{ca}$ : số lượng sản phẩm sản xuất được trong một ca;

$T_{ca}$ : thời gian làm việc của ca mang tải lớn nhất (giờ).

Khi biết số sản phẩm sản xuất hàng năm thì phụ tải tính toán được xác định như sau:

$$P_{tt} = \frac{A}{T_{max}} = \frac{a_0 \cdot M}{T_{max}} \quad (13.40)$$

trong đó:

$A$ : điện năng tiêu thụ trong một năm;

$M$ : số sản phẩm sản xuất được trong một năm;

$T_{max}$ : thời gian sử dụng công suất cực đại.

#### Ví dụ 13.14

Tính phụ tải tính toán của nhóm máy nén khí. Biết một năm sản xuất được  $400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  khí nén, để nén  $1 \text{ m}^3$  khí cần  $0,15 \text{ kWh}$  điện năng, thời gian  $T_{max} = 7000$  giờ.

#### Giải

Thời gian  $T_{max}$  lớn chứng tỏ đồ thị phụ tải của máy nén gần như không đổi. Phụ tải tính toán cho bởi:

$$P_{tt} = \frac{400 \cdot 10^6 \cdot 0,15}{7000} = 8570 \text{ kW.}$$

#### b) Xác định phụ tải tính toán theo công suất phụ tải trên một đơn vị diện tích sản xuất

Với những phân xưởng sản xuất có nhiều thiết bị phân bố tương đối đều trên mặt bằng như phân xưởng may, phân xưởng dệt ... có thể áp dụng phương pháp này để xác định phụ tải tính toán:

$$P_{tt} = p_0 \cdot F$$

trong đó:

$p_0$ : suất công suất tính toán trên  $1 \text{ m}^2$  diện tích sản xuất ( $\text{kW/m}^2$ );

$F$ : diện tích bố trí thiết bị ( $\text{m}^2$ ).

Phương pháp xác định phụ tải tính toán theo suất chỉ tiêu sản xuất là phương pháp gần

đúng và theo kinh nghiệm.

### 13.6.3 Xác định phụ tải tính toán theo công suất trung bình và hệ số cực đại

Phương pháp này còn gọi là phương pháp xác định phụ tải tính toán theo số thiết bị hiệu quả

$$P_{\text{tt}} = K_{\max} \cdot P_{\text{tb}} = K_{\max} \cdot K_{\text{sd}} \cdot P_{\text{dm}} \quad (13.41)$$

Hệ số sử dụng  $K_{\text{sd}}$  có thể tra trong sổ tay, hệ số cực đại  $K_{\max}$  tính theo mục 13.4 dùng đồ thị H.13.1 hay bảng 13.2.

Phương pháp này cho kết quả tương đối chính xác vì khi xác định số thiết bị hiệu quả  $n_{\text{hq}}$  đã có xét ảnh hưởng của số thiết bị và chế độ làm việc của các thiết bị.

Khi tính toán phụ tải theo phương pháp này, một số trường hợp tính gần đúng như sau:

1. Trường hợp  $n \leq 3$  và  $n_{\text{hq}} < 4$ , phụ tải tính toán được tính theo công thức:

$$P_{\text{tt}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{dm},i} \quad (13.42)$$

$$Q_{\text{tt}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{dm},i} \cdot \text{tg}\varphi_i \quad (13.43)$$

2. Trường hợp  $n > 3$  và  $n_{\text{hq}} < 4$  thì phụ tải tính toán cho bởi:

$$P_{\text{tt}} = \sum_{i=1}^n k_{\text{pt},i} \cdot p_{\text{dm},i} \quad (13.44)$$

$$Q_{\text{tt}} = \sum_{i=1}^n k_{\text{pt},i} \cdot p_{\text{dm},i} \cdot \text{tg}\varphi_i \quad (13.45)$$

trong đó: n: số thiết bị

$k_{\text{pt},i}$ : hệ số phụ tải của thiết bị thứ i.

3. Trường hợp phụ tải có đồ thị phụ tải không đổi:

$$P_{\text{tt}} = P_{\text{tb}} \quad (13.46)$$

$$Q_{\text{tt}} = Q_{\text{tb}} \quad (13.47)$$

4. Dùng đồ thị H.13.1 hay Bảng số 13.2 chỉ cho đến  $n_{\text{hq}} = 300$ . Nếu  $n_{\text{hq}} > 300$  và  $K_{\text{sd}} < 0,5$  thì hệ số cực đại  $K_{\max}$  tra theo  $n_{\text{hq}} = 300$ . Nếu  $n_{\text{hq}} > 300$  và  $K_{\text{sd}} \geq 0,5$  thì:

$$P_{\text{tt}} = 1,05 \cdot K_{\text{sd}} \cdot P_{\text{dm}} \quad (13.48)$$

5. Nếu có thiết bị một pha thì phải cố gắng phân bổ đều công suất lên ba pha.

#### Ví dụ 13.15

Hãy xác định phụ tải tính toán của một nhóm thiết bị được cung cấp từ một tủ động lực trong phân xưởng sửa chữa cơ khí gồm các thiết bị sau:

Tên máy	Số lượng	$P_{\text{dm}}$ (kW)	$\cos\varphi$
Máy tiện	4	10	0,7
Máy tiện	5	7	0,6
Máy tiện	4	4,5	0,65
Máy khoan	5	2,8	0,5
Máy khoan	20	1	0,5

Hệ số sử dụng của nhóm máy là  $K_{\text{sd}} = 0,1$ .

### Giải

*Bước 1:* Xác định số thiết bị làm việc hiệu quả:

Số máy trong nhóm  $n = 38$

Số thiết bị có công suất lớn hơn hay bằng một nửa công suất của thiết bị có công suất lớn nhất ( $\geq 5 \text{ kW}$ ):  $n_1 = 9$

$$n^* = \frac{n_1}{n} = \frac{9}{38} = 0,23$$

Tổng công suất định mức của  $n$  thiết bị trong nhóm:  $P = 127 \text{ kW}$

Tổng công suất của  $n_1$  thiết bị:  $75 \text{ kW}$

$$P^* = \frac{75}{127} = 0,59$$

Tra đồ thị H.13.10 hay bảng 13.3 có được  $n_{hq*} = 0,56$ .

Suy ra số thiết bị hiệu quả:  $n_{hq} = n_{hq*} \cdot n = 0,56 \times 38 = 21,2$

*Bước 2:* Xác định hệ số cực đại  $K_{\max}$  và công suất tính toán.

Tra Bảng 13.2 hay đồ thị H.13.1., ứng với  $K_{sd} = 0,1$  và  $n_{hq} = 21,2$  có được  $K_{\max} = 1,82$

Phụ tải tính toán cho bởi:

$$P_{tt} = K_{\max} \cdot P_{tb} = K_{\max} \cdot K_{sd} \cdot \sum_{i=1}^n p_{dm,i} = 1,82 \cdot 0,1 \cdot 127 = 23,1 \text{ kW.}$$

$$\text{Hệ số công suất trung bình: } \cos \varphi_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{dm,i} \cdot \cos \varphi_i}{\sum_{i=1}^n p_{dm,i}} = \frac{77,7}{127} = 0,61$$

Phụ tải phản kháng tính toán:  $Q_{tt} = P_{tt} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{tb} = 23,1 \cdot 1,299 = 30 \text{ kVAr}$

$$\text{Phụ tải biểu kiến tính toán: } S_{tt} = \frac{P_{tt}}{\cos \varphi_{tb}} = \frac{23,1}{0,61} = 37,86 \text{ kVA.}$$

Hướng dẫn sử dụng các phương pháp xác định phụ tải tính toán:

- Khi tính phụ tải tính toán cho từng nhóm máy ở mạng điện áp thấp ( $U < 1000 \text{ V}$ ) trong phân xưởng nên dùng phương pháp tính theo hệ số cực đại  $K_{\max}$  vì phương pháp này cho kết quả tương đối chính xác.

- Khi phụ tải phân bố tương đối đều trên diện tích sản xuất hoặc có số liệu về suất tiêu hao điện năng cho một đơn vị sản phẩm thì dùng phương pháp suất chỉ tiêu sản xuất.

- Khi tính toán sơ bộ phụ tải tiêu thụ (phân xưởng, xí nghiệp, khu vực, thành phố...) nên dùng phương pháp hệ số nhu cầu  $K_{nc}$ .

### 13.7 XÁC ĐỊNH PHỤ TẢI ĐỈNH NHỌN

Phụ tải đỉnh nhọn là phụ tải cực đại ngắn hạn trong khoảng thời gian từ 1 đến 2 giây. Phụ tải đỉnh nhọn thường được biểu diễn dưới dạng dòng điện  $I_{dn}$ . Tính  $I_{dn}$  để kiểm tra độ lệch điện áp, chọn khí cụ bảo vệ, tính toán tự khởi động động cơ.

Dòng điện đỉnh nhọn xuất hiện khi mở máy động cơ, dòng điện xung của lò điện, máy biến áp hàn.

Đối với một máy, dòng định nhọn bằng dòng mở máy:

$$I_{dn} = I_{mm} = k_{mm} \cdot I_{dm} \quad (13.49)$$

trong đó  $k_{mm}$  – bội số dòng mở máy của động cơ.

Khi không có số liệu chính xác, bội số dòng mở máy có thể lấy gần đúng như sau:

- Đối với động cơ một chiều:  $k_{mm} = 2,5$ ;
- Đối với động cơ cảm ứng:  $k_{mm} = 5 - 7$ ;
- Đối với lò điện hồ quang, máy biến áp hàn:  $k_{mm} \geq 3$  (không qui về chế độ dài hạn).

Đối với một nhóm máy, dòng điện định nhọn được xác định khi máy có dòng điện mở máy lớn nhất khởi động, còn các máy còn lại đang làm việc bình thường:

$$I_{dn} = i_{mm(max)} + (I_{tt} - k_{sd} \cdot i_{dm(max)}) \quad (13.50)$$

trong đó:  $i_{mm(max)}$ : dòng điện mở máy lớn nhất trong nhóm;

$i_{dm(max)}$ : dòng điện định mức của động cơ có dòng mở máy lớn nhất (đã qui về chế độ dài hạn nếu nó làm việc ngắn hạn lặp lại);

$k_{sd}$ : hệ số sử dụng của động cơ có dòng mở máy lớn nhất;

$I_{tt}$ : dòng điện tính toán của nhóm thiết bị đang xét.

### Ví dụ 13.16

Tính dòng điện định nhọn của đường dây cung cấp cho cần trục có các động cơ như sau:

Động cơ	P <sub>dm</sub> (kW)	ε%	cosφ	I <sub>dm</sub> (A)	k <sub>sd</sub>	k <sub>mm</sub>
Nâng hàng	12	15	0,76	27,5	0,1	5,5
Di chuyển xe dọc cầu trục	4	15	0,72			
Quay cầu trục	8	15	0,75			

Điện áp lưới điện 380 V, ba pha.

### Giải

Với số thiết bị  $n = 3$ , phụ tải tính toán qui về chế độ dài hạn cho bởi:

$$P_{tt} = \sum_{i=1}^3 p_{dm,i} \cdot \sqrt{\epsilon_i \% / 100} = (12 + 4 + 8) \cdot \sqrt{0,15} = 9,3 \text{ kW}$$

$$Q_{tt} = \sum_{i=1}^3 p_{dm,i} \cdot \operatorname{tg}\phi_i \cdot \sqrt{\epsilon_i \% / 100} \\ = (12 \cdot 0,86 + 4 \cdot 0,96 + 8 \cdot 0,88) \cdot \sqrt{0,15} = 8,21 \text{ kVAr}$$

$$S_{tt} = \sqrt{(9,3)^2 + (8,21)^2} = 12,4 \text{ kVA}$$

$$I_{tt} = \frac{12,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,83 \text{ A}$$

Động cơ nâng hàng có dòng điện mở máy lớn nhất:

$$I_{mm(max)} = k_{mm} \cdot I_{dm} = 5,5 \cdot 27,5 = 151 \text{ A}$$

Dòng định mức của động cơ nâng hàng qui về chế độ dài hạn:

$$i_{dm,max} = i_{dm(dài hạn)} = 27,5 \cdot \sqrt{0,15} = 10,6 \text{ A}$$

Dòng điện định nhọn của nhóm động cơ:

$$I_{dn} = I_{mm(max)} + (I_{tt} - k_{sd} \cdot i_{dm(max)}) \\ = 151 + (18,83 - 0,1 \cdot 10,6) = 168,7 \text{ A.}$$

### 13.8 TRÌNH TỰ TÍNH TOÁN PHỤ TẢI ĐIỆN Ở CÁC CẤP TRONG HỆ THỐNG

Khi có một hệ thống điện cụ thể, cần xác định phụ tải ở các cấp điện áp. Ngoài việc xác định phụ tải tính toán bằng các phương pháp nêu trên phải kể đến tổn thất công suất qua các cấp điện áp trong hệ thống.

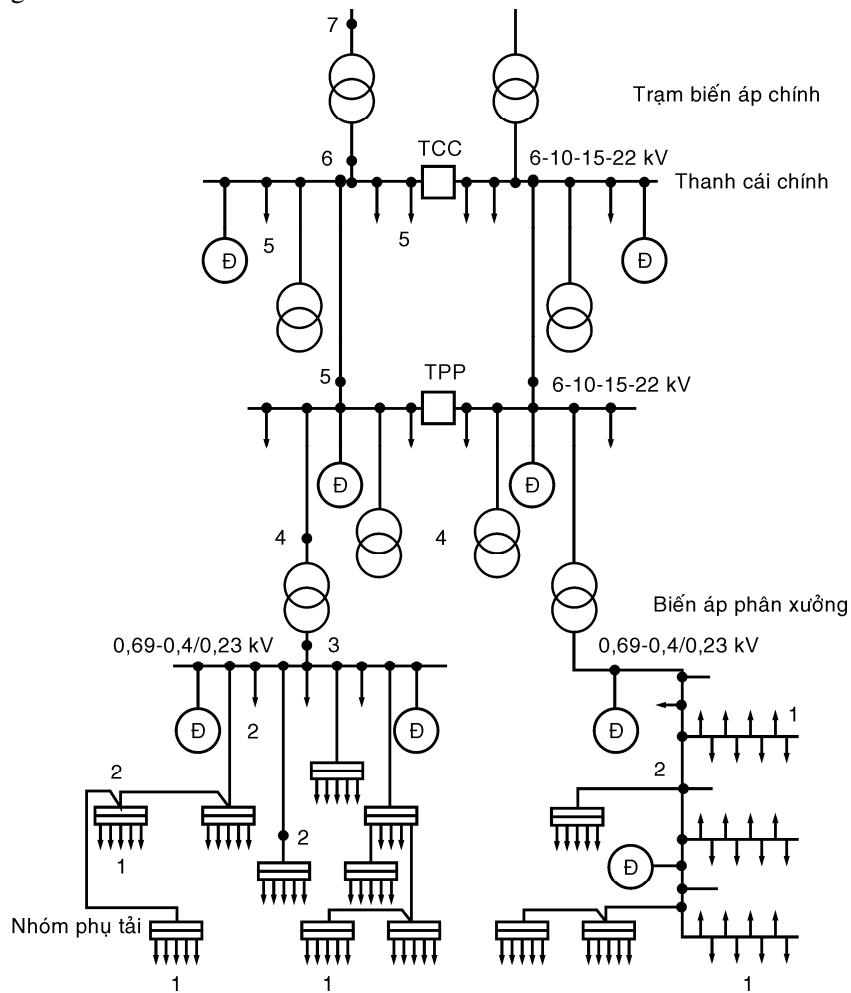
Nguyên tắc chung để tính phụ tải của hệ thống điện là tính từ thiết bị dùng điện ngược về nguồn.

Giả thiết có một hệ thống cung cấp điện có sơ đồ trong H.13.11.

Trình tự tính toán như sau:

- Điểm 1 cung cấp trực tiếp cho các thiết bị điện. Ở cấp này xác định chế độ làm việc của các thiết bị điện, các hệ số tính toán  $k_{sd}$ ,  $k_{pt}$ ... Xác định phụ tải tính toán của từng thiết bị điện dùng để chọn dây dẫn hay cáp nối từ tủ động lực đến thiết bị và khí cụ bảo vệ, điều khiển thiết bị điện.

- Phụ tải điểm 2. Dùng một trong các phương pháp trong mục 13.6 để để xác định phụ tải tính toán của từng nhóm phụ tải, nên dùng phương pháp tính theo hệ số  $K_{max}$ . Phụ tải ở điểm này  $S_2 = P_2 + jQ_2$  dùng để chọn dây dẫn hay cáp cung cấp cho nhóm thiết bị và để chọn thiết bị bảo vệ, đóng cắt.



Hình 13.11: Hệ thống cung cấp điện

3. Phụ tải điểm 3. Xác định phụ tải tính toán tại thanh cái hạ áp của máy biến áp phân xưởng:

$$\boxed{S_3} = K_{dt} \cdot \sum (\boxed{S_2} + \Delta \boxed{S_2}) \quad (13.51)$$

trong đó:  $K_{dt}$  - hệ số đồng thời;  $\Delta \boxed{S_2}$  - tổn thất công suất trên dây dẫn nối từ thanh cái hạ áp đến điểm 2.

Trị số này dùng để chọn số lượng và công suất của máy biến áp phân xưởng, chọn thanh gốp, thiết bị đóng cắt phía hạ áp của máy biến áp.

4. Phụ tải điểm 4. Xác định phụ tải tính toán phía cao áp của trạm biến áp phân xưởng

$$\boxed{S_4} = \boxed{S_3} + \Delta \boxed{S_B} \quad (13.52)$$

trong đó:  $\Delta \boxed{S_B}$  - tổn thất công suất trong máy biến áp phân xưởng.

Trị số  $S_4$  dùng để chọn dây cáp cung cấp điện cho trạm biến áp phân xưởng từ thanh cái trạm phân phối chính.

5. Phụ tải điểm 5. Xác định phụ tải tính toán tại từng phân đoạn thanh cái trạm phân phối chính. Phụ tải này bao gồm các phụ tải của các trạm biến áp phân xưởng cộng với tổn thất đường dây, phụ tải của các thiết bị làm việc với điện áp cao mắc trực tiếp vào phân đoạn trạm phân phối chính.

$$\boxed{S_5} = K_{dt} \cdot \sum (\boxed{S_4} + \Delta \boxed{S_4}) \quad (13.53)$$

trong đó:  $K_{dt}$  - hệ số đồng thời ;  $\Delta \boxed{S_4}$  - tổn thất công suất trên đường dây từ thanh cái trạm phân phối chính đến biến áp phân xưởng (điểm 4).

Trị số  $S_5$  dùng để chọn thanh cái trạm phân phối, chọn dây cung cấp điện từ trạm biến áp chính đến thanh cái đó, chọn thiết bị đóng cắt.

6. Phụ tải điểm 6. Phụ tải tính toán tại thanh cái thứ cấp 6 – 22 kV của trạm giảm áp chính của nhà máy. Phụ tải này bao gồm phụ tải của trạm phân phối cộng với tổn thất đường dây và các phụ tải nối trực tiếp vào thanh cái thứ cấp của trạm biến áp chính

$$\boxed{S_6} = K_{dt} \cdot \sum (\boxed{S_5} + \Delta \boxed{S_5}) \quad (13.54)$$

trong đó:  $K_{dt}$  - hệ số đồng thời ;  $\Delta \boxed{S_5}$  - tổn thất công suất trên đường dây từ thanh cái trạm biến áp chính đến thanh cái trạm phân phối (điểm 5).

Trị số  $\boxed{S_6}$  dùng để chọn thanh cái thứ cấp trạm giảm áp chính, chọn công suất máy biến áp, chọn thiết bị đóng cắt.

7. Phụ tải điểm 7. Phụ tải tính toán phía cao áp trạm giảm áp chính. Phụ tải này gồm phụ tải phía thứ cấp cộng với tổn thất công suất trong máy biến áp của trạm

$$\boxed{S_7} = \boxed{S_6} + \Delta \boxed{S_B} \quad (13.55)$$

trong đó:  $\Delta \boxed{S_B}$  - tổn thất công suất trong máy biến áp của trạm biến áp chính.

$\boxed{S_7}$  dùng để chọn dây dẫn cung cấp cho trạm và thiết bị đóng cắt phía cao áp.

Khi xác định phụ tải tính toán cần quan tâm đến đồ thị phụ tải của phân xưởng hay của toàn xí nghiệp, lượng điện năng dùng cho sản xuất sẽ tăng lên theo thời gian nghĩa là phụ tải có thể tăng lên trong vòng 5 đến 10 năm tới.

### 13.9 SỰ PHÁT TRIỂN CỦA PHỤ TẢI ĐIỆN

Sự phát triển của phụ tải của một khu vực cung cấp bởi một công ty điện lực là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự phát triển của hệ thống phân phối. Do đó, dự báo phát triển phụ tải là cơ bản của bài toán qui hoạch.

Kỹ thuật dự báo đòi hỏi việc ứng dụng các dạng biến đổi dữ liệu thích hợp. Phương trình đường thẳng thường không phù hợp với số liệu gốc nhưng phù hợp với logarit của số liệu và có thể biểu diễn bởi dạng hàm mũ:  $y_t = a \cdot b^x$

Biểu thức trên còn gọi là phương trình tăng trưởng và thường được dùng để giải thích hiện tượng tăng trưởng của một đại lượng theo thời gian. Chẳng hạn, nếu biết suất tăng trưởng hàng năm của phụ tải thì có thể xác định phụ tải vào cuối năm thứ n theo biểu thức:

$$P_n = P_0(1+g)^n$$

trong đó:  $P_n$ : phụ tải vào cuối năm thứ n;  $P_0$ : phụ tải ban đầu;

$g$ : suất tăng trưởng hàng năm của phụ tải;  $n$ : số năm.

Nếu đặt  $P_n = y_t$ ,  $P_0 = a$ ,  $1 + g = b$  thì phương trình tăng trưởng có dạng hàm mũ.

### BÀI TẬP CHƯƠNG 13

**13.1.** Dùng số liệu trong Ví dụ 13.6 và giả thiết phát tuyến có tổn thất công suất cực đại bằng 72 kW vào lúc phụ tải đỉnh và hệ số tổn thất hàng năm là 0,14. Hãy xác định:

- a) Phụ tải trung bình hàng ngày của phát tuyến;
- b) Tổn thất công suất trung bình của phát tuyến;
- c) Tổn thất điện năng hàng năm của phát tuyến.

ĐS: a) 1112,5 kW; b) 10,08 kW; c) 88300,8 kWh.

**13.2.** Dùng số liệu trong Ví dụ 13.6 và định nghĩa của hệ số phụ tải. Hãy xác định hệ số phụ tải.

ĐS:  $k_{pt} = 0,618$ .

**13.3.** Dùng số liệu cho trong Ví dụ 13.6 và giả thiết phụ tải định mức (yêu cầu có nối đến hệ thống) đối với tải đèn đường, tải gia dụng, tải thương mại lần lượt bằng 110, 2000 và 2000 kW. Hãy xác định:

- a) Hệ số yêu cầu của tải đèn đường;
- b) Hệ số yêu cầu của tải gia dụng;
- c) Hệ số yêu cầu của tải thương mại;
- d) Hệ số yêu cầu của phát tuyến.

ĐS: a) 0,91 b) 0,5 c) 0,6 d) 0,438.

**13.4.** Cho một nhóm thiết bị được cung cấp từ tủ động lực, điện áp ba pha 0,4 kV có số liệu cho trong bảng:

Tên thiết bị	Số lượng	Công suất đặt, kW	$I_{dm}$ , A	Hệ số sử dụng, $k_{sd}$	$\frac{\cos\phi}{\tg\phi}$
Máy cưa	1	1	2,53	0,16	0,6/1,33
Khoan bàn	2	0,65 x 2	1,65 x 2	0,16	0,6/1,33
Máy mài thô	1	2,3	5,82	0,16	0,6/1,33
Máy khoan đứng	1	4,5	11,39	0,16	0,6/1,33
Máy bào ngang	1	4,5	11,39	0,16	0,6/1,33
Máy xoc	1	2,8	7,09	0,16	0,6/1,33

Hãy xác định số thiết bị làm việc hiệu quả, hệ số cực đại, công suất tác dụng, công suất phản kháng, công suất biểu kiến và dòng điện tính toán.

ĐS: 5 ; 2,87 ; 7,53 kW ; 10,04 kVAr ; 12,55 kVA ; 19,06 A.

## **Chương 14**

# **TRUYỀN TẢI ĐIỆN MỘT CHIỀU CAO ÁP (HVDC)**

### **14.1 GIỚI THIỆU**

Truyền tải điện một chiều cao áp (HVDC) có nhiều thuận lợi hơn truyền tải điện xoay chiều trong một số trường hợp đặc biệt. Áp dụng thương mại đầu tiên của truyền tải điện một chiều là đường dây nối liền giữa đất liền của Thụy Điển và đảo Gotland vào năm 1954. Kể từ đó việc áp dụng HVDC có được bước phát triển không ngừng.

Với sự ra đời của van thyristor, truyền tải điện HVDC trở nên hấp dẫn hơn. Hệ thống HVDC đầu tiên dùng van thyristor thực hiện năm 1972 gồm nối kết “lưng kề lưng” (back-to-back) giữa các hệ thống New Brunswick và Quebec của Canada. Van thyristor trở thành phần tử chính của các trạm biến đổi một chiều. Các thiết bị biến đổi ngày nay có kích thước trở nên gọn và giá thành giảm.

Truyền tải HVDC đã được áp dụng trong các trường hợp sau:

1. Cáp ngầm dưới nước có chiều dài hơn 30 km. Truyền tải điện xoay chiều sẽ không thực tế đối với khoảng cách dài do điện dung của cáp lớn đòi hỏi phải có các trạm bù trung gian.
2. Nối kết không đồng bộ giữa hai hệ thống xoay chiều khi mà các đường dây nối xoay chiều là không khả thi vì lý do ổn định hệ thống hay có sự khác nhau về tần số định mức của hai hệ thống.
3. Truyền tải một lượng công suất lớn trên khoảng cách xa bằng đường dây trên không. Truyền tải HVDC là một phương án cạnh tranh được với truyền tải điện xoay chiều đối với khoảng cách dài hơn 600 km.
4. Sự nối kết các hệ thống cùng tần số qua đường dây có chiều dài bằng không (nối kết “lưng kề lưng”), các trạm chỉnh lưu và nghịch lưu được nối kề nhau. Điều này cho phép nối kết hai hệ thống xoay chiều mà không làm tăng dòng ngắn mạch trong hệ thống.
5. Hệ thống HVDC được dùng để tải công suất từ một trạm lớn từ xa đến trung tâm phụ tải cách đó vài trăm km. Nếu có sự cố trong hệ thống xoay chiều thì các máy phát ở nguồn phát sẽ không cắt ra vì đường kết nối DC không đồng bộ sẽ cô lập nhà máy với hệ thống AC.
6. Liên kết giữa các hệ thống lớn: nhằm trao đổi liên tục công suất với các hệ thống lân cận bất chấp có biến đổi về điện áp và tần số. Các liên kết DC đảm bảo sự tồn tại hoạt động của các đường nối trong những tình trạng nghiêm ngặt nhất của các lưới điện cấu thành.

Các hệ thống HVDC có khả năng điều khiển nhanh chóng công suất truyền tải vì vậy chúng có ảnh hưởng lớn đến ổn định khi liên kết với hệ thống xoay chiều. Quan trọng hơn nữa, việc thiết kế thích hợp hệ thống điều khiển HVDC là cơ bản để đảm bảo vận hành thỏa mãn trên toàn hệ thống DC/AC.

Chương này sẽ đưa ra giới thiệu tổng quát về các nguyên tắc vận hành và điều khiển cơ

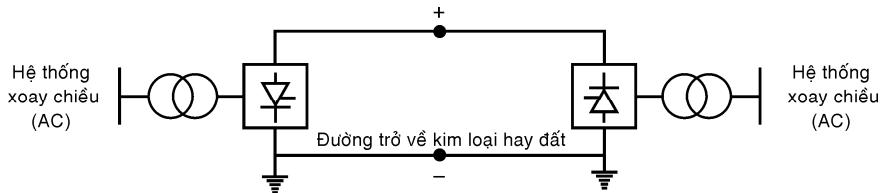
bản của hệ thống HVDC và mô tả mô hình của chúng đối với khảo sát phân bố công suất cũng như khảo sát ổn định và xem xét chi tiết hệ thống có hai đầu.

## 14.2 CẤU HÌNH HỆ THỐNG HVDC VÀ CÁC PHẦN TỬ

Các kết nối DC được phân làm ba loại chính:

- Kết nối đơn cực;
- Kết nối lưỡng cực;
- Kết nối đồng cực.

Cấu hình cơ bản của một kết nối đơn cực được trình bày trong hình H.14.1. Hệ thống này dùng một dây dẫn, thường có cực tính âm. Đường trở về có thể dùng đất hay nước. Các khảo sát về chi phí thường đi đến việc dùng hệ thống này nhất là truyền tải bằng cáp ngầm. Cấu hình này là giai đoạn thứ nhất của việc phát triển sang cấu hình lưỡng cực.



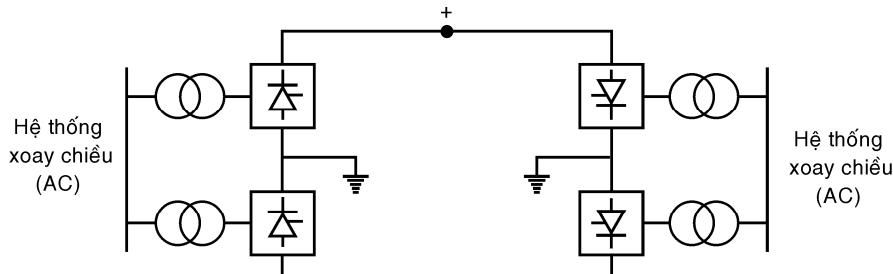
**Hình 14.1:** Kết nối đơn cực

Thay vì dùng đường trở về qua đất, có thể dùng đường trở về bằng kim loại trong trường hợp điện trở đất quá lớn và có thể gây nhiễu loạn đến các công trình ngầm bằng kim loại khác. Dây dẫn kim loại tạo đường về có điện áp thấp.

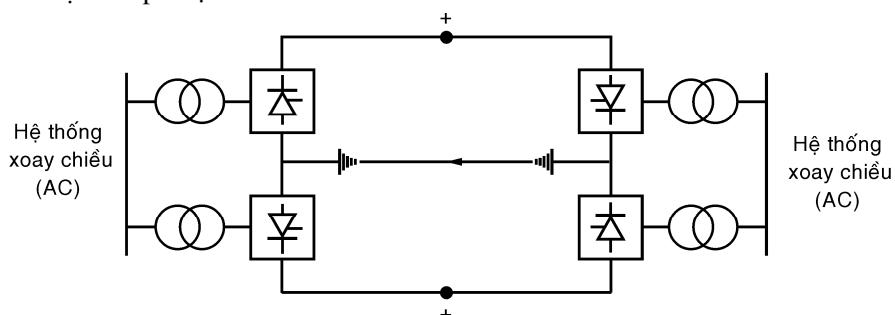
Kết nối lưỡng cực được trình bày trong hình (H.14.2). Kết nối này có hai dây, một dương và một âm. Mỗi đầu có đều có bộ biến đổi có điện áp định mức bằng nhau mắc nối tiếp về phía điện một chiều. Điểm nối giữa hai bộ biến đổi được nối đất. Lúc bình thường, dòng điện trên hai cực bằng nhau, dòng qua đất bằng không. Hai cực có thể vận hành độc lập nhau. Nếu một cực bị cô lập do sự cố trên dây dẫn, cực kia vẫn có thể hoạt động với đất là đường trở về và mang một nửa tải.

Theo quan điểm chống sét, đường dây lưỡng cực được xem như hiệu quả tương đương với đường dây xoay chiều hai mạch. Trong vận hành bình thường có ít nhiễu do họa tần đến các công trình lân cận so với đường đơn cực. Việc đảo chiều công suất được thực hiện bằng cách thay đổi cực tính của hai cực thông qua điều khiển.

Trong trường hợp dòng điện tản qua đất không được thuận lợi hay không thực hiện tốt việc nối đất do điện trở đất quá cao thì có thể dùng một dây dẫn thứ ba làm đường trở về cho dòng điện khi có một cực ngừng hoạt động hoặc khi có sự không cân bằng lúc vận hành hai cực. Dây dẫn thứ ba yêu cầu mức cách điện thấp và còn được dùng làm dây bảo vệ chống sét đối với đường dây trên không.

**Hình 14.2:** Kết nối lưỡng cực

Kết nối đồng cực có cấu hình như trong hình H.10.3 gồm hai hay nhiều dây có cùng cực tính. Thường chọn cực tính âm vì có ít nhiễu thông tin do vắng quang gây ra hơn. Đường trở về thông qua đất. Khi có sự cố trên một dây, bộ biến đổi sẵn sàng để cung cấp cho các dây còn lại với chừng mực quá tải nào đó. Về mặt này cấu hình đồng cực có vẻ thuận lợi hơn một khi đường trở về qua đất được chấp nhận.

**Hình 14.3:** Kết nối đồng cực

Mỗi cấu hình nói trên thường ghép thác nhóm nhiều bộ biến đổi, mỗi bộ có một máy biến áp và một nhóm các van. Các bộ biến đổi được mắc song song về phía xoay chiều (máy biến áp) và mắc nối tiếp về phía một chiều (van) để có được mức điện áp mong muốn từ một cực so với đất.

Hệ thống HVDC “lưỡng kê lưỡng” (dùng cho các kết nối không đồng bộ) được thiết kế vận hành đồng cực hay lưỡng cực với số nhóm khác nhau của các van cho mỗi cực phụ thuộc vào mục đích liên kết và độ tin cậy mong muốn.

Hầu hết các kết nối HVDC điểm–đến–điểm (hai đầu) bao gồm các đường dây lưỡng cực và chỉ vận hành một cực trong trường hợp khẩn cấp. Chúng được thiết kế để có sự độc lập giữa các cực nhằm tránh mất điện cả đường dây lưỡng cực.

Một hệ thống HVDC nhiều đầu (MTDC) tạo ra khi hệ thống điện HVDC được nối đến nhiều nút trên mạng xoay chiều.

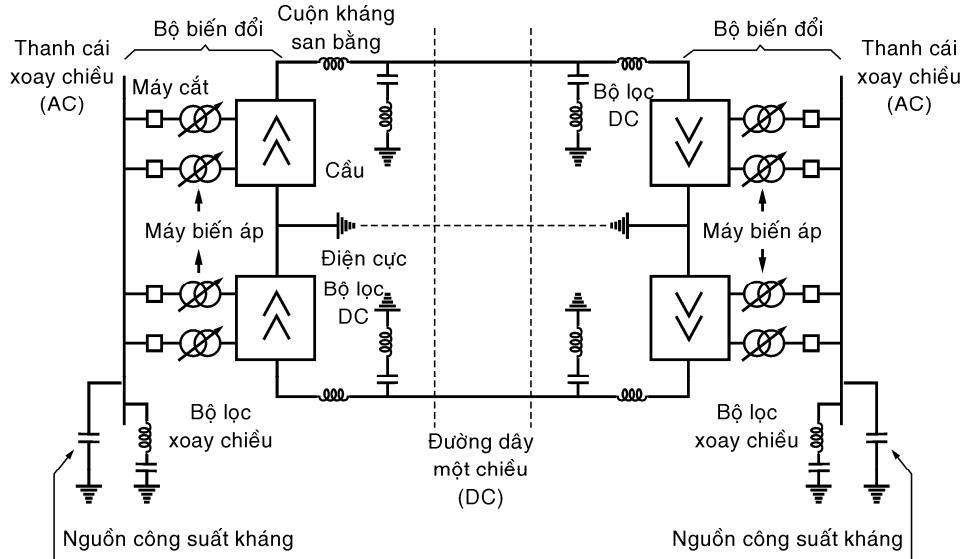
### 14.3 CÁC PHẦN TỬ CỦA HỆ THỐNG TRUYỀN TẢI HVDC

Các phần tử chính của hệ thống HVDC được trình bày trong hình (H.14.4.)

Dùng một hệ thống lưỡng cực làm ví dụ. Sau đây mô tả tóm lược các phần tử.

**Bộ biến đổi:** Biến đổi AC/DC (chỉnh lưu) hay DC/AC (nghịch lưu), gồm các van mắc cầu và máy biến áp có đầu phân áp. Cầu van gồm các van cao áp mắc theo sơ đồ 6 xung hay 12 xung. Các máy biến áp biến đổi cung cấp nguồn điện áp ba pha với điện áp thích hợp cho cầu

các van. Với cuộn dây máy biến áp phía van không nối đất, hệ thống điện một chiều có thể được tạo nối đất riêng, thường là bằng cách nối đất đầu dương hay đầu âm của một cầu bộ biến đổi van.



**Hình 14.4:** Sơ đồ nguyên lý hệ thống HVDC lưỡng cực, các phần tử chính

**Cuộn kháng bằng phẳng:** Đây là các cuộn kháng lớn có điện cảm đến 1 H mắc nối tiếp với mỗi cực của mỗi trạm biến đổi. Công dụng của chúng bao gồm:

- Giảm các họa tần điện áp và dòng điện trên đường dây một chiều;
- Tránh sự cố chuyển mạch trong nghịch lưu;
- Tránh dòng điện trở nên không liên tục khi mang tải thấp;
- Giới hạn đỉnh dòng điện trong chỉnh lưu khi xảy ra ngắn mạch trên đường một chiều.

**Bộ lọc họa tần:** Bộ biến đổi sinh ra họa tần điện áp và dòng điện ở cả hai phía xoay chiều và một chiều. Họa tần gây phát nóng tụ điện và máy phát gần đó, còn gây nhiễu lên hệ thống thông tin. Mạch lọc do đó phải được dùng ở cả hai phía một chiều và xoay chiều.

**Nguồn cung cấp công suất kháng:** Như trình bày ở các mục kế tiếp, bộ biến đổi một chiều thực chất có tiêu thụ công suất kháng. Trong vận hành bình thường, lượng công suất kháng tiêu thụ bằng khoảng 50% lượng công suất tác dụng tải qua. Trong tình trạng quá độ yêu cầu về công suất kháng có thể nhiều hơn. Đối với hệ thống xoay chiều lớn, công suất kháng được tạo ra bằng tụ bù ngang. Phụ thuộc vào yêu cầu đặt ra cho kết nối một chiều và trên hệ thống xoay chiều mà một phần nguồn công suất kháng có thể là máy bù đồng bộ hay máy bù tĩnh. Các tụ điện trong mạch lọc cũng cung cấp một phần công suất kháng yêu cầu.

**Điện cực:** Hầu hết các kết nối DC được thiết kế dùng đất như dây trung tính ít nhất cho đến thời điểm này. Việc nối đất đòi hỏi phải có một bệ mặt dẫn điện lớn để hạn chế mật độ dòng điện và điện trường. Dây dẫn nối đất được xem như điện cực. Như đã nói ở trên, nếu cần thiết phải hạn chế dòng điện qua đất thì dùng dây trở về bằng kim loại là một phần tử của đường DC.

**Đường dây một chiều:** Là đường dây trên không hay cáp ngầm. Ngoại trừ số dây dẫn và khoảng cách giữa các dây, đường dây DC trông rất giống đường dây AC.

**Máy cắt điện xoay chiều:** Để loại trừ sự cố trong máy biến áp cũng như để đưa kết nối DC

ra khỏi vận hành, máy cắt được đặt ở phía xoay chiều. Chúng không dùng để giải trừ sự cố phía một chiều vì những sự cố này có thể được loại trừ nhanh chóng bằng cách điều khiển bộ biến đổi.

## 14.4 THUẬN LỢI VÀ KHÔNG THUẬN LỢI CỦA HỆ THỐNG HVDC

### 14.4.1 Thuận lợi

Những thuận lợi của hệ thống HVDC được liệt kê như sau:

1. Kinh tế hơn khi phải tải lượng công suất lớn đi xa bằng đường dây trên không
  2. Tải được công suất nhiều hơn trên mỗi dây dẫn và xây dựng đường dây đơn giản hơn
  3. Có thể dẫn dòng điện về qua đất
  4. Không có dòng điện điện dung và hiệu ứng mặt ngoài.
- Vấn đề sụt áp nặng nề không được đặt ra vì chỉ có sụt áp R.I do điện trở trong khi sụt áp do cảm kháng X.I bằng không. Cũng vì lý do  $X = 0$  mà vấn đề ổn định tĩnh hệ thống không còn là vấn đề lớn nữa.
5. Dễ dàng đảo ngược chiều và điều khiển công suất qua nối kết DC
  6. Đường dây DC là một nối kết không đồng bộ và có tính linh hoạt (không có yêu cầu về tái đồng bộ) và nó có thể nối kết hai hệ thống xoay chiều mạnh, khác tần số.
  7. Đối với đường dây DC đơn giản nối giữa hai trạm biến đổi, không cần thiết phải dùng máy cắt vì điều khiển các bộ đổi điện có thể h้าm không cho dòng điện tăng cao trong trường hợp sự cố.
  8. Trong đường dây lưỡng cực hay đồng cực, mỗi dây có thể vận hành độc lập
  9. Ít chấn hành lang. Khoảng cách giữa hai pha ngoài của đường dây 400 kV xoay chiều khoảng 20 m trong khi đó đối với đường DC cùng điện áp khoảng cách này giảm một nửa còn khoảng 10 m.
  10. Tiết kiệm đáng kể về cách điện. Điện áp đỉnh của đường dây 400 kV xoay chiều là  $\sqrt{2} \cdot 440 = 564$  kV. Do đó, đường dây xoay chiều cần nhiều cách điện giữa trụ và dây dẫn cũng như khoảng cách từ dây đến mặt đất cao hơn so với đường dây 400 kV DC.
  11. Không có giới hạn về mặt kỹ thuật về khoảng cách truyền tải bởi dây dẫn trên không hay đường cáp ngầm do không có dòng điện điện dung và không có giới hạn ổn định.
  12. Tổn thất đường dây thấp hơn
  13. Có thể tải nhiều điện năng hơn vào mạng xoay chiều mà không làm tăng dòng ngắn mạch và định mức của các máy cắt.
  14. Không có yêu cầu về bù công suất kháng trên đường DC.
  15. Tổn thất vắng quang và nhiễu thông tin ít hơn đường dây xoay chiều.
  16. Đường dây cao áp xoay chiều và một chiều có thể vận hành song song trong hệ thống AC–DC.
  17. Sự góp phần của đường HVDC vào dòng ngắn mạch trong hệ thống xoay chiều là nhỏ so với đường xoay chiều. Dòng ngắn mạch trên đường DC được yêu cầu là nhỏ.

#### 14.4.2 Không thuận lợi

1. Chi phí cao do xây dựng các trạm biến đổi phức tạp và các khí cụ đắt tiền
2. Bộ biến đổi tiêu thụ công suất kháng đáng kể
3. Phát sinh họa tần, đòi hỏi mạch lọc
4. Bộ biến đổi ít có khả năng quá tải
5. Việc thiếu máy cát DC có thể gây trở ngại vận hành của mạng điện. Không có khí cụ DC nào có thể đóng cát hoàn hảo và đảm bảo trong bảo vệ (điều khiển đồng thời ở tất cả các bộ biến đổi là khó khăn).
6. Không thể có máy biến áp kiểu DC để thay đổi điện áp theo cách đơn giản. Sự biến đổi điện áp phải được thực hiện bên phía xoay chiều của hệ thống.
7. Yêu cầu công suất kháng của phụ tải phải được cung cấp tại chỗ vì công suất kháng không được truyền tải trên đường dây DC.
8. Sự đóng bẩn sứ cách điện ảnh hưởng xấu đối với điện áp một chiều hơn là đối với xoay chiều. Yêu cầu phải thường xuyên lau chùi sứ cách điện.

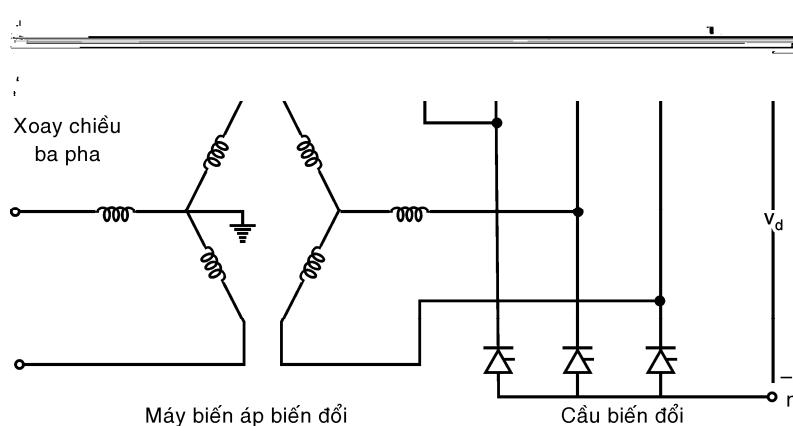
### 14.5 BỘ BIẾN ĐỔI VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH

#### 14.5.1 Mạch biến đổi

Bộ biến đổi thực hiện biến đổi AC/DC hay ngược lại và cung cấp phương tiện để điều chỉnh dòng công suất qua đường HVDC (H.14.5.). Các phần tử là cầu van điện tử và máy biến áp biến đổi.

##### 1. Các đặc tính của van

Van trong bộ biến đổi là khóa điện tử có điều khiển, cho phép dẫn điện theo một chiều từ anod sang cathod.



Hình 14.5: Mạch cầu toàn sóng ba pha

##### 2. Mạch đổi điện

Phần tử cơ bản của bộ biến đổi HVDC là mạch cầu ba pha toàn sóng. Máy biến áp biến đổi điện có đầu phân áp dưới tải. Cuộn dây phía xoay chiều mắc Y nối đất, cuộn dây phía van mắc Δ hay Y không nối đất. Mạch cầu toàn sóng ba pha được dùng phổ biến trong bộ biến đổi HVDC vì tương thích tốt với máy biến áp biến đổi và có điện áp ngược thấp đặt lên các van khi ngừng

dẫn. Điện áp ngược là một trong những yếu tố quan trọng để chọn các thông số định mức của van.

#### 14.5.2 Phân tích mạch cầu toàn sóng ba pha

Các giả thiết:

- Hệ thống xoay chiều bao gồm máy biến áp biến đổi được biểu diễn bằng một nguồn áp lý tưởng có điện áp, tần số không đổi nối tiếp với điện kháng tải của máy biến áp.
- Dòng một chiều  $I_d$  không đổi và không gợn sóng do có cuộn kháng lọc  $L_d$  làm bằng phẳng đặt về phía DC.
- Các van điện là khóa lý tưởng có điện trở bằng không khi dẫn và bằng vô cùng khi ngưng.

Điện áp pha của nguồn điện áp:

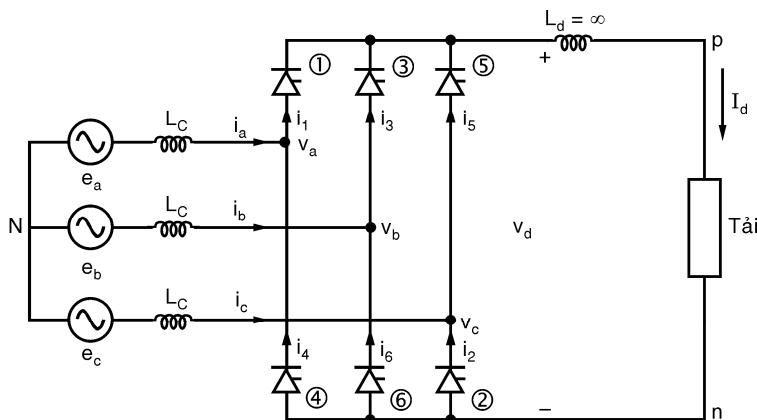
$$\begin{aligned} e_a &= E_m \cos(\omega t + 60^\circ) \\ e_b &= E_m \cos(\omega t - 60^\circ) \\ e_c &= E_m \cos(\omega t - 180^\circ) \end{aligned} \quad (14.1)$$

Điện áp dây:

$$\begin{aligned} e_{ac} &= e_a - e_c = \sqrt{3} E_m \cos(\omega t + 30^\circ) \\ e_{ba} &= e_b - e_a = \sqrt{3} E_m \cos(\omega t - 90^\circ) \\ e_{ca} &= e_c - e_b = \sqrt{3} E_m \cos(\omega t + 150^\circ) \end{aligned} \quad (14.2)$$

### 1. PHÂN TÍCH GIẢ THIẾT BỎ QUA ĐIỆN KHÁNG NGUỒN

#### a. Góc kích trễ bằng không (H.14.6)

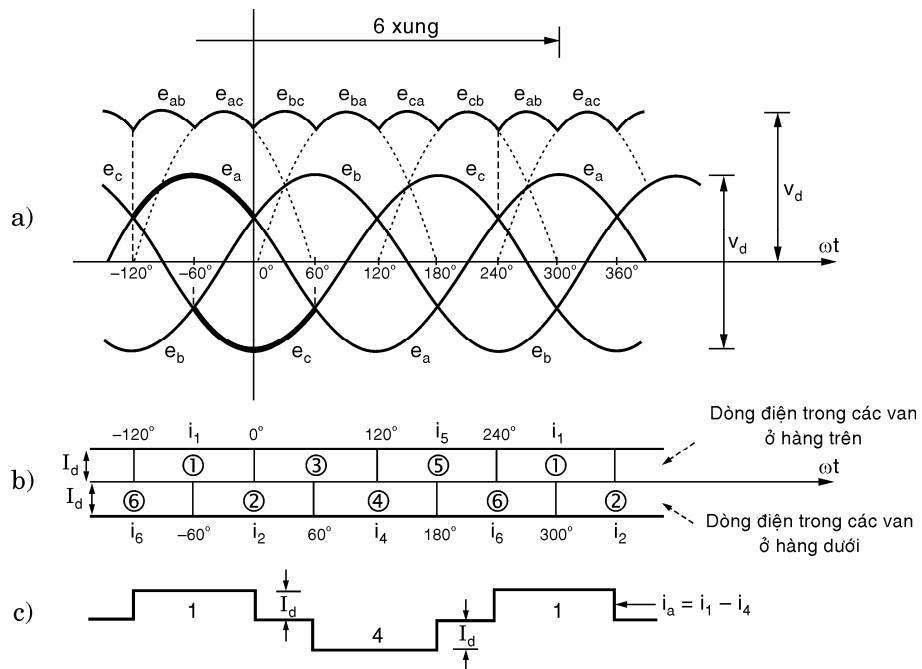


Hình 14.6: Mạch tương đương của mạch cầu biến đổi ba pha toàn sóng

- Mỗi van dẫn  $120^\circ$
- Khi dẫn, dòng điện qua van là  $I_d$ .
- Dòng điện trong mỗi pha phía nguồn xoay chiều gồm các dòng điện chạy qua hai van có nối với pha đó

Hình 14.7(a) trình bày dạng sóng điện áp và dòng điện với các van được đánh số theo thứ tự kích dẫn. Van 1 dẫn khi  $\omega t$  trong khoảng  $-120^\circ$  đến  $0^\circ$ , van 2 dẫn khi  $\omega t$  giữa  $-60^\circ$  và  $60^\circ$ . H.14.7(b) cho thấy chu kỳ dẫn của các van, độ lớn và thời gian (góc) dòng điện đi qua. Dòng điện trong pha a của nguồn xoay chiều (trong cuộn dây nối nguồn xoay chiều) của máy biến áp

được trình bày trong H.14.7(c)



**Hình 14.7:** Dạng sóng điện áp và dòng điện của mạch cầu H.14.6

- Điện pha và điện áp dây của nguồn xoay chiều;
- Dòng điện qua các van và chu kỳ dẫn;
- Dòng điện pha a

Điện áp DC trung bình cho bởi công thức

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m = 1,65 E_m \quad (14.3a)$$

$E_m$ : Trị số đỉnh của điện áp pha

Tính theo điện áp hiệu dụng pha ( $E_{LN}$ ) và điện áp dây hiệu dụng ( $E_{LL}$ )

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} = 2,34 E_{LN} \quad (14.3b)$$

$$= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{LL} = 1,35 E_{LL} \quad (14.3c)$$

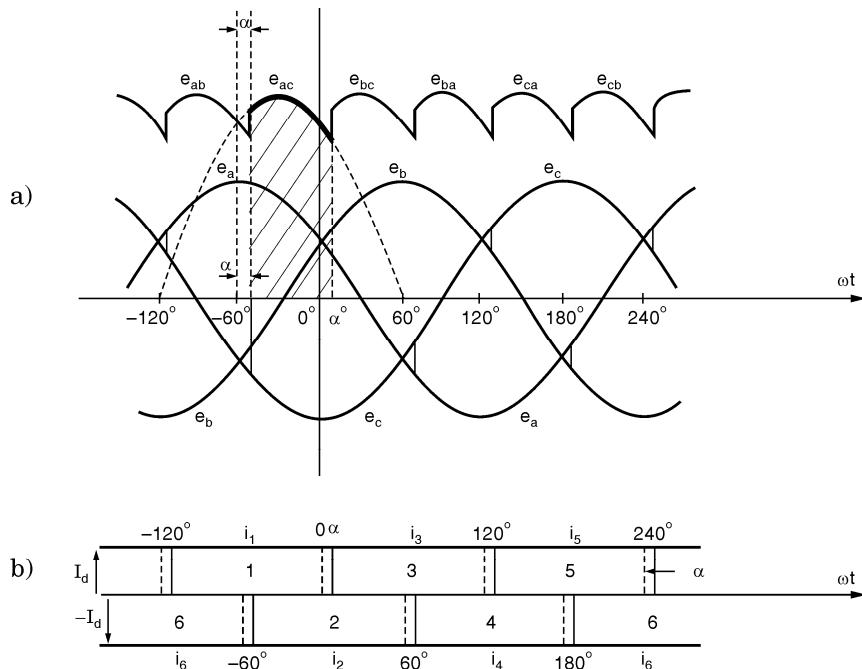
### b. Với góc kích trễ (H.14.8)

Gọi  $\alpha$  là góc kích trễ (delay angle) tương ứng với thời gian trễ  $\frac{\alpha}{\omega}$  giây. Góc trễ giới hạn bằng  $180^\circ$ .

Điện áp trung bình  $V_d$  khi có góc trễ  $\alpha$ :

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha \quad (14.4)$$

Vì  $\alpha$  có thể thay đổi từ  $0^\circ$  đến  $180^\circ$ ,  $\cos \alpha$  thay đổi từ  $-1$  đến  $1$ ,  $V_d$  thay đổi từ  $-V_{d0}$  đến  $V_{d0}$ . Số âm của  $V_d$  ứng với chế độ nghịch lưu.



Hình 14.8: Dạng sóng điện áp và dòng điện qua các van với góc kích trễ  $\alpha$

### c. Các quan hệ về dòng điện và góc pha

Khi góc trễ  $\alpha$  tăng, góc lệch pha giữa điện áp và dòng xoay chiều cũng thay đổi. Điều này được minh họa trong H.14.9 đối với pha a. Dạng sóng dòng điện xoay chiều bao gồm nhiều xung hình chữ nhật tương ứng với dòng điện qua các van 1 và 4.

Dòng điện một chiều giả thiết không đổi bằng  $I_d$  (cuộn kháng  $L_d$  trong H.14.6 làm cho  $I_d$  không thay đổi). Vì mỗi van dẫn trong khoảng thời gian ứng với  $120^\circ$  điện, dòng điện xoay chiều của đường dây bao gồm các xung chữ nhật có biên độ bằng  $I_d$  và kéo dài  $120^\circ$  hay  $2\pi/3$  radian (H.14.10). *Với giả thiết không có chia cắt chuyển mạch thì dạng của dòng điện dây xoay chiều độc lập với  $\alpha$ .*

Trị số đỉnh của thành phần tần số cơ bản của dòng điện xoay chiều đường dây:

$$I_{LM} = \frac{2}{\pi} \sqrt{3} I_d = 1,11 I_d \quad (14.5a)$$

Trị số hiệu dụng của dòng điện của thành phần dòng điện cơ bản:

$$I_{LI} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = 0,78 I_d \quad (14.5b)$$

Bỏ qua tổn thất trong bộ biến đổi, công suất pha xoay chiều phải bằng với công suất pha một chiều:

$$3E_{LN} I_{LI} \cos\phi = V_d I_d = V_{d0} \cos\alpha I_d$$

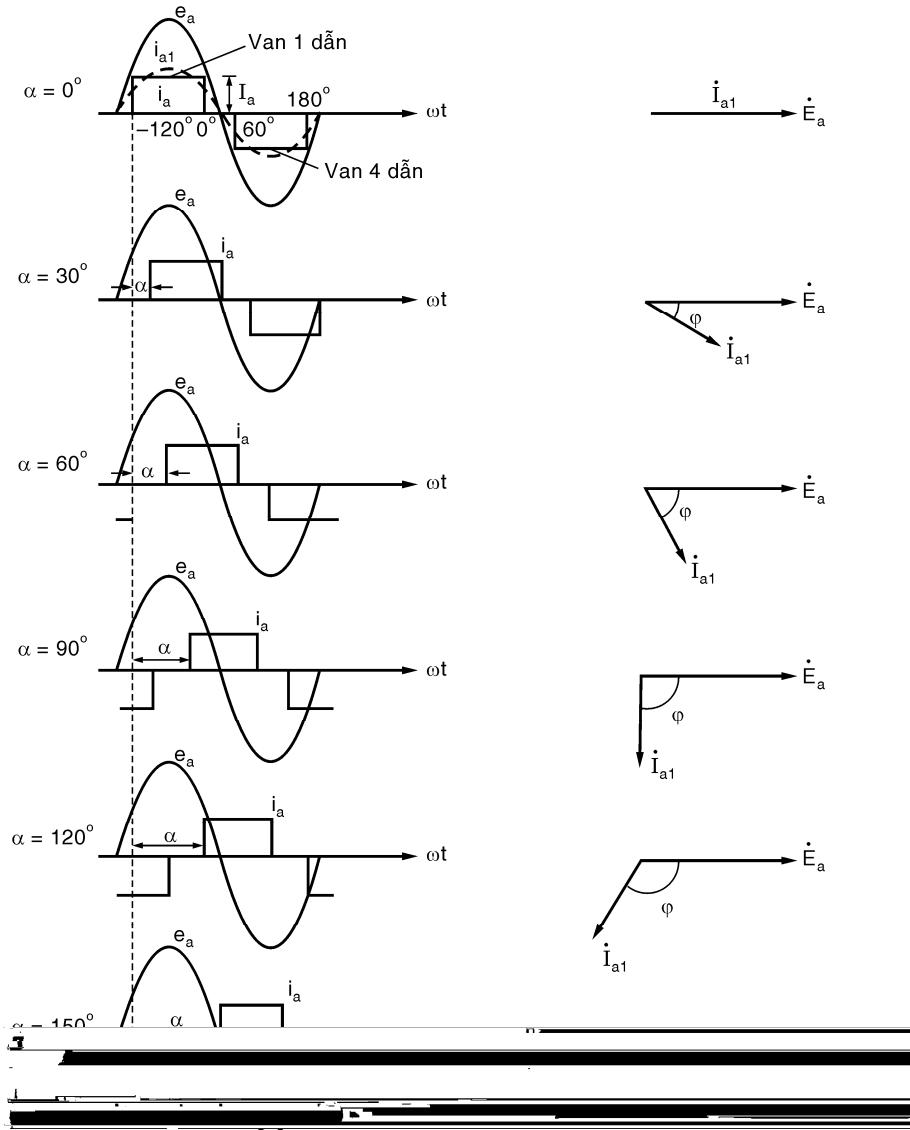
Thay  $V_{d0}$  từ (14.3b) và  $I_{LI}$  từ (14.5b) có được:

$$(3E_{LN} \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d) \cos\phi = (\frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} I_d) \cos\alpha$$

Suy ra:

$$\cos\phi = \cos\alpha \quad (14.6)$$

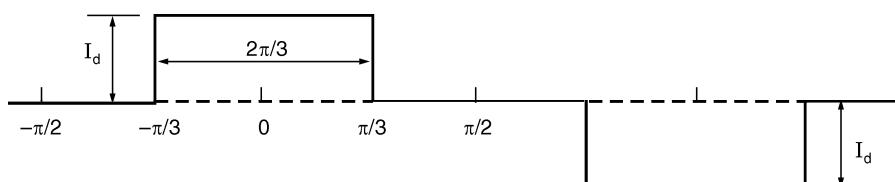
Bộ biến đổi hoạt động như một thiết bị biến đổi dòng xoay chiều ra một chiều (hay ngược lại) sao cho *tỷ số dòng điện không đổi* trong khi *tỷ số điện áp thay đổi* tùy theo góc kinh (xem (14.3), (14.4) và (14.5)).



$e_a$  = điện áp pha a đến trung tính  
 $i_a$  = dòng điện

$E_a$  = vectơ điện áp  
 $I_1$  = vectơ dòng điện thành phần cơ bản

**Hình 14.9:** Sự thay đổi góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện theo góc kinh trễ  $\alpha$



**Hình 14.10:** Dạng sóng dòng điện dây

## 2. ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC CHỒNG CHẬP CHUYỂN MẠCH

Do điện cảm  $L_c$  của nguồn xoay chiều, dòng điện trong các pha không thể thay đổi tức thời. Sự chuyển tiếp dòng điện từ pha này sang pha khác đòi hỏi một thời gian nhất định gọi là thời gian chuyển mạch hay thời gian chồng chập. Góc chuyển mạch (góc chồng chập) ký hiệu là  $\mu$ .

Trong vận hành bình thường, góc chồng chập nhỏ hơn  $60^\circ$ , trị số tiêu biểu lúc đầy tải thay đổi từ  $15^\circ$  đến  $25^\circ$ . Với  $0^\circ < \mu < 60^\circ$ , trong thời gian chuyển mạch có ba van dẫn đồng thời, tuy vậy giữa các lần chuyển mạch chỉ có hai van dẫn. Một lần chuyển mạch bắt đầu ở mỗi  $60^\circ$  và kéo dài một góc  $\mu$ . Do đó góc khi hai van dẫn điện với góc kích trễ  $\alpha = 0$  là  $60^\circ - \mu$ . Trong mỗi thời kỳ chuyển mạch, dòng điện trong van được đưa vào dẫn điện tăng từ 0 đến  $I_d$  trong khi dòng điện trong van sấp ngưng dẫn điện giảm từ  $I_d$  về 0. Sự chuyển mạch bắt đầu khi  $\omega t = \alpha$  và chấm dứt khi  $\omega t = \alpha + \mu = \delta$ ,  $\delta$  gọi là góc tắt (extinction angle)

*Sự sụt áp do chồng chập chuyển mạch*

Do hiện tượng chuyển mạch nói trên, điện áp DC trung bình bị sụt giảm so với khi không xét chồng chập. Sụt áp trung bình do chồng chập cho bởi:

$$\Delta V_d = \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha - \cos \delta) \quad (14.7)$$

Ngay vào lúc kết thúc chuyển mạch, dòng điện qua van được đưa vào dẫn điện là  $I_d$ , có quan hệ sau:

$$I_d = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} (\cos \alpha - \cos \delta) \quad (14.8)$$

Kết hợp (14.7) và (14.8) có được:

$$\begin{aligned} \Delta V_d &= \frac{3}{\pi} I_d \omega L_c = R_c I_d \\ \text{với } R_c &= \frac{3}{\pi} \omega L_c = \frac{3}{\pi} X_c \end{aligned} \quad (14.9)$$

Điện áp một chiều cho bởi:

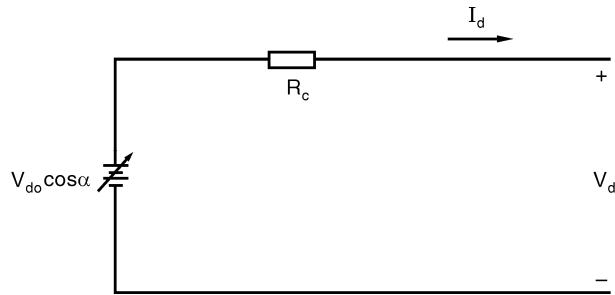
$$\begin{aligned} V_d &= V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d \\ &= V_{d0} \cos \alpha - R_c I_d \end{aligned} \quad (14.10)$$

$R_c$  được gọi là điện trở chuyển mạch tương đương biểu diễn cho sụt áp do chuyển mạch chồng chập, không là điện trở thực và không tiêu thụ công suất.

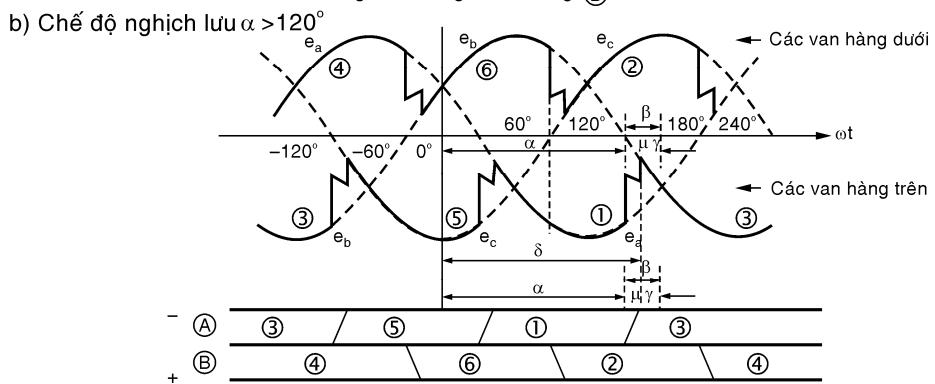
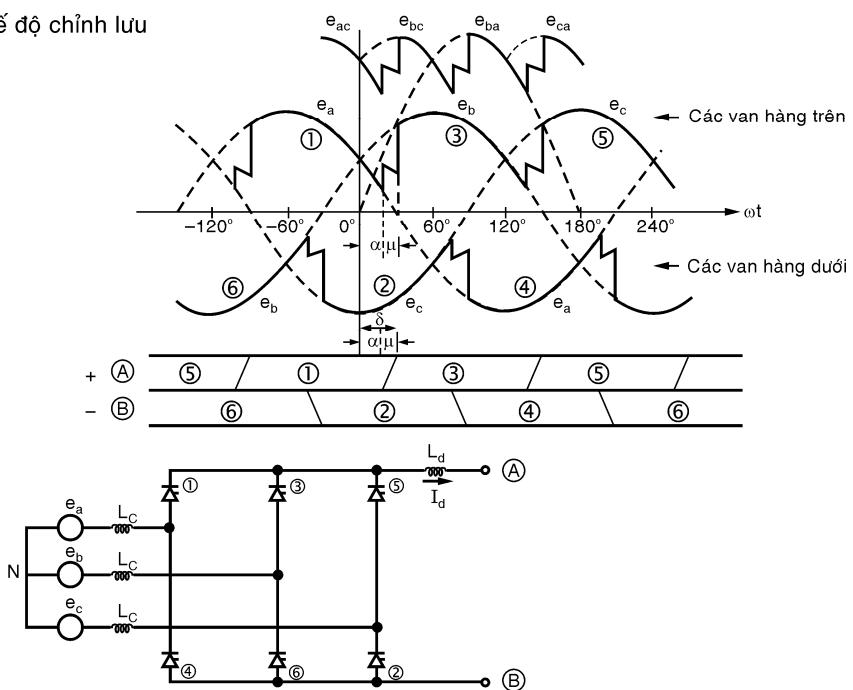
## 3. CHẾ ĐỘ CHỈNH LƯU

Mạch tương đương của chỉnh lưu cầu dựa trên phân tích ở trên được trình bày trong H.14.11; dạng sóng điện áp và chu kỳ dẫn trong H.14.12a.

Điện áp một chiều và dòng điện trong mạch tương đương là các giá trị trung bình. Điện áp nội bên trong là hàm theo góc trễ  $\alpha$ . Góc chồng chập  $\mu$  không được thể hiện trong mạch tương đương, tác dụng chồng chập lúc chuyển mạch được biểu diễn qua trung gian của điện trở  $R_c$ .

**Hình 14.11:** Mạch tương đương của cầu chỉnh lưu

a) Chế độ chỉnh lưu

**Hình 14.12:** Dạng sóng điện áp và chu kỳ dẫn a) chỉnh lưu b) nghịch lưu

#### 4. CHẾ ĐỘ NGHỊCH LƯU

Nếu không có chấn chập, điện áp một chiều  $V_d = V_{d0} \cos \alpha$ .  $V_d$  bắt đầu đổi dấu khi góc trễ  $\alpha > 90^\circ$ .

Với ảnh hưởng của chấn chập (H.14.12b):

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d$$

Thay  $\Delta V_d$  từ phương trình (14.7):

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha - \cos \delta) = \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha + \cos \delta) \quad (14.11)$$

Giá trị chuyển tiếp của góc trẽ  $\alpha_t$  để nghịch lưu bắt đầu xảy ra cho bởi điều kiện:

$$\cos \alpha_t + \cos \delta_t = 0$$

hay:

$$\alpha_t = \pi - \delta_t = \pi - \alpha_t - \mu$$

suy ra:

$$\alpha_t = \frac{\pi - \mu}{2} = 90^\circ - \frac{\mu}{2} \quad (14.12)$$

Ảnh hưởng của chòng chập làm giảm  $\alpha_t$  từ  $90^\circ$  xuống  $90^\circ - \mu/2$ . Thoạt nhìn, lấy làm lạ là làm trẽ góc kích cho đến khi điện áp thực tế trên anod trở nên âm. Tuy vậy, sự chuyển mạch vẫn có thể xảy ra miễn là điện áp chuyển mạch ( $e_{ba} = e_b - e_a$ , đối với van 1 và 3) là dương và miễn là van rời khỏi có được điện áp ngược đặt lên nó sau khi tắt.

Vì các van chỉ dẫn điện theo một chiều, dòng điện trong bộ biến đổi không thể đảo ngược được. Việc đổi dấu của điện áp  $V_d$  dẫn đến đảo chiều công suất. Điện áp xoay chiều phải hiện hữu bên sơ cấp của máy biến áp (phía nối với điện xoay chiều) trong chế độ nghịch lưu. Điện áp một chiều của nghịch lưu có khuynh hướng chống lại dòng điện như trong động cơ một chiều gọi là sức phản điện. Điện áp một chiều từ bộ chỉnh lưu cưỡng bức dòng điện qua các van của bộ nghịch lưu chống lại sức phản điện này.

Chế độ nghịch lưu cũng diễn tả theo  $\alpha$  và  $\delta$  như trong chế độ chỉnh lưu nhưng có giá trị từ  $90^\circ$  đến  $180^\circ$ . Tuy vậy dùng ký hiệu góc kích trước  $\beta$  (ignition advance angle) và góc tắt trước  $\gamma$  (extinction advance angle) để mô tả chế độ nghịch lưu. Những góc này được định nghĩa theo sự vượt trước so với thời điểm khi điện áp chuyển mạch bằng không ( $e_{ab} = 0$  đối với van 1 và 3) và đang giảm (xem H.14.12b):

$$\begin{aligned} \beta &= \pi - \alpha \\ \gamma &= \pi - \delta \\ \mu &= \delta - \alpha = \beta - \gamma \end{aligned} \quad (14.13a)$$

Vì  $\cos \alpha = -\cos \beta$  và  $\cos \delta = -\cos \gamma$ , phương trình (14.11) được viết theo  $\gamma$  và  $\beta$  như sau:

$$V_d = -V_{d0} \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{2} \quad (14.13b)$$

hay theo (14.10):

$$V_d = -V_{d0} \cos \beta - R_c I_d \quad (14.13c)$$

Theo (14.13b) và (14.13c) có được (nhân (14.13b) cho 2 và trừ vế với vế (14.13c)):

$$V_d = -V_{d0} \cos \gamma + R_c I_d$$

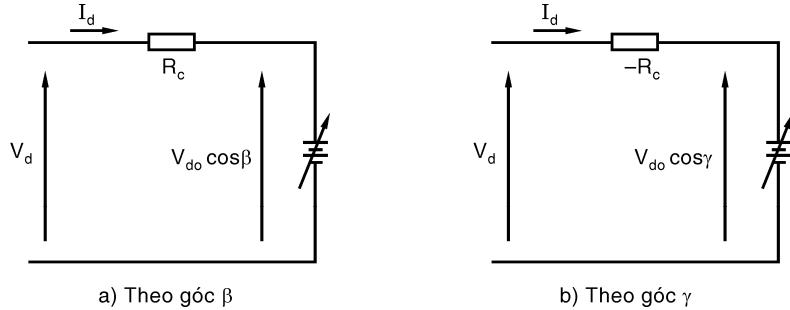
Điện áp nghịch lưu là số âm trong các phương trình của bộ biến đổi thường được viết lại với qui ước là số dương, do đó:

$$V_d = V_{d0} \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{2} \quad (14.14)$$

$$V_d = V_{d0} \cos \beta + R_c I_d \quad (14.15)$$

$$V_d = V_{d0} \cos \gamma - R_c I_d \quad (14.16)$$

Dựa vào các phương trình trên, có thể biểu diễn mạch tương đương của bộ nghịch lưu như sau (H.14.13):



**Hình 14.13:** Các mạch tương đương của nghịch lưu

Quan hệ giữa các đại lượng một chiều và xoay chiều:

Từ phương trình (14.11), điện áp trung bình một chiều cho bởi:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \quad (14.17)$$

Thay  $V_{d0}$  từ phương trình (14.3b) tính theo trị số hiệu dụng của điện áp pha  $E_{LN}$  có được:

$$V_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} E_{LN} \quad (14.18)$$

Bỏ qua tổn thất, công suất xoay chiều bằng công suất một chiều:

$$\begin{aligned} P_{AC} &= P_{DC} \\ 3E_{LN}I_{LI}\cos\varphi &= V_d I_d \end{aligned}$$

trong đó:

$E_{LN}$ : điện áp pha hiệu dụng

$I_{LI}$ : dòng điện hiệu dụng tần số cơ bản.

Từ phương trình (14.18):

$$3E_{LN}I_{LI}\cos\varphi = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} E_{LN} \cdot I_d$$

Suy ra:

$$I_{LI}\cos\varphi = \left( \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \right) \left( \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \right) \quad (14.19)$$

Từ phương trình (14.5b), với  $\mu = 0$

$$I_{LI} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$$

Ký hiệu giá trị của  $I_{LI}$  khi  $\mu = 0$  bằng  $I_{LI0}$ , pt (14.19) được viết:

$$I_{LI}\cos\varphi = I_{LI0} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \quad (14.20)$$

## 5. CÁC BIỂU THỨC GÂN ĐÚNG

Gân đúng  $I_{LI0}$  với  $I_{LI}$

$$I_{LI} \approx I_{LI0} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \quad (14.21)$$

Quan hệ trên chỉ chính xác khi  $\mu = 0$ , với  $\mu = 60^\circ$  sai số là 4,3%, với  $\mu < 30^\circ$  sai số nhỏ hơn 1,1%.

Suy ra hệ số công suất:

$$\cos\varphi \approx \frac{\cos\alpha + \cos\delta}{2} = \frac{\cos\alpha + \cos(\alpha + \mu)}{2} \quad (14.22)$$

hay đổi với nghịch lưu:  $\cos\varphi \approx \frac{\cos\gamma + \cos\beta}{2} = \frac{\cos\gamma + \cos(\gamma + \mu)}{2}$

Từ sự gần đúng này, pt (14.17) trở thành:

$$V_d = V_{d0}\cos\varphi \quad (14.23)$$

hay:

$$\cos\varphi = \frac{V_d}{V_{d0}} \quad (14.24)$$

Từ phương trình (14.10):  $V_d = V_{d0}\cos\alpha - R_c I_d$  suy ra:

$$\cos\varphi = \cos\alpha - \frac{R_c I_d}{V_{d0}} \quad (14.25)$$

Thay  $V_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN}$  vào phương trình (14.23):

$$V_d = V_{d0} \cos\varphi = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} \cos\varphi \quad (14.26)$$

Nhận xét: phương trình (14.21) cho thấy bộ biến đổi có tỷ số dòng điện  $\frac{I_d}{I_{LI}}$  không đổi.

phương trình (14.25) cho thấy hệ số công suất  $\cos\varphi$  phụ thuộc vào phụ tải và góc kích trẽ  $\alpha$

### 14.5.3 Công suất của máy biến áp biến đổi

Trị số hiệu dụng toàn phần  $I_T$  của dòng điện phía thứ cấp máy biến áp (không phải chỉ có thành phần cơ bản) cho bởi:

$$I_T^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt$$

Dạng sóng dòng điện xoay chiều gồm các xung chũ nhặt có biên độ  $I_d$  và độ rộng  $2\pi/3$  radian (H.14.10.), do đó:

$$I_T^2 = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} i^2 dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} I_d^2 dt = \frac{2}{3} I_d^2$$

hay:

$$I_T = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d \quad (14.27)$$

Trị số hiệu dụng của điện áp pha phía thứ cấp của máy biến áp cho bởi phương trình (14.3b):

$$E_{LN} = \frac{\pi}{3\sqrt{6}} V_{d0}$$

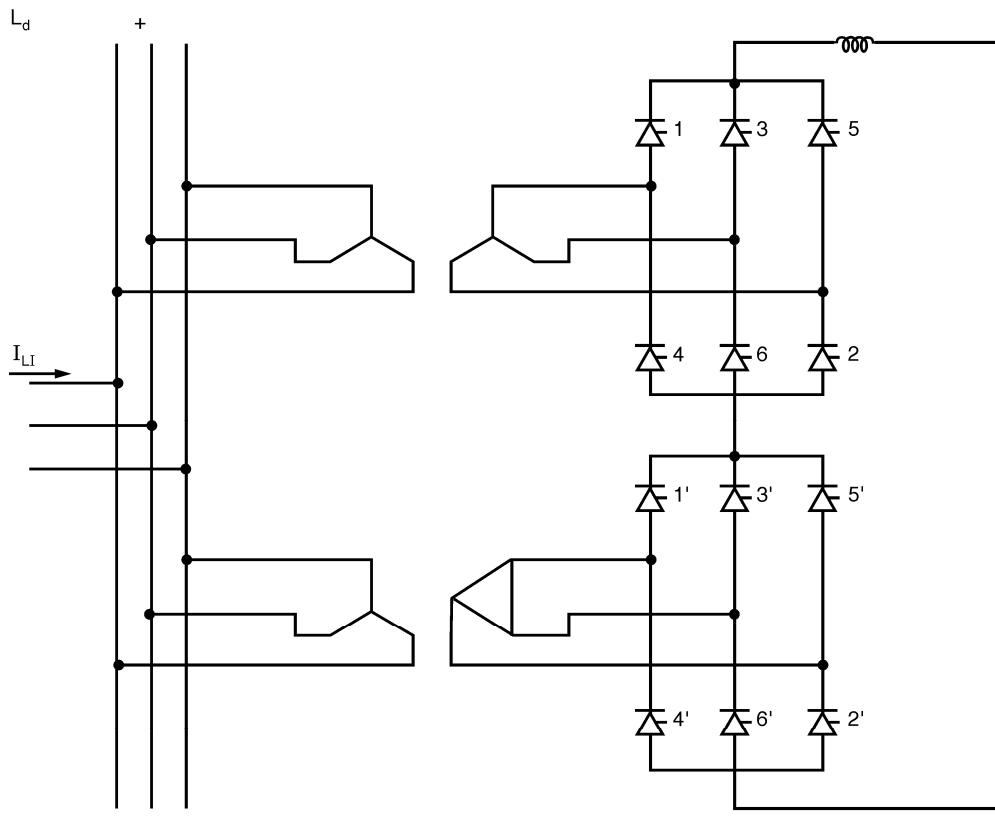
Công suất định mức của máy biến áp:

$$S_{dm} = 3E_{LN}I_T = 3\left(\frac{\pi}{3\sqrt{6}}\right)V_{d0}\sqrt{\frac{2}{3}}I_d = \frac{\pi}{3}V_{d0}I_d \quad (14.28)$$

### 14.5 BỘ BIẾN ĐỔI NHIỀU CẦU

Hai hay nhiều cầu được mắc nối tiếp để có được điện áp DC cao. Bộ máy biến áp biến đổi được mắc giữa nguồn xoay chiều và cầu các van. Tỷ số biến áp được điều chỉnh dưới tải.

Trong thực tế bộ biến đổi nhiều cầu gồm một số chấn các cầu xếp thành từng đôi tạo ra cách sấp xếp theo 12 xung (H.14.14.).



**Hình 14.14:** Bộ biến đổi cầu 12 xung

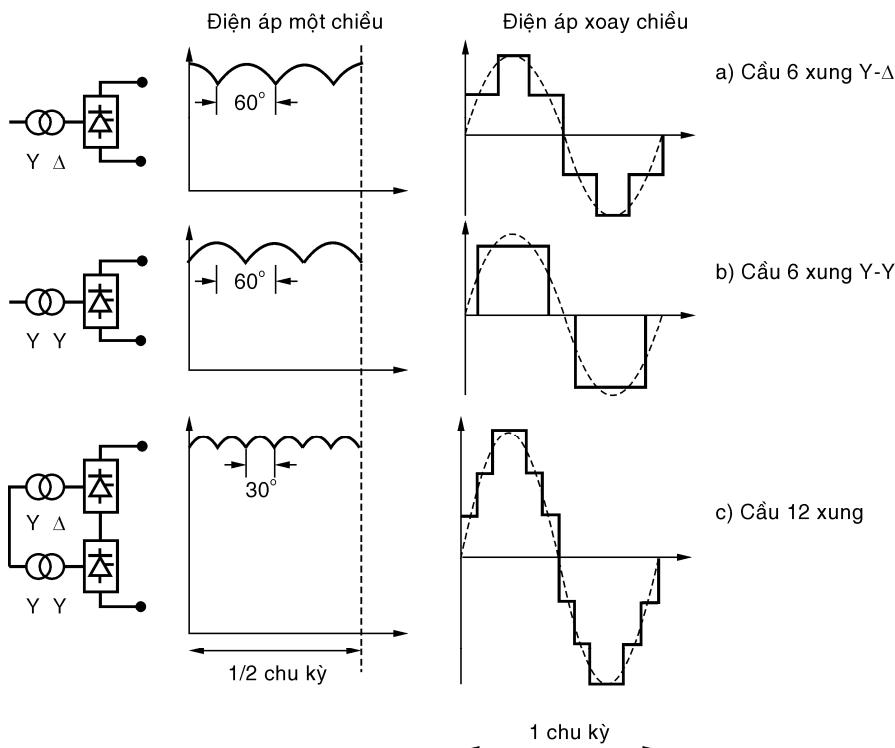
Như trình bày trong hình (14.14), hai bộ máy biến áp, một mắc Y-Y và một mắc Y- $\Delta$  được dùng để cung cấp cho mỗi đôi cầu. Điện áp ba pha cung cấp cho một cầu lệch  $30^\circ$  so với điện áp ba pha cung cấp cho cầu kia. Dạng sóng xoay chiều của dòng điện đối với hai cầu gần hình sin hơn so với cầu đơn 6 xung (H.14.15). Với cách sắp xếp theo 12 xung, các họa tần bậc 5 và bậc 7 hầu như được loại trừ ở phía xoay chiều. Điều này giảm chi phí của bộ lọc họa tần.Thêm vào đó, với cách sắp xếp 12 xung, gợn sóng điện áp một chiều được giảm thiểu ; các họa tần bậc 6 và bậc 18 được loại trừ ở phía một chiều. Đối với cầu 6 xung, tồn tại họa tần bội số của 6 trên phía một chiều trong khi ở cầu 12 xung chỉ có bội số của họa tần bậc 12.

Các quan hệ giữa các đại lượng phía một chiều và xoay chiều đối với bộ biến đổi nhiều cầu.

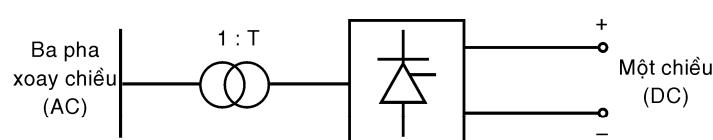
Gọi:

B: số cầu mắc nối tiếp

T: tỷ số biến áp (1:T)



**Hình 14.15:** Dạng sóng điện áp một chiều và dòng điện xoay chiều cầu 6 xung và 12 xung



T: tỷ số biến áp (1:T)

**Hình 14.16**

Điện áp không tải lý tưởng tương ứng với phương trình (14.3c):

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot B \cdot T \cdot E_{LL} = 1,3505 \cdot B \cdot T \cdot E_{LL} \quad (14.29)$$

Vì sụt áp trên mỗi cầu bằng  $I_d \left( \frac{3}{\pi} X_C \right)$  và có B cầu nối tiếp nên điện áp một chiều cho bởi:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - I_d \cdot B \cdot \left( \frac{3}{\pi} X_C \right) \quad (14.30a)$$

hay:  $V_d = V_{d0} \cos \gamma - I_d \cdot B \cdot \left( \frac{3}{\pi} X_C \right) \quad (14.30b)$

Điện áp DC được tính theo hệ số công suất theo phương trình (14.23) cho bởi:

$$V_d = V_{d0} \cos \varphi \quad (14.31)$$

Tuy nhiên với trường hợp đa cầu,  $V_{d0}$  cho bởi phương trình (14.29), điện áp DC của cầu 12 xung gấp đôi điện áp DC của bộ biến đổi dùng cầu 6 xung. Trị số hiệu dụng của thành phần tần số cơ bản của dòng điện xoay chiều toàn phần (tương ứng với phương trình (14.5b) cho bởi:

$$I_{LI} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot B \cdot T \cdot I_d = 0,78 \cdot B \cdot T \cdot I_d \quad (14.32)$$

### Ví dụ 14.1

Một bộ chỉnh lưu 12 xung được cung cấp từ một máy biến áp định mức 220/110 kV (H.14.17).

a) Nếu điện áp phía sơ cấp là 230 kV và tỷ số biến áp  $T$  là 0,48, xác định điện áp DC ở đầu ra khi góc kích trễ  $\alpha = 20^\circ$  và góc chuyển mạch  $\mu = 18^\circ$ .

b) Nếu dòng điện một chiều cung cấp bởi mạch chỉnh lưu là 2000 A, tính điện kháng chuyển mạch hiệu dụng  $X_c$ , trị số hiệu dụng của thành phần cơ bản của dòng điện xoay chiều, hệ số công suất  $\cos\varphi$ , công suất kháng phía sơ cấp máy biến áp.

### Giải

a) Mạch cầu 12 xung gồm hai mạch cầu 6 xung:  $B = 2$

Điện áp DC lúc không tải:

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} B T E_{LL} = 1,3505 \cdot 2 \cdot 0,48 \cdot 230 = 298,18 \text{ kV}$$

Góc tắt:  $\delta = \alpha + \mu = 20^\circ + 18^\circ = 38^\circ$

Sụt áp do chòng chập chuyển mạch:

$$\Delta V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha - \cos \delta}{2} = 298,18 \cdot \frac{\cos 20^\circ - \cos 38^\circ}{2} = 22,61 \text{ kV}$$

Điện áp DC ở đầu ra:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d = 298,18 \cdot \cos 20^\circ - 22,61 = 257,58 \text{ kV}$$

hay:  $V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} = 298,18 \cdot \frac{\cos 20^\circ + \cos 38^\circ}{2} = 257,58 \text{ kV}$

b)

$$\Delta V_d = B \cdot R_c \cdot I_d$$

Do đó:  $R_c = \frac{\Delta V_d}{B \cdot I_d} = \frac{22,61}{2 \cdot 2} = 5,65 \Omega$

$$X_c = \frac{\pi R_c}{3} = \frac{\pi \cdot 5,65}{3} = 5,92 \Omega/\text{pha}$$

Thành phần cơ bản của dòng điện xoay chiều phía sơ cấp của máy biến áp

$$I_{LI} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot B \cdot T \cdot I_d \\ = 0,7797 \cdot 2 \cdot 0,48 \cdot 2 = 1,497 \text{ kA}$$

Hệ số công suất ở thanh cáp cao áp:

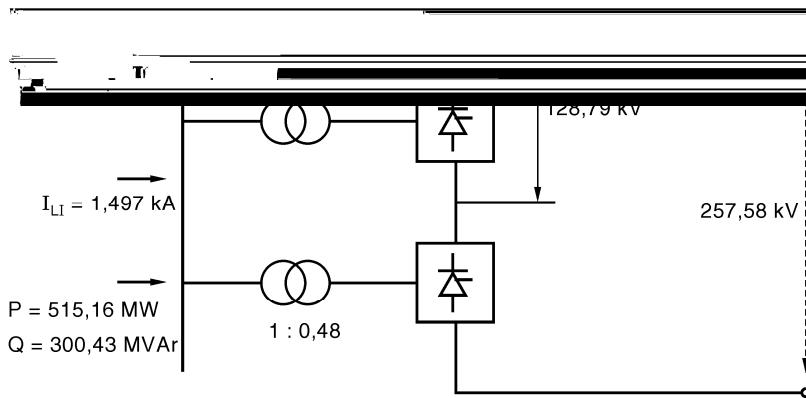
$$\cos\varphi = \frac{V_d}{V_{d0}} = \frac{257,58}{298,18} = 0,8638 \quad \text{suy ra } \varphi = 30,25^\circ$$

Công suất tác dụng:

$$P_{AC} = P_{DC} = V_d \cdot I_d = 257,58 \cdot 2 = 515,16 \text{ MW}$$

Công suất phản kháng:

$$Q = P_{AC} \cdot \tan \varphi = 515,16 \cdot \tan 30,25^\circ = 300,43 \text{ MVAr.}$$



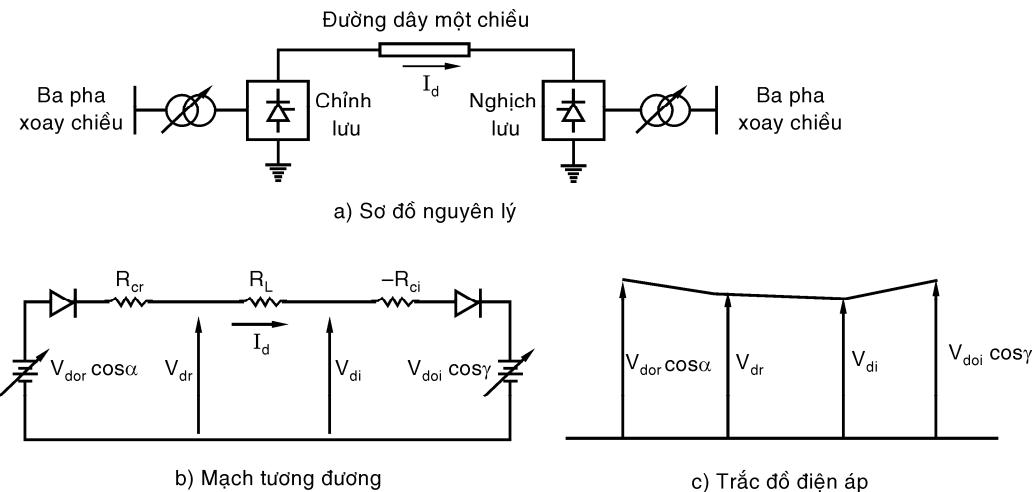
Hình 14.17: Sơ đồ và kết quả ví dụ I

## 14.7 ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG HVDC

Hệ thống HVDC có tính điều khiển cao, sử dụng thích hợp hệ thống điều khiển nhằm đảm bảo vận hành mong muốn của hệ thống điện.

### a) Nguyên lý cơ bản của điều khiển

Xét đường dây HVDC đơn cực hay một cực của đường dây lưỡng cực. Mạch tương đương và trắc đố điện áp được trình bày trong H14.18b và c.



Hình 14.18: Kết nối HVDC và trắc đố điện áp

Dòng điện một chiều đi từ chỉnh lưu đến nghịch lưu:

$$I_d = \frac{V_{d0r} \cos \alpha - V_{d0i} \cos \gamma}{R_{cr} + R_L - R_{ci}} \quad (14.33)$$

Công suất ở đầu chỉnh lưu:

$$P_{dr} = V_{dr} I_d \quad (14.34)$$

Công suất ở đầu nghịch lưu:

$$P_{di} = V_{di} I_d = P_{dr} - R_L I_d^2 \quad (14.35)$$

**b) Các phương cách điều khiển cơ bản**

Điện áp ở bất kỳ điểm nào trên đường dây và dòng điện hay công suất có thể được điều khiển bằng cách điều khiển điện áp nội  $V_{dr} \cos\alpha$  và  $V_{di} \cos\gamma$ . Điều này được thực hiện bằng cách điều khiển góc kích các van hay điều khiển điện áp xoay chiều qua việc thay đổi đầu phân áp của máy biến áp biến đổi.

Điều khiển kích cảng tốc độ nhanh (1 đến 10 ms) và thay đổi đầu phân áp tốc độ chậm (5 đến 6 giây mỗi nấc) được kết hợp bổ sung cho nhau. Điều khiển kích cảng được thực hiện trước tiên do tác động nhanh, tiếp theo là thay đổi đầu phân áp để duy trì các đại lượng của bộ biến đổi ( $\alpha$  đối với chỉnh lưu và  $\gamma$  đối với nghịch lưu) ở khoảng định mức của chúng.

**c) Cơ sở để lựa chọn điều khiển**

Các xem xét sau đây ảnh hưởng đến sự lựa chọn các đặc tính điều khiển:

1. Tránh dao động lớn về dòng điện một chiều do thay đổi điện áp trong hệ thống xoay chiều.
2. Giữ điện áp một chiều gần với định mức.
3. Duy trì hệ số công suất ở đầu phát và đầu nhận càng cao nếu có thể được.
4. Tránh sự cố chuyển mạch trong bộ chỉnh lưu và nghịch lưu.

Điều khiển nhanh các bộ biến đổi nhằm tránh dao động lớn của dòng một chiều là một yêu cầu quan trọng để vận hành thỏa mãn đường dây HVDC. Từ phương trình (14.33), điện trở của đường dây và bộ biến đổi là nhỏ, do đó một sự thay đổi nhỏ của  $V_{dr}$  hay  $V_{di}$  đều dẫn đến sự thay đổi lớn của  $I_d$ . Ví dụ, một thay đổi 25% điện áp ở chỉnh lưu hay nghịch lưu có thể làm thay đổi dòng điện một chiều đến 100%. Điều này bao hàm rằng nếu cả hai góc  $\alpha$  và  $\gamma$  được giữ không đổi thì dòng điện một chiều có thể thay đổi trên phạm vi rộng khi có sự thay đổi nhỏ trong điện áp xoay chiều ở hai đầu. Sự biến thiên như vậy thường không được chấp nhận trong vận hành hệ thống điện.Thêm vào đó dòng điện có thể đủ lớn để phá hỏng các van và các thiết bị khác. Do đó, điều khiển nhanh bộ biến đổi để tránh dao động lớn về dòng điện là yêu cầu chủ yếu đối với vận hành hệ thống, không có được sự điều khiển này, hệ thống HVDC sẽ không thực tế.

Đối với một công suất truyền tải cho trước, trắc đố điện áp một chiều dọc theo đường dây tương đối bằng phẳng và gần với trị số định mức. Điều này giảm thiểu được dòng một chiều và tổn thất trên đường dây.

Có nhiều lý do để duy trì hệ số công suất ở mức cao:

- a) Giữ công suất định mức của bộ biến đổi càng cao càng tốt đối với dòng điện và điện áp định mức cho trước của máy biến áp và các van.
- b) Giảm điện áp ngược đặt lên các van.
- c) Giảm thiểu tổn thất và dòng điện định mức của các thiết bị trong hệ thống xoay chiều có nối với bộ biến đổi.
- d) Giảm thiểu sụt áp ở các đầu xoay chiều khi phụ tải tăng.
- e) Giảm thiểu chi phí nguồn công suất kháng nối đến bộ biến đổi.

Theo phương trình (14.22), hệ số công suất cho bởi:

$$\cos\phi \approx 0,5[\cos\alpha + \cos(\alpha+\mu)] \approx 0,5[\cos\gamma + \cos(\gamma+\mu)]$$

Do đó, để đạt được hệ số công suất cao, góc  $\alpha$  đối với chỉnh lưu và  $\gamma$  đối với nghịch lưu được giữ càng nhỏ càng tốt. Tuy vậy, chỉnh lưu có góc giới hạn  $\alpha$  tối thiểu khoảng  $5^\circ$  đảm bảo

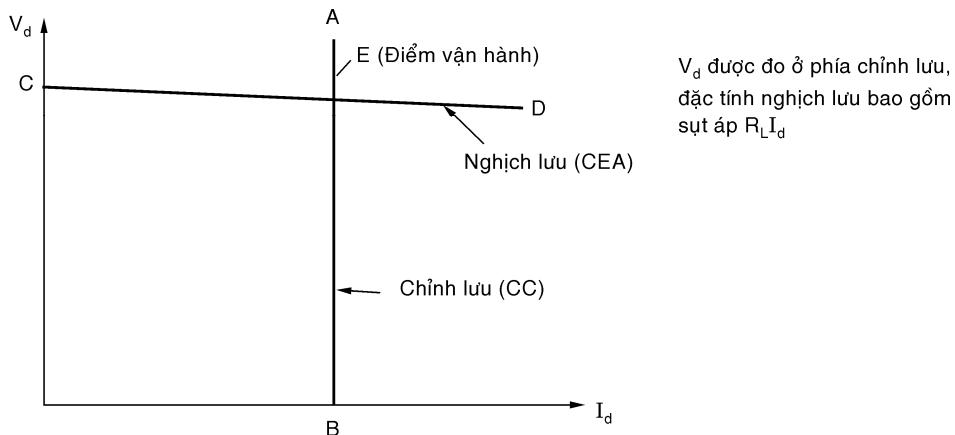
đủ điện áp thuận đặt lên các van trước khi kích dẫn. Do đó, việc kích dẫn không thể xảy ra sớm hơn  $\alpha$  tối thiểu. Thường  $\alpha$  hoạt động trong khoảng từ  $15^0$  đến  $20^0$ .

Trong trường hợp của mạch nghịch lưu, cần thiết phải duy trì một góc tắt tối thiểu để tránh sự cố trong chuyển mạch. Điều quan trọng là phải đảm bảo cho chuyển mạch được hoàn tất với một biên an toàn, cho phép khử ion hóa trước khi điện áp chuyển mạch đổi dấu ở  $\alpha = 180^0$  hay  $\gamma = 0^0$ . Trị số  $\gamma$  tối thiểu với vùng biên an toàn chấp nhận được khoảng  $15^0$  đối với hệ thống 50 Hz.

#### d) Các đặc tính điều khiển

##### Đặc tính lý tưởng:

Để đảm bảo các yêu cầu cơ bản nói trên, nhiệm vụ của điều khiển điện áp và dòng điện được phân biệt và phân cấp cho hai đầu của hệ thống HVDC. Trong vận hành bình thường chính lưu duy trì dòng điện không đổi (CC) và nghịch lưu duy trì góc tắt không đổi (CEA) với vùng biên an toàn cho chuyển mạch. Cơ sở của việc điều khiển được giải thích rõ ràng dựa vào đặc tính xác lập V-I. Điện áp  $V_d$  và dòng điện  $I_d$  có thể đo được từ một điểm trên đường dây. Trong H.14.19 điểm chọn là đầu ra bộ chỉnh lưu. Đặc tính chỉnh lưu và nghịch lưu được đo ở đầu chỉnh lưu, như vậy đặc tính của nghịch lưu có kể cả sụt áp trên đường dây.



**Hình 14.19: Đặc tính xác lập V-I lý tưởng**

Chỉnh lưu duy trì dòng điện không đổi (CC), đặc tính V-I là đường AB dốc đứng (H.10.19)

Điện áp đầu chỉnh lưu tính theo phía nghịch lưu (theo H.14.13b):

$$V_d = V_{d0} \cos \gamma + (R_L - R_{ci}) I_d$$

Phương trình này cho đặc tính của nghịch lưu với góc  $\gamma$  cố định. Nếu điện trở chuyển mạch lớn hơn điện trở đường dây  $R_L$  một chút thì đường đặc tính CD của nghịch lưu là đường dốc xuống. Giao điểm của hai đặc tính là điểm hoạt động E.

Đặc tính chỉnh lưu có thể dịch chuyển theo chiều ngang bằng cách điều khiển theo “lệnh dòng điện” (dòng chỉnh định). Nếu dòng điện đo được nhỏ hơn yêu cầu của “lệnh dòng điện” thì điều khiển cho kích van sớm hơn bằng cách giảm góc  $\alpha$ .

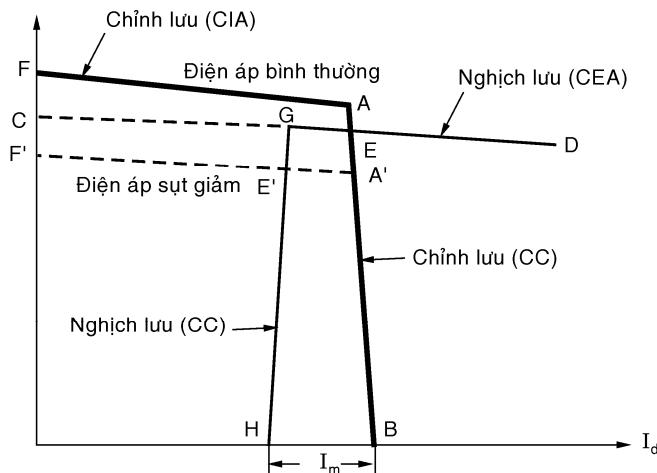
Đặc tính nghịch lưu được nâng lên hay hạ xuống bằng cách thay đổi đầu phân áp của máy biến áp, bộ điều chỉnh CEA sẽ nhanh chóng khôi phục góc  $\gamma$  mong muốn.

Kết quả là khi dòng điện một chiều thay đổi, dòng điện sẽ được phục hồi nhanh chóng bằng bộ điều chỉnh dòng điện của chỉnh lưu, trong khi đó đầu phân áp của chỉnh lưu tác động để đưa góc  $\alpha$  vào giới hạn mong muốn từ  $10^0$  đến  $20^0$  nhằm đảm bảo hệ số công suất cao và còn đủ

phạm vi điều khiển.

#### *Đặc tính thực tế (Hình 10.20)*

Bộ chỉnh lưu duy trì dòng điện không đổi bằng cách thay đổi góc kích  $\alpha$ . Tuy vậy  $\alpha$  không được nhỏ hơn một trị số cực tiểu  $\alpha_{\min}$ . Tại  $\alpha_{\min}$ , điện áp không thể tăng thêm và chỉnh lưu hoạt động ở chế độ góc kích không đổi (CIA). Do đó đặc tính chỉnh lưu gồm hai đoạn (AB và FA). Đoạn FA ứng với góc kích tối thiểu biểu diễn cho chế độ CIA, đoạn AB biểu diễn cho chế độ CC. Thực tế đặc tuyến dòng điện không đổi CC không hoàn toàn thẳng đứng mà phụ thuộc vào đặc tính của bộ điều chỉnh dòng điện. Bộ điều khiển tỷ lệ có độ dốc âm cao do độ lợi hữu hạn của bộ điều chỉnh dòng điện. Đối với bộ điều khiển vừa tỷ lệ và tích phân, đặc tính CC gần như thẳng đứng. Đặc tính đầy đủ của chỉnh lưu ở điện áp bình thường được biểu diễn bởi FAB. Ở điện áp sụt giảm, đặc tính trở thành F'A'B.



**Hình 14.20: Đặc tính điều khiển xác lập thực tế của bộ biến đổi**

Đặc tính CEA của nghịch lưu cắt đặc tính CC của chỉnh lưu tại điểm E ở chế độ điện áp bình thường. Tuy vậy đặc tính CEA sẽ không cắt đặc tính chỉnh lưu khi điện áp giảm thấp biểu diễn bởi F'A'B. Do đó, khi có sự sụt áp lớn trên điện áp chỉnh lưu thì dòng điện và điện áp sẽ giảm về không trong một thời gian ngắn phụ thuộc vào kháng điện một chiều và hệ thống xem như bị rã lưới.

Để tránh hiện tượng trên, mạch nghịch lưu được trang bị một bộ điều khiển dòng điện, được chỉnh định ở một trị số thấp hơn dòng chỉnh định của chỉnh lưu. Đặc tuyến đầy đủ của nghịch lưu biểu diễn bởi DGH bao gồm hai đoạn: một ở chế độ CEA và một ở chế độ dòng điện không đổi CC.

Hiệu số giữa “lệnh dòng điện” của chỉnh lưu và “lệnh dòng điện” của nghịch lưu gọi là “vùng biên” dòng điện  $I_m$ . Thường  $I_m$  được chỉnh định từ 10 đến 15% dòng định mức nhằm đảm bảo hai đặc tính dòng điện không đổi (CC) không trùng nhau hay cắt nhau do sai số trong phép đo hay do các nguyên nhân khác.

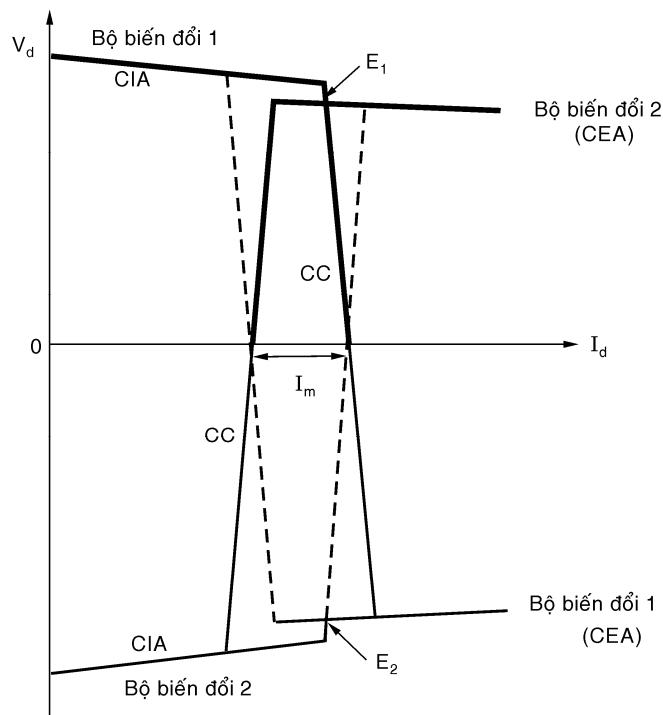
Trong vận hành bình thường (biểu diễn bởi giao điểm E), chỉnh lưu điều khiển dòng điện còn nghịch lưu điều khiển điện áp một chiều.

Với điện áp chỉnh lưu bị sụt giảm (do sự cố gần đó), tình trạng vận hành được biểu diễn bởi điểm E'. Khi đó, nghịch lưu điều khiển dòng điện trong khi chỉnh lưu hình thành điện áp. Trong

kiểu vận hành này vai trò của chỉnh lưu và nghịch lưu trong việc điều khiển điện áp và dòng điện bị đảo ngược gọi là sự đổi kiểu hoạt động.

#### Kết hợp đặc tính chỉnh lưu và nghịch lưu

Trong hầu hết các hệ thống HVDC, một bộ biến đổi được yêu cầu hoạt động được ở hai chế độ chỉnh lưu cũng như nghịch lưu. Như vậy một bộ biến đổi có đường đặc tính kết hợp như trong H.14.21:



**Hình 14.21:** Vận hành với mỗi bộ biến đổi có kết hợp các đặc tính chỉnh lưu và nghịch lưu

Đường đặc tính của một bộ biến đổi gồm ba đoạn: đoạn góc kích không đổi (CIA), đoạn dòng điện không đổi (CC) và đoạn góc tắt không đổi (CEA).

Công suất truyền tải từ bộ biến đổi 1 đến bộ biến đổi 2 ứng với đường đặc tính vẽ liền nét, tình trạng hoạt động biểu diễn bởi điểm  $E_1$ .

Công suất truyền tải theo chiều ngược lại ứng với đường đặc tính vẽ đứt nét. Điều này đạt được bằng cách đảo ngược vùng biên dòng điện. Khi đó “lệnh dòng điện” của bộ biến đổi 2 được chỉnh định lớn hơn “lệnh dòng điện” của bộ biến đổi 1. Tình trạng hoạt động này được biểu diễn bởi điểm  $E_2$ . Dòng điện  $I_d$  như trước đây nhưng  $V_d$  có cực tính bị đảo ngược.

#### Tóm tắt các nguyên tắc điều khiển cơ bản

Hệ thống HVDC về cơ bản được điều khiển theo dòng điện không đổi vì hai lý do quan trọng sau:

- Giới hạn quá dòng điện và giảm thiểu thiệt hại do sự cố.
- Tránh cho hệ thống ngừng hoạt động do dao động điện áp pha xoay chiều.

Do điều khiển dòng điện không đổi tác động nhanh mà hệ thống HVDC hoạt động rất ổn định.

Tóm tắt các nét chính của hệ thống điều khiển cơ bản như sau:

a) Chính lưu được cung cấp điều khiển dòng điện và điều khiển góc  $\alpha$  giới hạn. Chuẩn tối thiểu của  $\alpha$  khoảng  $5^0$  sao cho có đủ điện áp dương đặt lên các van kích dẫn và để đảm bảo chuyển mạch thành công. Trong kiểu điều khiển dòng điện, bộ điều chỉnh điều khiển góc kích và do đó điều khiển điện áp DC nhằm duy trì dòng điện bằng với "lệnh dòng điện". Trong khi đó, điều chỉnh đầu phân áp của máy biến áp biến đổi nhằm giữ góc  $\alpha$  trong khoảng từ  $10^0$  đến  $20^0$ . Một thời gian trễ được chỉnh định để tránh sự thay đổi không cần thiết của đầu phân áp do sự vượt quá độ của góc  $\alpha$ .

b) Nghịch lưu được cung cấp điều khiển góc tắt không đổi (CEA) và một điều khiển dòng điện. Trong kiểu điều khiển CEA, góc  $\gamma$  được điều chỉnh ở trị số khoảng  $15^0$ . Trị số này tương ứng cho sự phối hợp giữa mức tiêu thụ công suất kháng chấp nhận được và thất bại trong chuyển mạch là ít xảy ra. Điều khiển đầu phân áp được dùng để giữ góc  $\gamma$  trong phạm vi mong muốn từ  $15^0$  đến  $20^0$ .

c) Trong điều khiển bình thường, chính lưu ở cách điều khiển dòng điện CC và nghịch lưu ở cách điều khiển CEA. Nếu có sự sụt giảm trong điện áp xoay chiều ở đầu chỉnh lưu thì góc kích chỉnh lưu giảm xuống đến giới hạn  $\alpha_{min}$  và hoạt động theo cách điều khiển  $\alpha_{min}$  CIA trong khi đó nghịch lưu hoạt động theo điều khiển dòng điện CC.

## 14.8 NGẮN MẠCH TRÊN ĐƯỜNG DÂY DC

Ngắn mạch trên đường dây DC thường là ngắn mạch giữa một cực với đất. Ngắn mạch giữa các cực rất hiếm xảy ra. Theo nghiên cứu thì sét đánh không bao giờ gây ra ngắn mạch hai cực.

Ngắn mạch một cực chạm đất sẽ khóa dòng công suất đi trên cực đó và cực còn lại không bị ảnh hưởng. Như sét nói dưới đây, ảnh hưởng do ngắn mạch của đường dây một chiều lên hệ thống điện xoay chiều không nặng nề bằng ngắn mạch ngay trên lưỡi xoay chiều.

Ngắn mạch đột nhiên làm cho dòng điện chính lưu tăng lên (vì chỉnh lưu đang cung cấp cho tổng trở ngắn mạch thấp hơn là cung cấp cho sức phản điện cao bên trong nghịch lưu) trong khi đó dòng điện phía nghịch lưu giảm xuống.

Bộ điều khiển chỉnh lưu tác động nhanh làm giảm điện áp một chiều và đưa dòng điện về trị số chính định ban đầu ( $I_{or\ d}$ ). Ở nghịch lưu, dòng điện trở nên nhỏ hơn trị số chính định chuẩn ( $I_{or\ d} - I_m$ ). Như vậy kiểu hoạt động của nghịch lưu chuyển từ điều khiển CEA về điều khiển CC. Điều này làm cho điện áp giảm về không và đổi dấu như trong đường 2 của H.14.22. và hoạt động như một chỉnh lưu. Điện áp trên chỉnh lưu và nghịch lưu bằng sụt áp RI trên đường dây từ mỗi bộ biến đổi đến điểm ngắn mạch. Dòng điện chính lưu là  $I_{or\ d}$  và dòng điện trên nghịch lưu là  $I_{or\ d} - I_m$ . Dòng điện tại điểm ngắn mạch bằng với biên dòng điện  $I_m$  khoảng 15% dòng điện định mức (H.14.22).

Điều khiển bộ biến đổi tác động theo chuẩn bình thường như nói trên có đặc điểm là có khả năng giới hạn dòng ngắn mạch đến giá trị  $I_m$  nhưng không dập tắt được hồ quang. Do đó một điều khiển bổ sung thêm để giảm dòng điện và điện áp phục hồi ở chỗ ngắn mạch về trị số không.

Sự cố được phát hiện từ sự sụt giảm điện áp ở chính lưu và từ việc giảm dòng điện phía nghịch lưu. Cả độ lớn và tốc độ thay đổi của điện áp được dùng để phát hiện sự cố. Sự cố trên hệ thống xoay chiều bên ngoài kết nối DC không tạo ra sụt giảm điện áp nhanh như vậy.

Để loại trừ sự cố, bộ nghịch lưu vẫn giữ ở chế độ nghịch lưu và bộ chỉnh lưu cũng chuyển sang làm việc ở nghịch lưu. Để hình thành các điện áp theo đúng cực tính ứng với chế độ làm việc được đề nghị thì góc  $\beta$  được giữ ở giới hạn tối đa khoảng  $80^\circ$  (cho phép điện áp nghịch lưu giảm thấp nhưng không đổi ngược dấu) và góc trễ  $\alpha$  của chỉnh lưu được dịch chuyển lên trên  $90^\circ$  đến khoảng  $140^\circ$ . Kết quả có được trắc đồ điện áp như đường 3. Dòng điện trên cực có khuynh hướng đổi chiều theo như mô tả trên trắc đồ. Nhưng vì dòng qua chỉnh lưu không thể đảo ngược do tính chất dòng điện chỉ đi được theo một chiều qua các van nên bắt buộc dòng điện phải giảm nhanh chóng giảm về số không (khoảng 10 ms). Quá trình loại trừ sự cố này gọi là quá trình “trễ cưỡng bức” tác động nhanh.

1. Trong vận hành bình thường
2. Với ngắn mạch trên đường DC và điều khiển theo chuẩn bình thường
3. Với bảo vệ tác động nhanh.

## 14.9 MÔ HÌNH HỆ THỐNG HVDC

Trong mục này sẽ khảo sát mô hình hóa hệ thống HVDC trong phân bố công suất và khảo sát ổn định. Biểu diễn hệ thống HVDC đòi hỏi các xem xét sau:

- Mô hình bộ biến đổi.
- Mô hình đường dây truyền tải DC và mạng điện.
- Giao tiếp giữa hệ thống DC và AC.
- Mô hình hệ thống điều khiển DC.

Biểu diễn bộ biến đổi dựa vào các giả thiết sau:

a) Dòng điện một chiều không gợn sóng.

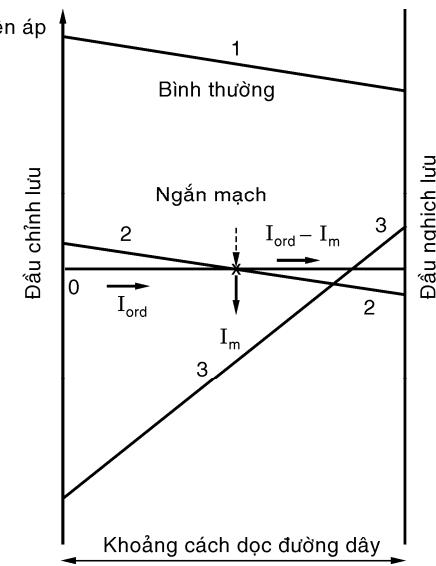
b) Hệ thống AC ở phía chính lưu và nghịch lưu hoàn toàn hình sin, tần số không đổi, nguồn điện áp cân bằng đặt sau tổng trở tương đương cân bằng trên 3 pha. Điều này giả thiết mọi họa tần của dòng điện và điện áp gây ra bởi hệ thống chuyển mạch không lan truyền vào hệ thống xoay chiều do có mạch lọc lý tưởng.

c) Máy biến áp biến đổi không bảo hòa.

### Biểu diễn cho lời giải phân bố công suất

Từ các phân tích trên, các phương trình của bộ biến đổi được tóm tắt như sau:

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot B \cdot T \cdot E_{AC}$$



**Hình 14.22:** Trắc đồ điện áp  
của đường dây DC

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_c I_d \cdot B$$

hay:

$$V_d = V_{d0} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} X_c I_d \cdot B \quad (14.36)$$

$$\varphi = \arccos(V_d/V_{d0})$$

$$P = V_d I_d = P_{AC}$$

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

trong đó:

$E_{AC}$ : điện áp dây hiệu dụng ở thanh cái cao áp

$T$ : tỷ số biến áp

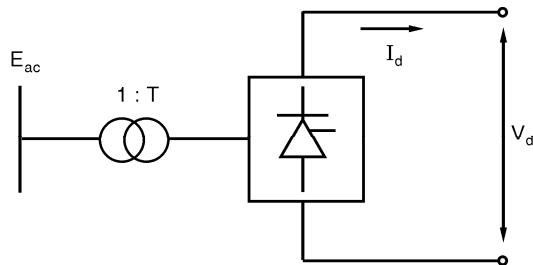
$B$ : số cầu mắc nối tiếp

$P$ : công suất tác dụng

$Q$ : công suất phản kháng

$X_c = \omega L_c$ : điện kháng chuyển mạch mỗi cầu/phai

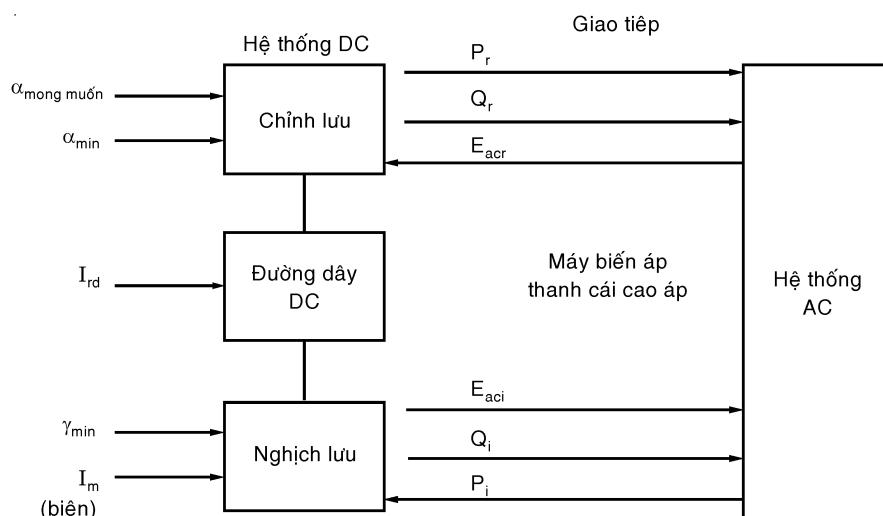
$V_d, I_d$ : điện áp, dòng điện mỗi cực



Phương trình xác định hệ số công suất là gần đúng nhằm đơn giản trong tính toán và cho kết quả với độ chính xác chấp nhận được. Để minh họa, xét đường dây DC có hai đầu ký hiệu r và i để chỉ cho các đại lượng chỉnh lưu và nghịch lưu, phương trình đối với đường dây DC có điện trở  $R_L$  được viết:

$$V_{dr} = V_{di} + R_L I_d$$

Giao tiếp AC/DC ở thanh cái cao áp (H.14.23):



Hình 14.23: Giao tiếp giữa hệ thống AC và DC

Khảo sát phân bố công suất yêu cầu lời giải của các phương trình hệ thống DC và AC. Một phương pháp là dùng phép lặp hai hệ phương trình với thanh cái cao áp của máy biến áp biến đổi (phía AC) tạo giao tiếp giữa các phương trình AC và DC.

Ở đây  $E_{acr}$  và  $E_{aci}$  được xem là các dữ liệu đầu vào đối với phép giải các phương trình của hệ thống DC có được từ lời giải của hệ thống xoay chiều của bước trước.

Các biến  $P_r, Q_r, P_i, Q_i$  được coi là lời giải của các phương trình hệ thống DC. Chúng được

dùng làm dữ liệu đầu vào trong lần lặp kế tiếp để giải các phương trình của hệ thống AC.

Các biến độc lập và phụ thuộc trong phép giải các phương trình DC phụ thuộc vào cách điều khiển chỉnh lưu và nghịch lưu. Có hai cách vận hành:

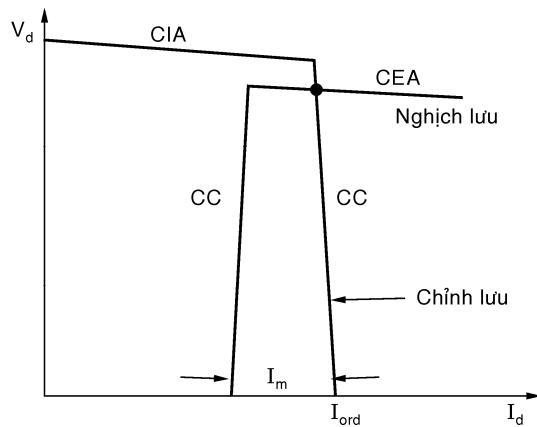
- Cách 1: Chỉnh lưu điều khiển CC, nghịch lưu điều khiển CEA
- Cách 2: Chỉnh lưu điều khiển CIA, nghịch lưu điều khiển CC

Ngoài ra còn cách vận hành theo đặc tính có bù chính hay dùng trong khảo sát ổn định, ở đây chỉ đề cập hai cách vận hành chủ yếu nói trên.

*Cách 1: Chỉnh lưu CC, nghịch lưu CEA (H.14.24)*

Trong cách này:

- Góc kích ở nghịch lưu được điều chỉnh để có góc  $\gamma = \gamma_{\min}$
- Góc kích ở chỉnh lưu được điều chỉnh để cho  $I_d = I_{ord}$  (lệnh dòng điện)
- Đầu phân áp máy biến áp phía chỉnh lưu được điều chỉnh để có góc  $\alpha$  ở trong khoảng mong muốn.
- Đầu phân áp máy biến áp phía nghịch lưu được điều chỉnh để có điện áp mong muốn.



**Hình 14.24: Điều khiển theo cách 1**

Từ phương trình (14.36) với  $I_d = I_{ord}$ , có thể viết các phương trình của nghịch lưu như sau:

$$\begin{aligned} V_{doi} &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} B_i T_i E_{ACi} \\ V_{di} &= V_{doi} \cdot \cos \gamma_{\min} - \frac{3}{\pi} X_{ci} B_i I_{ord} \end{aligned} \quad (14.37)$$

$$\varphi_i = \arccos(V_{di}/V_{doi})$$

$$P_i = V_{di} I_{ord}$$

$$Q_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$$

Vì  $\gamma_{\min}$  và  $I_{ord}$  được biết và  $E_{ACi}$  có được từ lời giải xoay chiều trước đó nên có thể tính được  $V_{di}$ ,  $P_i$ , và  $Q_i$ . Đầu phân áp có thể được điều chỉnh để cho  $V_{di}$  trong khoảng mong muốn.

Các phương trình của chỉnh lưu:

$$\begin{aligned} V_{dr} &= V_{di} + R_L I_{ord} \\ V_{dor} &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{ACr} B_r T_r \end{aligned} \quad (14.38)$$

$$\alpha = \arccos \left( \frac{V_{dr}}{V_{d0r}} + \frac{X_{cr} I_{ord}}{\sqrt{2} E_{ACr} T_r} \right)$$

Trong các phương trình trên, điện áp  $E_{ACr}$  được biết từ lời giải xoay chiều trước đó, tỷ số biến áp  $T_r$  được điều chỉnh để có được  $\alpha$  trong khoảng mong muốn.

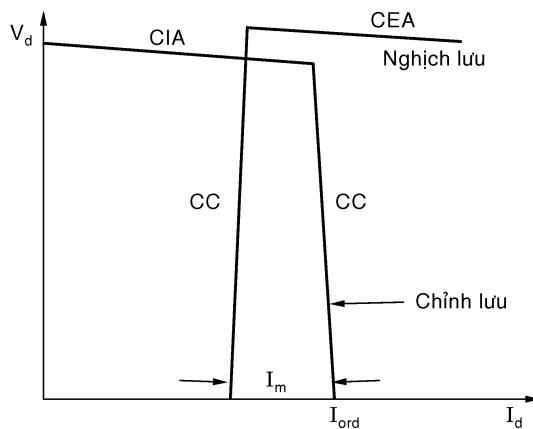
$$\varphi_r = \arccos(V_{dr}/V_{d0r})$$

$$P_r = V_{dr} \cdot I_{ord}$$

$$Q_r = P_r \operatorname{tg} \varphi_r$$

Do đó,  $P_i, P_r, Q_i, Q_r$  là số liệu đầu ra của hệ thống DC được dùng làm số liệu đầu vào để tìm lời giải của hệ thống AC trong bước lặp tiếp theo.

Cách 2: Chính lưu CIA, nghịch lưu CC (H.14.25.)



**Hình 14.25:** Điều khiển theo cách 2

Trong cách 2 có các điều kiện sau:

- Góc kích chính lưu ở  $\alpha = \alpha_{min}$
- Góc kích nghịch lưu được điều chỉnh để có  $I_d = I_{ord} - I_m$
- Đầu phân áp máy biến áp chính lưu được điều chỉnh để có điện áp DC lớn nhất
- Đầu phân áp máy biến áp nghịch lưu được điều chỉnh sao cho góc  $\gamma = \gamma_{min}$  và tiêu thụ công suất kháng ít nhất.

Các phương trình phía chính lưu:

$$V_{d0r} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} B_r T_r E_{ACr}$$

$$V_{dr} = V_{d0r} \cos \alpha_{min} - \frac{3}{\pi} X_{cr} (I_{ord} - I_m) B_r$$

$$\varphi_r = \arccos(V_{dr}/V_{d0r})$$

$$P_r = V_{dr} (I_{ord} - I_m)$$

$$Q_r = P_r \operatorname{tg} \varphi_r$$

Trong các biểu thức trên,  $E_{ACr}$  được biết từ lời giải xoay chiều trước đó và  $I_d$  được giữ ở trị số  $I_{ord} - I_m$  bởi nghịch lưu. Tỷ số biến áp được điều chỉnh để có được  $V_{dr}$  lớn nhất.

Với  $E_{ACr}$  được biết từ lời giải xoay chiều trước đó, các phương trình nghịch lưu được giải như sau:

$$V_{doi} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{AC,i} B_i T_i$$

$$V_{di} = V_{dr} - R_L I_d = V_{dr} - R_L (I_{ord} - I_m)$$

$$\gamma = \arccos \left[ \frac{V_{di}}{V_{doi}} + \frac{X_{ci}(I_{ord} - I_m)}{\sqrt{2}E_{AC,i}T_i} \right]$$

$$\varphi_i = \arccos(V_{di}/V_{doi})$$

$$P_i = V_{di} I_d = V_{di} (I_{ord} - I_m)$$

$$Q_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$$

Tỷ số biến áp  $T_i$  có thể được điều chỉnh để đảm bảo góc  $\gamma > \gamma_{min}$  và có được mức tiêu thụ công suất kháng thấp nhất.  $P_i, P_r, Q_i, Q_r$  là số liệu đầu ra của hệ thống DC được dùng làm số liệu đầu vào để tìm lời giải của hệ thống AC trong bước lặp tiếp theo.

### Ví dụ 14.2

Một đường dây DC lưỡng cực công suất 1000 MW,  $\pm 250$  kV, điện trở đường dây  $10 \Omega/\text{dây}$ . Mạch đổi điện là cầu 12 xung với  $R_c = \frac{3}{\pi} X_c = 12 \Omega$  ( $6 \Omega$  cho mỗi cầu chỉnh lưu 6 xung)

Vận hành của đường dây lưỡng cực (H.14.26) được phân tích bằng cách xem như đường dây đơn cực  $+500$  kV. Góc kích trễ tối thiểu của bộ chỉnh lưu  $\alpha_{min} = 5^\circ$ . Bỏ qua tổn hao và sụt áp thuận trên các van.

Đường dây DC vận hành với mạch chỉnh lưu điều khiển ở CC với  $\alpha_0 = 18,167^\circ$  và nghịch lưu điều khiển ở CEA với  $\gamma_0 = 18,167^\circ$ . Biên dòng điện  $I_m$  được điều chỉnh bằng 15% dòng định mức và tỷ số biến áp của máy biến áp biến đổi là 0,50. Ở đầu nghịch lưu, công suất một chiều là 1000 MW và điện áp một chiều là 500 kV (tương đương với đường dây đơn cực). Trong ví dụ này qui ước gọi thanh cái cao áp của máy biến áp là phía nối với điện xoay chiều.

a) Với điều kiện vận hành nói trên, tính:

- i) Hệ số công suất và công suất kháng phía cao áp của bộ nghịch lưu
- ii) Góc chồng chập chuyển mạch  $\mu$  của nghịch lưu.
- iii) Trị số hiệu dụng của điện áp đường dây xoay chiều, thành phần cơ bản của dòng điện đường dây và công suất phản kháng ở thanh cái cao áp bộ chỉnh lưu.

b) Nếu sụt áp ở thanh cái cao áp phía chỉnh lưu là 20%, tính:

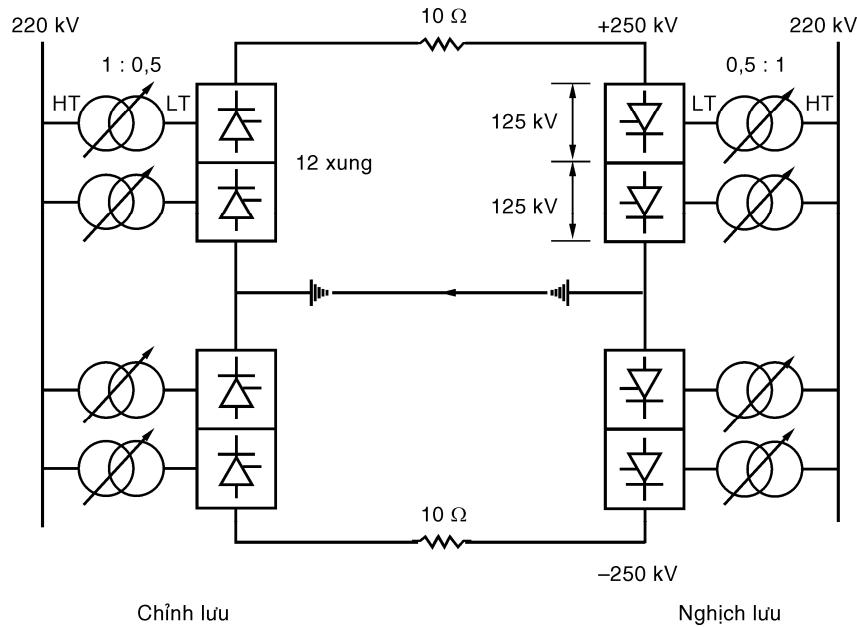
- i) Điện áp một chiều ở đầu chỉnh lưu và nghịch lưu
- ii) Góc  $\alpha$  phía chỉnh lưu, góc  $\gamma$  và  $\mu$  phía nghịch lưu
- iii) Công suất tác dụng và phản kháng ở thanh cái cao áp của chỉnh lưu và nghịch lưu

Giả thiết đầu phân áp của máy biến áp không thay đổi và điện áp xoay chiều phía nghịch lưu được giữ không đổi.

c) Nếu sụt áp ở thanh cái cao áp xoay chiều phía nghịch lưu là 15% và điện áp xoay chiều phía chỉnh lưu được giữ ở trị số ban đầu, hãy xác định sau khi điều chỉnh đầu phân áp:

- i) Điện áp DC ở đầu chỉnh lưu và nghịch lưu
- ii) Góc  $\alpha$  phía chỉnh lưu và góc  $\gamma$  phía nghịch lưu
- iii) Công suất tác dụng và phản kháng ở đầu chỉnh lưu và nghịch lưu

Tác dụng của điều chỉnh đầu phân áp phía chỉnh lưu nhằm giữ cho góc  $\alpha$  trong khoảng từ  $15^\circ$  đến  $20^\circ$  và điều chỉnh đầu phân áp phía nghịch lưu nhằm giữ cho điện áp DC phía nghịch lưu trong khoảng từ 500 đến 510 kV. Giả thiết vị trí cao nhất và thấp nhất của đầu phân áp ứng với 1,2 và 0,8 dvtd và mỗi nấc phân áp thay đổi 0,01 dvtd.



Hình 14.26: Sơ đồ hệ thống HVDC Ví dụ 14.2

### Giải

Mạch tương đương của hệ thống được trình bày trong H.14.27.

#### a) Điều kiện vận hành ban đầu

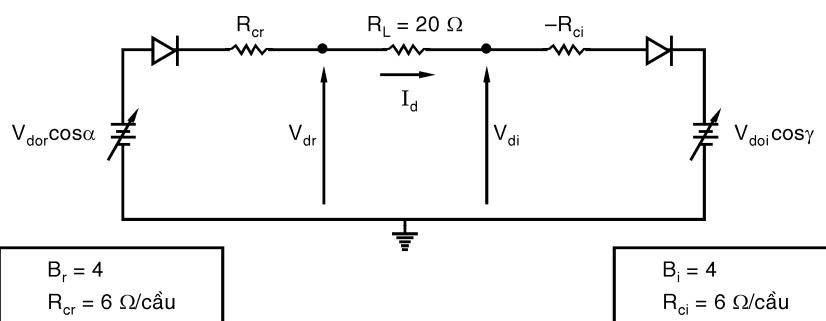
$$\alpha_0 = \gamma_0 = 18,167^\circ \quad P_i = 1000 \text{ MW}$$

$$T_r = T_i = 0,50 \quad V_{di} = 500 \text{ kV}$$

$$\text{Dòng điện một chiều: } I_d = \frac{P_d}{V_d} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ kA}$$

Điện áp không tải phía nghịch lưu (theo (14.16)):

$$V_{doi} = \frac{V_{di} + B_i R_{ci} I_d}{\cos \gamma_0} = \frac{500 + 4 \cdot 6 \cdot 2}{\cos 18,167^\circ} = 576,75 \text{ kV}$$



Hình 14.27: Mạch tương đương

i) Hệ số công suất ở thanh cáp áp bộ nghịch lưu:

$$\cos\varphi_i = \frac{V_{di}}{V_{d0i}} = \frac{500}{576,75} = 0,867 \text{ suy ra } \varphi_i = 29,896^0$$

Công suất kháng ở thanh cái cao áp bộ nghịch lưu:

$$Q_i = P_i \operatorname{tg}\varphi_i = 1000 \cdot \operatorname{tg}29,896^0 = 574,94 \text{ MVAr}$$

ii) Vì  $V_{di} = V_{d0i} (\cos\gamma_0 + \cos\beta)/2$  (theo (14.14)):

$$\cos\beta = 2 \cdot \frac{V_{di}}{V_{d0i}} - \cos\gamma_0 = 2 \cdot \frac{500}{576,75} - \cos 18,167^0 = 0,7837$$

suy ra  $\beta = 38,399^0$

Do đó góc chuyển mạch nghịch lưu (theo (14.13)):

$$\mu_i = \beta_i - \gamma_0 = 38,999 - 18,167 = 20,232^0$$

iii) *Ở mạch chỉnh lưu*

$$V_{dr} = V_{di} + R_L I_d = 500 + 20 \cdot 2 = 540 \text{ kV}$$

và theo (14.30):

$$V_{d0r} = \frac{V_{dr} + B_r R_{cr} I_d}{\cos\alpha_0} = \frac{500 + 4.6.2}{\cos 18,167^0} = 618,85 \text{ kV}$$

Trị số hiệu dụng của điện áp xoay chiều ở thanh cái cao áp (theo (14.29)):

$$E_{Ac} = \frac{V_{d0r}}{1,3505 B_r T_r} = \frac{618,85}{1,3505 \cdot 4.0,5} = 229,85 \text{ kV}$$

Tổng dòng điện dây hiệu dụng tần số cơ bản qua 4 máy biến áp (theo (14.32)):

$$I_{Lir} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} B_r T_r I_d = 0,7797 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 2 = 3,119 \text{ kA}$$

Công suất một chiều ở đầu chỉnh lưu:

$$P_r = V_{dr} I_d = 540 \cdot 2 = 1080 \text{ MW}$$

Hệ số công suất ở thanh cái cao áp chỉnh lưu:

$$\cos\varphi_r = \frac{V_{dr}}{V_{d0r}} = \frac{540}{618,85} = 0,8726 \text{ suy ra } \varphi_r = 29,24^0$$

Công suất phản kháng ở thanh cái cao áp chỉnh lưu:

$$Q_r = P_r \operatorname{tg}\varphi_r = 1080 \operatorname{tg}29,24^0 = 604,57 \text{ MVAr}$$

b) *Sụt áp trên thanh cái cao áp phía chỉnh lưu*

Với đầu phân áp máy biến áp không thay đổi,  $V_{d0}$  tỷ lệ với  $E_{Ac}$ . Do đó khi sụt áp ở thanh cái cao áp HT chỉnh lưu là 20% thì:

$$V_{d0r} = 0,80 \cdot 618,85 = 495,08 \text{ kV}$$

Giả thiết đường dây DC vận hành theo cách 1: chỉnh lưu điều khiển ở CC với  $I_d = I_{ord} = 2 \text{ kA}$  và nghịch lưu điều khiển theo CEA với  $V_{di} = 500 \text{ kV}$ . Điện áp một chiều tương ứng ở đầu chỉnh lưu:

$$V_{dr} = V_{di} + R_L I_d = 500 + 20 \cdot 2 = 540 \text{ kV}$$

Do đó theo (14.36):

$$\cos\alpha = \frac{V_{dr} + B_r R_{cr} I_d}{V_{d0r}} = \frac{540 + 4.6.2}{495,08} > 1$$

Do đó cách 1 không thỏa mãn. Điều khiển chuyển sang cách 2: chỉnh lưu điều khiển theo CIA với  $\alpha = \alpha_{min} = 5^0$  và nghịch lưu điều khiển theo CC với:

$$I_d = I_{ord} - I_m = 2 - 0,15 \cdot 2 = 1,7 \text{ kA}$$

i) *Điện áp DC chỉnh lưu và nghịch lưu* theo (14.36):

$$\begin{aligned} V_{dr} &= V_{dor} \cos \alpha_{min} - B_r R_{cr} I_d \\ &= 495,08 \cos 5^0 - 4 \cdot 6 \cdot 1,7 = 452,39 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$V_{di} = V_{dr} - R_L I_d = 452,39 - 20 \cdot 1,7 = 418,39 \text{ kV}$$

ii) Vì *điện áp AC thanh cáp nghịch lưu không thay đổi*,  $V_{doi} = 576,75 \text{ kV}$

Với  $I_d = 1,7 \text{ kA}$ , theo (14.36):

$$\cos \gamma = \frac{V_{di} + B R_{ci} I_d}{V_{doi}} = \frac{418,39 + 4 \cdot 6 \cdot 1,7}{576,75} = 0,796$$

suy ra  $\gamma = 37,23^0$

Biết rằng:  $V_{di} = V_{doi} \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{2}$  (theo (14.14))

Do đó:  $\cos \beta = \frac{2V_{di}}{V_{doi}} - \cos \gamma = \frac{2 \cdot 18,39}{576,75} - 0,796 = 0,655$  suy ra  $\beta = 49,10^0$

Góc chuyển mạch nghịch lưu:

$$\mu_i = \beta - \gamma = 49,10 - 37,23 = 11,87^0$$

iii) *Công suất một chiều ở nghịch lưu*:

$$P_i = V_{di} \cdot I_d = 418,39 \cdot 1,7 = 711,26 \text{ MW}$$

Hệ số công suất ở thanh cáp cao áp nghịch lưu:

$$\cos \varphi_i = \frac{V_{di}}{V_{doi}} = \frac{418,39}{576,75} = 0,725 \text{ suy ra } \varphi_i = 43,49^0$$

Công suất kháng ở thanh cáp cao áp nghịch lưu:

$$Q_i = P_i \operatorname{tg} \varphi_i = 711,26 \cdot \operatorname{tg} 43,49^0 = 674,85 \text{ MVar}$$

Công suất một chiều ở chỉnh lưu

$$P_r = V_{dr} I_d = 452,39 \cdot 1,7 = 769,06 \text{ MW}$$

Hệ số công suất thanh cáp cao áp phía chỉnh lưu:

$$\cos \varphi_r = \frac{V_{dr}}{V_{dor}} = \frac{452,39}{495,08} = 0,914 \text{ suy ra: } \varphi_r = 23,97^0$$

Công suất kháng ở thanh cáp cao áp phía chỉnh lưu:

$$Q_R = P_r \operatorname{tg} \varphi_r = 769,06 \cdot \operatorname{tg} 23,97^0 = 341,87 \text{ MVar}$$

c) *Sụt áp trên thanh cáp cao áp phía nghịch lưu*

Khi sụt áp phía xoay chiều của nghịch lưu là 15% và điện áp xoay chiều phía chỉnh lưu vẫn giữ như bình thường, chọn vận hành theo cách 1. Như vậy chỉnh lưu điều khiển ở CC với:

$$I_d = I_{ord} = 2 \text{ kA}$$

và nghịch lưu điều khiển ở CEA với  $\gamma = 18,167^0$ .

Do có sụt áp ở điện áp xoay chiều, điện áp DC ở nghịch lưu cũng sụt giảm. Góc  $\alpha$  ở chỉnh lưu tăng lên làm giảm điện áp DC phía chỉnh lưu sao cho  $I_d$  vẫn giữ không đổi. Đầu phân áp phía chỉnh lưu thay đổi để giữ  $\alpha$  trong khoảng từ  $15^0$  đến  $20^0$  và đầu phân áp phía nghịch lưu thay đổi để giữ cho  $V_d$  trong khoảng từ 500 đến 510 kV.

Điện áp không tải lý tưởng tỷ lệ thuận với điện áp xoay chiều và tỷ số biến áp. Trong a) đã

tính điện áp không tải lý tưởng của chỉnh lưu và nghịch lưu ở điện áp xoay chiều bình thường và đầu phân áp ở vị trí định mức (tỷ số biến áp 0,5)

$$V_{d0r} = 618,85 \text{ kV} \quad \text{và} \quad V_{d0i} = 576,75 \text{ kV}$$

Với điện áp điện áp xoay chiều bình thường như trong a) nhưng thay đổi đầu phân áp thì điện áp không tải lý tưởng phía chỉnh lưu cho bởi:

$$V_{d0r} = 618,75 \cdot t_r' \quad \text{kV}$$

với  $t_r'$  là vị trí của đầu phân áp trong đvtđ (thay đổi từ 0,8 đến 1,2)

Tương tự, đối với nghịch lưu với điện áp xoay chiều giảm 15%

$$V_{d0i} = 576,75 \cdot 0,85 \cdot t_i' = 490,24 \cdot t_i'$$

Như vậy, điện áp DC phía nghịch lưu:

$$\begin{aligned} V_{di} &= V_{d0i} \cos \gamma - B_i R_{ci} I_d \\ &= 490,24 t_i' \cos 18,167^\circ - 4 \cdot 6 \cdot 2 = 465,72 \cdot t_i' - 48 \quad \text{kV} \end{aligned} \quad (\text{td.1})$$

Điện áp một chiều phía chỉnh lưu yêu cầu để giữ  $I_d$  ở mức 2 kA

$$V_{dr} = V_{di} + R_L I_d = V_{di} + 20 \cdot 2 = V_{di} + 40 \quad \text{kV} \quad (\text{td.2})$$

Ngoài ra còn có thể tính theo phía chỉnh lưu:

$$\begin{aligned} V_{dr} &= V_{d0r} \cos \alpha - B_r R_{cr} I_d \\ &= 618,85 t_r' \cos \alpha - 48 \text{ kV} \end{aligned} \quad (\text{td.3})$$

Suy ra:

$$\cos \alpha = \frac{V_{di} + 88}{618,85 t_r'} \quad (\text{td.4})$$

Bảng số sau đây trình bày sự biến thiên của  $V_{di}$  và  $\alpha$  khi  $t_i'$  và  $t_r'$  thay đổi từ trị số ban đầu của chúng để thỏa mãn các yêu cầu của điều khiển. (Dùng các pt (td.1) đến (td.4))

$t_i'$	$t_r'$	$V_{di}$ (kV)	$\alpha$ (độ)
1,0	1,0	417,7	35,2
1,01	0,99	422,4	33,6
...	...	...	...
1,07	0,93	450,3	20,7
1,08	0,93	455,0	19,4
...	...	...	...
1,10	0,93	464,3	16,3
1,11	0,93	468,9	14,6
1,12	0,94	473,6	15,1
1,13	0,95	478,3	15,6
...	...	...	...
1,17	0,98	496,9	15,3
1,18	0,99	501,5	15,8

Ghi chú:  $V_{di}$  dùng phương trình (td.1)

$\alpha$  dùng phương trình (td.4)

Từ bảng số nhận xét đầu phân áp phía nghịch lưu tăng cho đến khi  $t_i = 1,18$  tương ứng ứng với  $V_{di} = 501,55$  kV.

Vị trí đầu phân áp phía chỉnh lưu  $t_r$  thỏa mãn yêu cầu điều khiển là 0,99 tương ứng góc  $\alpha = 15,8^0$  và điện áp một chiều phía chỉnh lưu suy ra từ phương trình (td.3):

$$V_{dr} = 615,85 \cdot 0,99 \cdot \cos 15,8^0 - 48 = 541,51 \text{ kV}$$

Công suất đầu chỉnh lưu :

$$P_r = V_{dr} I_d = 541,51 \cdot 2 = 1083,02 \text{ MW}$$

Hệ số công suất thanh cái cao áp phía chỉnh lưu:

$$\cos\varphi_r = \frac{V_{dr}}{V_{d0r}} = \frac{541,51}{618,55 \cdot 0,99} = 0,884$$

Công suất kháng:

$$Q_r = P_r \operatorname{tg}\varphi_r = 1083,02 \cdot \operatorname{tg}\varphi_r = 573,2 \text{ MW}$$

Ở đầu nghịch lưu:

$$P_i = V_{di} I_d = 501,55 \cdot 2 = 1003,1 \text{ MW}$$

$$\cos\varphi_i = \frac{V_{di}}{V_{d0i}} = \frac{501,55}{490,24 \cdot 1,18} = 0,867$$

$$Q_i = P_i \operatorname{tg}\varphi_i = 1003,1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_i = 576,7 \text{ MVar}$$

## 14.10 SO SÁNH VỀ KINH TẾ CỦA HAI ĐƯỜNG AC VÀ DC

Xét hai đường dây xoay chiều và một chiều có cùng số dây dẫn và sứ cách điện. Hãy so sánh công suất tải trên mỗi dây của hai trường hợp. Nếu cả hai có cùng giới hạn phát nóng, dòng điện một chiều bằng với dòng hiệu dụng xoay chiều. Giả thiết sứ cách điện cùng chịu điện áp đỉnh so với đất. Như vậy điện áp một chiều bằng  $\sqrt{2}$  lần trị số hiệu dụng của điện áp xoay chiều.

Công suất DC trên mỗi dây:

$$P_{dc} = V_{dc} I_d$$

Công suất AC trên mỗi dây pha:

$$P_{ac} = V_{ac} I_{ac} \cos\varphi$$

trong đó  $I_d$  và  $I_{ac}$  là dòng điện dây;

$V_{dc}$  và  $V_{ac}$  là điện áp giữa dây và đất;

$\cos\varphi$ : hệ số công suất.

$$\frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc} I_{dc}}{V_{ac} I_{ac} \cos\varphi} = \frac{\sqrt{2}}{\cos\varphi}$$

$$\text{Giả sử } \cos\varphi = 0,945 \Rightarrow \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = 1,5$$

Bây giờ so sánh đường dây ba pha ba dây AC với đường dây DC lưỡng cực hai dây. Khả năng tải công suất lần lượt của mỗi đường là:

$$P'_{dc} = 2P_{dc} \text{ và } P'_{ac} = 3P_{ac}$$

$$\text{Suy ra: } \frac{P'_{dc}}{P'_{ac}} = \frac{2}{3} \cdot 1,5 = 1$$

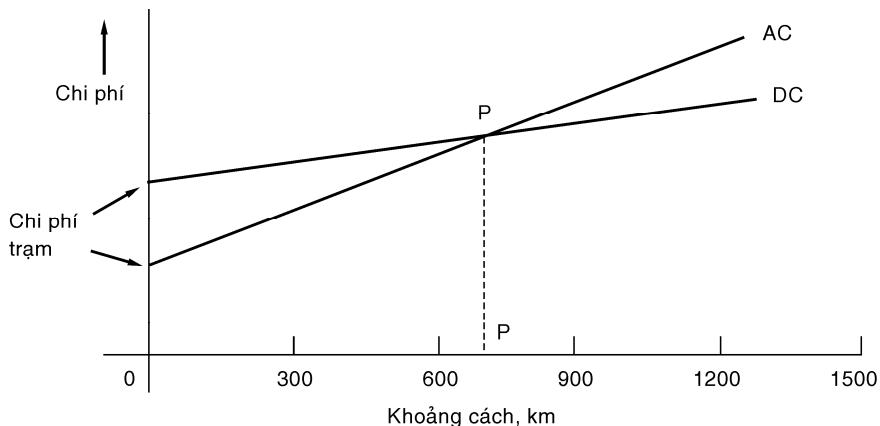
Như vậy cả hai đường DC và AC có khả năng tải công suất như nhau. Tuy vậy, đường dây DC đơn giản và rẻ tiền hơn do chỉ có hai dây thay vì ba dây dẫn. Hơn nữa, đường dây trên không DC chỉ tốn  $2/3$  số sứ cách điện so với đường AC và kết cấu trụ đơn giản, rẻ tiền hơn, hẹp hơn. Đường đi ít choán hành lang hơn. Cả hai đường dây có cùng tổn thất công suất trên mỗi dây và phần trăm tổn thất của đường DC chỉ bằng  $2/3$  của đường AC.

Nếu dùng cáp ngầm thay vì dây trên không thì độ bền cách điện (tính bằng điện áp làm việc cho phép trên mỗi đơn vị bề dày của cách điện) cao hơn đối với đường DC, hơn nữa, hệ số công suất của đường DC bằng đơn vị trong khi hệ số công suất của đường AC thấp hơn trị số  $\cos\phi$  giả thiết ở trên. Các thuận lợi nghiêng về phía đường DC này cho phép tăng tỷ số  $P_{dc}/P_{ac}$  cao hơn.

Vì giới hạn truyền công suất của đường dây AC trên không thường được qui định bởi các yếu tố khác hơn là giới hạn phát nóng, tỷ số công suất trên mỗi dây có thể tăng đến 4 lần.

Tuy vậy, chi phí cho các trạm biến đổi ở hai đầu của đường DC cao hơn so với chi phí trạm biến áp ở đường dây AC. Nếu vẽ đường biểu diễn chi phí theo khoảng cách truyền tải (H.14.28), độ dốc của đồ thị cho biết chi phí mỗi đơn vị chiều dài và các thiết bị. Giao điểm P gọi là điểm tối hạn cho thấy nếu khoảng cách truyền tải lớn hơn Op thì có thể dùng điện một chiều.

Hiện tại có khuynh hướng giảm chi phí của các thiết bị trạm xoay chiều, nhưng với sự phát triển trong công nghệ các bộ biến đổi khoảng cách tối hạn đang được giảm xuống theo sự phát triển của các thiết bị DC.



**Hình 14.28:** So sánh chi phí đường dây DC và AC

Ngày nay, khoảng cách tối đối với truyền tải DC là khoảng 700 km đối với đường dây trên không. Tuy vậy, khoảng cách tối hạn thay đổi tùy theo dự án và có thể được kiểm chứng. Sự chênh lệch trong chi phí xây dựng giữa đường cáp ngầm AC và đường DC dưới biển hay dưới đất cao gấp nhiều lần so với đường dây trên không. Điều này cho thấy khoảng cách tối hạn đối với tải điện bằng cáp ngầm là nhỏ hơn nhiều và trong khoảng từ 30 đến 50 km.

## 14.11 CÁC DỰ KIẾN TRONG TƯƠNG LAI

Nhiều công trình nghiên cứu và phát triển đang được tiến hành nhằm có được sự hiểu biết tốt hơn về vận hành đường dây DC. Mục tiêu đặt ra là có được công nghệ hiệu quả và kinh tế trong việc chế tạo các van thyristor hay các linh kiện điện tử công suất hiện đại hơn và các thiết

bị có liên quan nhằm minh chứng cho việc sử dụng phương án cấu hình hệ thống HVDC.

Các hệ thống điện trong tương lai sẽ bao gồm truyền tải hỗn hợp hai hệ thống AC và DC. Các bộ điều khiển trong tương lai đặt trên cơ sở của vi xử lý và có thể được bổ sung hay nâng cấp mà không cần phải thay đổi kết cấu phần cứng cũng như không gây ra mất điện toàn bộ hệ thống. Trong khi một bộ điều khiển đang hoạt động thì một bộ điều khiển thứ hai đang ở tình trạng dự trữ “nóng” để có thể được dùng đến trong trường hợp khẩn cấp.

Trong tương lai gần, hệ thống sợi quang học được dùng để tạo tín hiệu kích dẫn và sự kích dẫn trực tiếp các thyristor bằng ánh sáng sẽ được dùng trong các bộ biến đổi HVDC.

Mặc dù hiện tại sơ đồ HVDC vận hành tốt mà không cần đến các máy cắt điện một chiều, rõ ràng sự phát triển tương lai dần đến các cấu hình mới của hệ thống HVDC thì tính linh hoạt trong vận hành sẽ đạt được với việc sử dụng máy cắt DC. Việc dòng điện không đi qua trị số không tồn tại vấn đề khó khăn trong việc cắt dòng điện một chiều.

Điều đã rõ ràng là truyền tải HVDC đã cho thấy tính hiệu quả và tin cậy và là phương án hiệu quả về chi phí so với tải điện xoay chiều trong một số ứng dụng.

Hiện nay đang có nhiều nỗ lực trong nghiên cứu và phát triển công nghệ về bán dẫn, hy vọng rằng bộ biến đổi HVDC và hệ thống tải điện một chiều liên kết nhiều đầu (MTDC) sẽ đóng một vai trò lớn hơn trong thế kỷ 21.