

ĐẶNG THÁI SƠN - TRỊNH NGỌC HOÀNG
(Chủ biên)

NGUYỄN HỒNG QUẢNG - NGUYỄN PHÚC NGỌC
PHẠM HOÀNG NAM

GIÁO TRÌNH

KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ

(DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC NGÀNH KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ)

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VINH

© Bản quyền thuộc về tác giả và Trường Đại học Vinh
Không được in ấn, sao chụp, phát hành dưới mọi hình thức khi chưa có văn bản
cho phép của tác giả và Trường Đại học Vinh.

MỤC LỤC

Lời nói đầu	7
PHẦN I. MẠCH ĐIỆN	9
Chương 1. Đại cương về mạch điện.....	11
1.1. Các khái niệm và phân loại mạch điện	11
1.2. Các đại lượng đặc trưng cho mạch điện	13
1.3. Mô hình mạch điện và các thông số	15
1.4. Các định luật cơ bản	19
1.5. Biến đổi tương đương mạch điện	24
1.6. Phương pháp phân tích mạch điện phức tạp	36
Tóm tắt nội dung chương 1	47
Câu hỏi và bài tập chương 1	51
Tài liệu đọc thêm chương 1	55
Chương 2. Mạch điện xác lập điều hòa	57
2.1. Dòng điện điều hòa.....	58
2.2. Biểu diễn dòng điện điều hòa	62
2.3. Dòng điện điều hòa qua các phần tử R, L, C	70
2.4. Công suất mạch xác lập điều hòa	88
2.5. Phân tích mạch điện điều hòa	99
Tóm tắt nội dung chương 2	105
Câu hỏi và bài tập chương 2	107
Tài liệu đọc thêm chương 2	111

Chương 3. Mạch điện ba pha	113
3.1. Khái niệm chung về mạch điện 3 pha.....	113
3.2. Cách nối dây trong mạch 3 pha	116
3.3. Công suất mạch điện 3 pha.....	119
3.4. Phân tích mạch điện 3 pha đối xứng.....	120
3.5. Phân tích mạch điện 3 pha không đối xứng.....	127
Tóm tắt nội dung chương 3	140
Câu hỏi và bài tập chương 3	142
Tài liệu đọc thêm chương 3	147
PHẦN II. MÁY ĐIỆN VÀ KHÍ CỤ ĐIỆN	149
Chương 4. Máy điện.....	151
4.1. Những vấn đề cơ bản về máy điện	151
4.2. Máy biến áp	158
4.3. Máy điện không đồng bộ	179
4.4. Máy điện đồng bộ	190
4.5. Máy điện một chiều	195
Tóm tắt nội dung chương 4	208
Câu hỏi và bài tập chương 4	211
Tài liệu đọc thêm chương 4	214
Chương 5. Khí cụ điện hạ áp.....	215
5.1. Nút nhấn	215
5.2. Rơ-le điện từ	216
5.3. Rơ-le thời gian.....	218
5.4. Rơ-le nhiệt	220
5.5. Công-tắc-tơ.....	221
5.6. Áp-tô-mát.....	224
Tóm tắt nội dung chương 5	226
Câu hỏi chương 5.....	227
Tài liệu đọc thêm chương 5	228

Chương 6. Một số mạch điện dân dụng và công nghiệp	229
6.1. Mạch điện dân dụng	229
6.2. Mạch điện điều khiển động cơ điện.....	239
Tóm tắt nội dung chương 6	246
Câu hỏi chương 6.....	248
Tài liệu đọc thêm chương 6	249
PHẦN III. KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ	251
Chương 7. Linh kiện bán dẫn	253
7.1. Chất bán dẫn	253
7.2. Chuyển tiếp p-n	258
7.3. Diode bán dẫn.....	263
7.4. Transistor lưỡng cực	273
7.5. Transistor trường	282
Tóm tắt nội dung chương 7	289
Câu hỏi và bài tập chương 7	290
Tài liệu đọc thêm chương 7	292
Chương 8. Kỹ thuật mạch điện tử	293
8.1. Những vấn đề chung về mạch khuếch đại	293
8.2. Hồi tiếp trong tầng khuếch đại	295
8.3. Thiết lập chế độ làm việc cho các tầng khuếch đại dùng transistor	298
8.4. Tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ	304
8.5. Mạch ghép giữa các tầng khuếch đại.....	310
8.6. Mạch khuếch đại công suất	312
8.7. Bộ khuếch đại thuật toán và ứng dụng	319
Tóm tắt nội dung chương 8	326
Câu hỏi và bài tập chương 8	328
Tài liệu đọc thêm chương 8	334
Chương 9. Kỹ thuật điện tử số	335

9.1. Hệ thống đếm và mã số	335
9.2. Đại số logic	338
9.3. Các hàm logic cơ bản	342
9.4. Mạch logic tổ hợp	345
9.5. Trigo	359
Tóm tắt nội dung chương 9	367
Câu hỏi và bài tập chương 9	370
Tài liệu đọc thêm chương 9	373
PHẦN IV. ĐỒ ÁN MÔN HỌC	375
IV.1. Giới thiệu	376
IV.2. Các chủ đề cho từng nhóm ngành	376
IV.3. Hình thức tổ chức hướng dẫn và thực hiện đồ án	379
IV.4. Báo cáo đồ án	380
IV.5. Đánh giá đồ án	384
ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP CHƯƠNG	387

LỜI NÓI ĐẦU

Trong chương trình đào tạo đại học theo tiếp cận CDIO (Conceive - Design - Implement - Operate) được áp dụng từ khóa 58 của Trường Đại học Vinh, học phần *Kỹ thuật điện - điện tử* là một học phần bắt buộc đối với sinh viên các ngành kỹ thuật và công nghệ của Nhà trường. Học phần gồm 4 tín chỉ, trong đó 3 tín chỉ đầu dành cho lý thuyết và bài tập, cung cấp cho sinh viên các kiến thức cơ sở về mạch điện, máy điện và mạch điện tử. Tín chỉ thứ 4 dành cho phần đồ án, nhằm rèn luyện cho sinh viên các kỹ năng về thực hành điện, điện tử, đồng thời tạo tiền đề để sinh viên học các học phần chuyên ngành tiếp theo.

Để phục vụ cho việc giảng dạy và học tập học phần *Kỹ thuật điện - điện tử*, chúng tôi biên soạn giáo trình này trên cơ sở bám sát đề cương chi tiết với 4 phần, trong đó 3 phần đầu trình bày các khái niệm, định luật và các bài tập về mạch điện, máy điện và mạch điện tử; Phần thứ tư dành cho đồ án môn học với mục tiêu, nội dung, hướng dẫn cách báo cáo và tiêu chí đánh giá đồ án.

Phần I. Mạch điện, gồm ba chương đầu: Chương 1 - Đại cương về mạch điện - giới thiệu các khái niệm cơ bản về mạch điện, các đại lượng vật lý liên quan, mô hình và các thông số của mạch điện. Các định luật liên quan và các phương pháp phân tích mạch điện được trình bày chi tiết; Chương 2 - Mạch điện xác lập điều hòa - trình bày về các đặc trưng cơ bản và cách biểu diễn dòng điện điều hòa. Mọi quan hệ giữa điện áp và dòng điện, cùng với các loại công suất, hệ số công suất trong các đoạn mạch được mô tả trong chương này. Cũng trong chương 2, các phương pháp phân tích mạch điện điều hòa được minh họa bằng các ví dụ cụ thể nhằm giúp sinh viên làm quen, rèn luyện kỹ năng phân tích mạch điện; Chương 3 - Mạch điện ba pha - trình bày về mạch điện xoay chiều 3 pha. Phương pháp tạo dòng điện 3 pha, các cách nối mạch 3 pha và quan hệ giữa điện áp và dòng điện trong các pha, giữa các dây. Cũng trong chương này, các mạch điện 3 pha đối xứng và không đối xứng được giải chi tiết trong nhiều trường hợp khác nhau.

Phần II. Máy điện và khí cụ điện, gồm 3 chương 4, 5 và 6 . Chương 4 - Máy điện - trình bày các khái niệm về máy điện, cách phân loại máy điện, các định luật điện từ được sử dụng cho máy điện. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các chế độ làm việc, các đặc tính cơ bản của máy biến áp, máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ, máy điện một chiều được trình bày trong chương này. Chương 5 - Khí cụ điện hạ áp - trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động và công dụng của một số khí cụ điện hạ áp. Chương 6 - Một số mạch điện dân dụng và công nghiệp - giới thiệu sơ đồ nguyên lý của các mạch điện dân dụng: mạch đèn chiếu sáng và các mạch điện động lực. Chương này cũng trình bày về sơ đồ và nguyên lý hoạt động của một số mạch điều khiển động cơ điện cơ bản.

Phần III. Kỹ thuật điện tử, gồm ba chương 7, 8 và 9. Chương 7 - Linh kiện bán dẫn - trình bày tổng quan về chất bán dẫn, các hiện tượng vật lý xảy ra tại chuyển tiếp p-n, cấu tạo, nguyên lý hoạt động và ứng dụng của một số linh kiện điện tử điển hình. Chương 8 - Kỹ thuật mạch điện tử - trình bày đặc tính các mạch điện tử cơ bản như: mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ; mạch khuếch đại công suất; mạch khuếch đại thuật toán. Chương 9 - Kỹ thuật điện tử số - trình bày cơ sở về kỹ thuật điện tử số, nguyên lý hoạt động, chức năng của các mạch logic, phương pháp thiết kế mạch logic để tạo được các mô-đun tổ hợp lớn.

Phần IV. Đồ án môn học, trình bày mục tiêu của đồ án, các chủ đề, cách thực hiện đồ án, cách thức báo cáo đồ án được trình bày trong phần này cùng với các tiêu chí đánh giá và hướng dẫn việc đánh giá đồ án môn học.

Tập thể biên soạn giáo trình gồm có TS. Đặng Thái Sơn là chủ biên và biên soạn nội dung chương 8; TS. Trịnh Ngọc Hoàng là đồng chủ biên và biên soạn chương 1, chương 3 và toàn bộ phần IV; PGS.TS. Nguyễn Hồng Quảng biên soạn chương 2, ThS. Phạm Hoàng Nam biên soạn các chương 4, 5 và 6. ThS. Nguyễn Phúc Ngọc biên soạn chương 7 và chương 9.

Với tinh thần cầu thị, trong quá trình biên soạn nhóm tác giả đã tiếp nhận rất nhiều ý kiến đóng góp về nội dung, hình thức giáo trình và đã nghiêm túc chỉnh sửa. Tuy nhiên, vì nhiều lý do khác nhau, giáo trình vẫn không thể tránh khỏi thiếu sót. Tập thể tác giả mong các đồng nghiệp, các em sinh viên và bạn đọc tiếp tục góp ý để giáo trình được hoàn thiện hơn trong lần tái bản sau này. Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về nhóm tác giả hoặc Nhà xuất bản Đại học Vinh, số 182 Lê Duẩn, Thành phố Vinh, Nghệ An.

CÁC TÁC GIẢ

Phần I

MẠCH ĐIỆN

Chương 1

ĐẠI CƯƠNG VỀ MẠCH ĐIỆN

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 1

Sau khi học xong Chương 1, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được các khái niệm: mạch điện, các bộ phận của mạch điện, dòng điện, điện áp, công suất, điện năng, nhánh, nút, vòng, các thông số R , L , C , các nguồn độc lập, phụ thuộc;
- Áp dụng được các phương trình định luật Ohm, định luật Kirchhoff 1 và Kirchhoff 2 vào các mạch điện cụ thể;
- Áp dụng được các công thức biến đổi tương đương để biến đổi một đoạn mạch phức tạp thành đơn giản;
- Giải được mạch điện bằng cách vận dụng các phương pháp dòng điện nhánh, dòng điện mạch vòng, điện thế nút, xếp chồng.

1.1. Các khái niệm và phân loại mạch điện

Mạch điện là một hệ thống gồm các thiết bị, linh kiện điện, điện tử ghép lại với nhau thông qua dây dẫn, trong đó xảy ra các quá trình truyền đạt, biến đổi năng lượng hay tín hiệu điện từ đo bởi các đại lượng dòng điện, điện áp. Mạch điện thông thường gồm các phần tử chính như nguồn điện, phụ tải, dây dẫn.

Nguồn điện là các phần tử cung cấp năng lượng điện cho mạch, chẳng hạn như máy phát điện (biến đổi cơ năng thành điện năng), pin và ắc-quí (biến đổi hóa năng thành điện năng), v.v...

Phụ tải là các phần tử nhận năng lượng điện hay tín hiệu điện, chẳng hạn như động cơ điện (biến điện năng thành cơ năng), bếp điện (biến điện năng thành nhiệt năng), bóng đèn (biến điện năng thành quang năng), v.v...

Dây dẫn là các phần tử dùng để truyền tải điện từ nguồn đến phụ tải, thường được làm bằng đồng hoặc nhôm.

Kết cấu hình học của mạch điện:

Về phương diện hình học, một mạch điện thường được cấu tạo từ các nhánh, nút và vòng. Cụ thể:

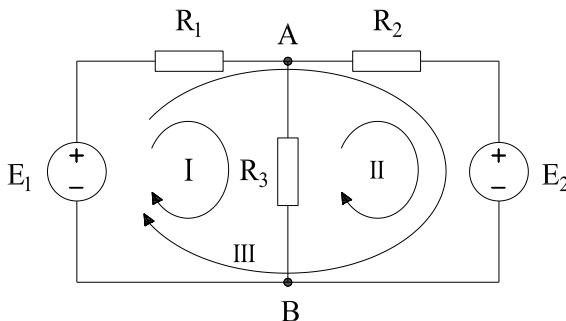
Nhánh là một đoạn của mạch điện gồm những phần tử ghép nối tiếp với nhau, trong đó có cùng một dòng điện chạy qua.

Nút là điểm gặp nhau của ba nhánh trở lên.

Vòng là lối đi khép kín qua các nhánh.

Để hiểu rõ hơn về kết cấu hình học của một mạch điện, chúng ta xem xét ví dụ 1.1 dưới đây.

Ví dụ 1.1:



Hình 1.1. Mạch điện có ba nhánh, hai nút và ba vòng

Trên Hình 1.1 là một mạch điện có ba nhánh, hai nút và ba vòng. Ba nhánh là AR_1E_1B , AR_3B và AR_2E_2B . Hai nút là A và B. Ba vòng là (I), (II) và (III) (hoặc $AR_3BE_1R_1A$, $AR_2E_2BR_3A$ và $AR_2E_2BE_1R_1A$).

Phân loại mạch điện:

Có nhiều cách phân loại mạch điện. Căn cứ cấu trúc hình học, ta có thể phân thành mạch điện mắc nối tiếp, mạch điện mắc song song, mạch điện mắc hỗn hợp. Căn cứ chê độ làm việc, ta có thể phân thành mạch

điện quá độ, mạch điện xác lập. Căn cứ đặc tính của dòng điện chạy trong mạch, ta có thể phân thành mạch điện một chiều, mạch điện xoay chiều 1 pha, mạch điện xoay chiều 3 pha.

Trong giáo trình này, mạch điện một chiều sẽ được trình bày ở chương 1, mạch điện xoay chiều 1 pha sẽ được trình bày ở chương 2, mạch điện xoay chiều 3 pha sẽ được trình bày ở chương 3.

1.2. Các đại lượng đặc trưng cho mạch điện

1.2.1. Cường độ dòng điện

Dòng điện là dòng chuyển dòng có hướng của các điện tích dưới tác dụng của điện trường. Dòng điện được đặc trưng bởi chiều và độ lớn. Người ta quy ước chiều dòng điện là chiều chuyển dòng của các điện tích dương.

Cường độ dòng điện (intensity) là đại lượng đặc trưng cho độ lớn của dòng điện, được đo bằng điện lượng chảy qua tiết diện thẳng của dây dẫn trong 1 đơn vị thời gian:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

trong đó Δq là điện lượng chuyển qua tiết diện ngang của dây dẫn trong thời gian Δt .

Trong trường hợp khoảng thời gian xét là vô cùng bé, ta có cường độ tức thời:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

Đơn vị của cường độ dòng điện là ampe (A) và các ước số của nó (mA, μ A).

Đối với dòng điện không đổi (DC - Direct Current), chiều dòng điện và độ lớn của cường độ dòng điện (thường ký hiệu là I) là không đổi. Đối với dòng điện xoay chiều (AC - Alternating Current) chiều dòng điện và độ lớn của cường độ dòng điện biến thiên theo thời gian. Dòng điện xoay chiều sẽ được trình bày ở chương 2 của giáo trình.

Trong giáo trình này, đại lượng cường độ dòng điện được ký hiệu theo quy ước sau đây: Cường độ dòng điện tức thời ký hiệu i , khi cần nhấn mạnh sự phụ thuộc thời gian của cường độ dòng điện ta viết $i(t)$; Cường độ của dòng điện không đổi và cường độ dòng hiện dụng

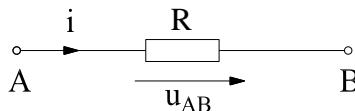
của dòng điện xoay chiều ký hiệu I ; Cường độ dòng điện cực đại của dòng điện xoay chiều ký hiệu I_0 hoặc I_m .

1.2.2. Điện áp

Điện áp, hay còn gọi là hiệu điện thế (voltage), là đại lượng đặc trưng cho khả năng tạo ra dòng điện trong mạch điện, được đo bằng độ chênh lệch điện thế giữa 2 điểm trong mạch. Gọi điện thế giữa 2 điểm A và B lần lượt là V_A và V_B thì:

$$u_{AB} = V_A - V_B \quad (1.3)$$

Dòng điện sẽ đi từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp như Hình 1.2.



Hình 1.2. Chiều của điện áp và dòng điện

Đơn vị của điện áp là volt (V) và các ước, bội số của nó (mV, kV).

Trong giáo trình này, đại lượng điện áp được ký hiệu theo quy ước sau đây: Điện áp tức thời ký hiệu u , khi cần nhấn mạnh sự phụ thuộc thời gian của điện áp ta viết $u(t)$; Điện áp không đổi trong mạch điện một chiều và điện áp hiệu dụng trong mạch điện xoay chiều ký hiệu U ; Điện áp cực đại trong mạch điện xoay chiều ký hiệu U_0 hoặc U_m .

1.2.3. Công suất và điện năng

Công suất (power) là đại lượng đặc trưng cho tốc độ biến đổi năng lượng trong mạch điện, được đo bằng tích của điện áp với dòng điện chạy qua mạch điện.

Công suất tức thời:

$$p = ui \quad (1.4)$$

trong đó: u là điện áp tức thời, i là cường độ dòng điện tức thời và p là công suất tức thời.

Công suất tác dụng (công suất tiêu thụ) là đại lượng đo bằng năng lượng mà mạch điện tiêu thụ trong một đơn vị thời gian. Công suất tiêu thụ trên điện trở được xác định thông qua biểu thức:

$$P = I^2R \quad (1.5)$$

trong đó: I là cường độ dòng điện chạy qua điện trở.

Đơn vị của công suất là watt (W) và các ước, bội số của nó (mW, kW, MW).

Điện năng (electrical energy) là năng lượng điện, được xác định thông qua biểu thức:

$$E = \int_0^t p(t) dt \quad (1.6)$$

Đơn vị đo điện năng: Mặc dù có thứ nguyên năng lượng (đơn vị đo là Joule) nhưng vì J quá nhỏ nên điện năng thường được đo bằng Wh (đọc là oát-giờ) hay KWh (kilô-oát-giờ).

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600000 \text{ J}$$

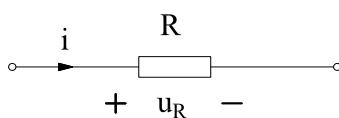
Ví dụ 1.2: Điện năng mà một bếp điện có công suất 2000 W tiêu thụ trong thời gian 15 phút là: $E = 2000 \text{ W} \cdot 0,25 \text{ h} = 500 \text{ Wh} = 0,5 \text{ kWh} = 1800000 \text{ J}$.

1.3. Mô hình mạch điện và các thông số

Khi tính toán, mạch điện thực bao gồm các phần tử thực (điện trở, cuộn cảm, tụ điện,...) được thay thế bằng một sơ đồ tương đương gọi là mô hình mạch điện (hay sơ đồ mạch điện, hay sơ đồ thay thế,...) trong đó các phần tử thực có thể được thay thế bằng các phần tử thuận. Sau đây ta sẽ xét một số phần tử thường gặp là điện trở, cuộn cảm, tụ điện, nguồn dòng điện, nguồn điện áp.

1.3.1. Điện trở thuận

Điện trở thuận là phần tử cơ bản của mạch điện mà điện áp trên nó tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện đi qua. Phần tử điện trở đặc trưng cho hiện tượng tiêu tán năng lượng, biến điện năng thành nhiệt năng. Thông số đặc trưng cho điện trở thuận gọi là trở kháng, ký hiệu là R. Trên các sơ đồ mạch điện, phần tử điện trở được ký hiệu như trên Hình 1.3.



Hình 1.3. Phần tử điện trở

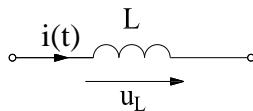
Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên phần tử điện trở như sau:

$$u_R = Ri \quad (1.7)$$

trong đó R là trở kháng, đơn vị là Ohm (Ω) và các ước, bội số của nó ($m\Omega$, $k\Omega$).

1.3.2. Cuộn cảm

Cuộn cảm (hay còn gọi là cuộn dây thuần cảm) là phần tử đặc trưng cho khả năng tích lũy năng lượng từ trường. Thông số đặc trưng cho cuộn cảm gọi là điện cảm hay độ tự cảm, ký hiệu là L. Trên các sơ đồ mạch điện, cuộn cảm được ký hiệu như trên Hình 1.4.



Hình 1.4. Phản ứng cuộn cảm

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên phần tử cuộn cảm như sau:

$$u_L = L \frac{di(t)}{dt} \quad (1.8)$$

trong đó L là điện cảm (hay độ tự cảm), đơn vị là Henry (H); $i(t)$ là cường độ dòng điện đi qua phần tử, u_L là điện áp đặt giữa hai đầu phần tử, $di(t)/dt$ chỉ sự biến thiên của cường độ dòng điện theo thời gian.

Năng lượng tích lũy trong phần tử cuộn cảm:

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.9)$$

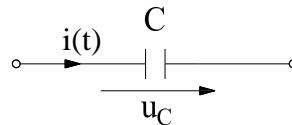
Lưu ý:

- Trong mạch điện không đổi, điện áp giữa hai đầu phản ứng cuộn cảm (cuộn dây thuần cảm) bằng 0. Khi đó, phản ứng cuộn cảm được xem như bị nối tắt.

- Thực tế, trên một cuộn dây (không thuần cảm), ngoài thông số điện cảm L đặc trưng cho khả năng tích lũy năng lượng từ trường, trong nhiều trường hợp còn phải để ý đến thông số trở kháng r phản ánh tổn hao năng lượng trong cuộn dây.

1.3.3. Tụ điện

Tụ điện là phần tử đặc trưng cho khả năng tích lũy năng lượng điện trường. Thông số đặc trưng cho tụ điện gọi là điện dung, ký hiệu là C. Trên các sơ đồ mạch điện, tụ điện được ký hiệu như trên Hình 1.5.



Hình 1.5. Phản tử tụ điện

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên phản tử tụ điện có dạng:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (1.10)$$

trong đó C là điện dung, đơn vị là Farad (F); i(t) là cường độ dòng điện đi qua phản tử, u_C là điện áp đặt giữa hai đầu phản tử.

Năng lượng tích lũy trong phản tử tụ điện:

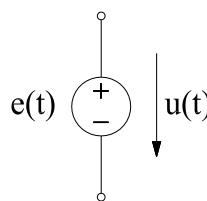
$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2 \quad (1.11)$$

Lưu ý: Trong mạch điện một chiều, dòng điện đi qua phản tử tụ điện bằng 0. Khi đó, phản tử tụ điện được xem như bị hở mạch.

1.3.4. Nguồn điện áp độc lập

Nguồn điện áp độc lập là phản tử hai cực mà điện áp của nó không phụ thuộc vào giá trị dòng điện cung cấp từ nguồn và có độ lớn chính bằng sức điện động của nguồn:

$$u(t) \equiv e(t) \quad (1.12)$$



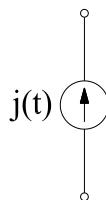
Hình 1.6. Nguồn điện áp độc lập

Trên Hình 1.6 là ký hiệu của nguồn điện áp độc lập. Trên đó, vòng tròn tượng trưng cho tính chất độc lập của nguồn, dấu cộng trừ biểu thị chiều của điện áp mà nguồn tạo ra.

1.3.5. Nguồn dòng điện độc lập

Nguồn dòng điện độc lập là phần tử hai cực mà dòng điện của nó không phụ thuộc vào điện áp trên hai cực của nguồn:

$$i(t) \equiv j(t) \quad (1.13)$$

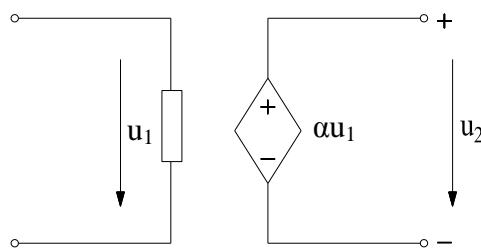


Hình 1.7. Nguồn dòng điện độc lập

Trên Hình 1.7 là ký hiệu của nguồn dòng điện độc lập. Trên đó, vòng tròn tượng trưng cho tính chất độc lập của nguồn, dấu mũi tên biểu thị chiều của dòng điện mà nguồn tạo ra.

1.3.6. Nguồn phụ thuộc

Khác với các nguồn độc lập có thể tạo ra một điện áp hoặc dòng điện hoàn toàn không bị ảnh hưởng bởi phần còn lại của mạch, các nguồn phụ thuộc tạo ra một điện áp hoặc dòng điện phụ thuộc vào điện áp hoặc dòng điện ở một nơi nào đó trong mạch. Chẳng hạn, trên Hình 1.8 là ký hiệu nguồn điện áp phụ thuộc điện áp (VCVS: Voltage-Controlled Voltage Source), trên Hình 1.9 là ký hiệu nguồn điện áp phụ thuộc dòng (CCVS: Current-Controlled Voltage Source). Trên các nguồn phụ thuộc này, hình thoi tượng trưng cho tính chất phụ thuộc của nguồn, dấu cộng trừ biểu thị chiều của điện áp mà nguồn tạo ra.

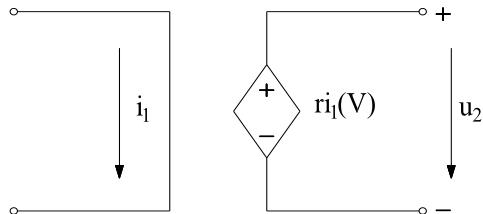


Hình 1.8. Nguồn điện áp phụ thuộc điện áp

Trên Hình 1.8, điện áp u_2 phụ thuộc vào điện áp u_1 theo biểu thức:

$$u_2 = \alpha u_1 \quad (1.14)$$

trong đó α là hệ số điều khiển và không có thứ nguyên.



Hình 1.9. Nguồn điện áp phụ thuộc dòng điện

Trên Hình 1.9, điện áp u_2 phụ thuộc vào dòng điện i_1 theo biểu thức:

$$u_2 = r i_1 \quad (1.15)$$

trong đó r là hệ số điều khiển và có đơn vị là ohm.

Ngoài các nguồn phụ thuộc như đã dẫn ra ở trên còn có nguồn dòng điện phụ thuộc điện áp (VCCS: Voltage-Controlled Current Source) và nguồn dòng điện phụ thuộc dòng điện (CCCS: Current-Controlled Current Source).

1.4. Các định luật cơ bản

1.4.1. Định luật Ohm

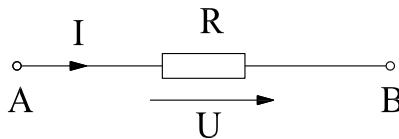
Định luật Ohm là định luật quan trọng và cơ bản nhất trong kỹ thuật điện, cho ta biết mối quan hệ giữa cường độ dòng điện và điện áp trên một phần tử, một đoạn mạch hay một mạch điện.

a. Nhánh thuận trở

Đối với một nhánh chỉ chứa phần tử điện trở R như Hình 1.10 thì cường độ dòng điện I chạy qua điện trở và điện áp ở hai đầu điện trở có mối quan hệ:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.16)$$

trong đó: U tính bằng V; I tính bằng A; R tính bằng Ω .



Hình 1.10. Nhánh thuần điện trở

Biểu thức (1.16) là biểu thức của định luật Ohm đối với nhánh chỉ chứa phần tử điện trở.

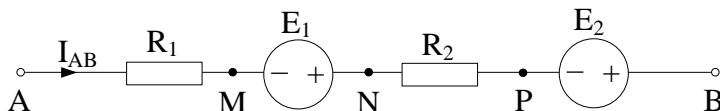
b. Nhánh chứa nguồn điện và điện trở:

Đối với một nhánh có chứa các nguồn điện E_1, E_2 và điện trở R_1, R_2 như Hình 1.11 thì cường độ dòng điện chạy qua nhánh và điện áp ở hai đầu nhánh có mối quan hệ:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_{AM} + U_{MN} + U_{NP} + U_{PB} \\ &= U_{AM} - U_{NM} + U_{NP} - U_{BP} \\ &= I_{AB}R_1 - E_1 + I_{AB}R_2 - E_2 \\ &= I_{AB}(R_1 + R_2) - (E_1 + E_2) \end{aligned}$$

Vậy:

$$U_{AB} = I_{AB} \sum_{j=1}^n R_j - \sum_{k=1}^m E_k$$



Hình 1.11. Nhánh chứa nguồn điện và điện trở

Từ đó ta suy ra biểu thức tổng quát tính dòng điện cho nhánh chứa nguồn điện và điện trở:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB} + \sum_{k=1}^m E_k}{\sum_{j=1}^n R_j} \quad (1.17)$$

Biểu thức (1.17) là biểu thức của định luật Ohm đối với nhánh chứa nguồn điện và điện trở. Trong đó, E_k sẽ nhận dấu "+" khi có chiều từ A đến B, nhận dấu "-" khi có chiều từ B đến A.

1.4.2. Các định luật Kirchhoff

Trạng thái của một mạch điện được xác định bởi các thông số trạng thái của nó là điện áp và dòng điện. Các định luật Kirchhoff quy định mối quan hệ giữa các thông số trạng thái đó.

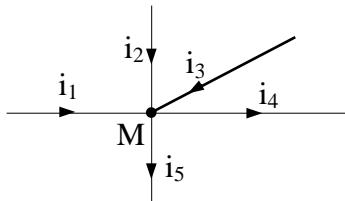
a. Định luật Kirchhoff 1:

Định luật Kirchhoff 1 cho ta biết mối quan hệ giữa các dòng điện đi qua một nút, nó bắt nguồn từ định luật bảo toàn điện tích. Nội dung của định luật Kirchhoff 1 như sau:

Tại một nút bất kỳ trong mạch điện, tổng cường độ các dòng điện đi vào nút bằng tổng cường độ các dòng điện đi ra khỏi nút.

Chẳng hạn, tại nút M trên Hình 1.12 định luật Kirchhoff 1 được viết:

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_4 + i_5 \quad (1.18)$$



Hình 1.12. Biểu đồ minh họa định luật Kirchhoff 1

Trên quan điểm đại số, nếu quy ước dòng điện đi vào nút mang dấu dương, dòng điện đi ra nút mang dấu âm thì có thể phát biểu định luật Kirchhoff 1 như sau:

Tổng đại số các dòng điện đi qua một nút trong một mạch điện bằng không.

Theo cách phát biểu này, định luật Kirchhoff 1 viết tại nút M trên Hình 1.12 là:

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0 \quad (1.19)$$

Một cách tổng quát, biểu thức của định luật Kirchhoff 1 có thể được viết như sau:

$$\sum_{k=1}^n a_k i_k = 0 \quad (1.20)$$

trong đó i_k là cường độ dòng điện của nhánh thứ k , hệ số $a_k = 1$ nếu i_k đi vào nút, $a_k = -1$ nếu i_k đi ra nút, n là tổng số nhánh tại nút khảo sát.

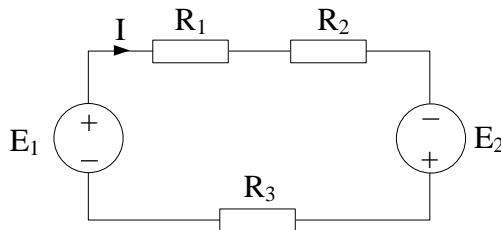
b. Định luật Kirchhoff 2:

Định luật Kirchhoff 2 bắt nguồn từ định luật bảo toàn năng lượng và có thể áp dụng đối với bất kỳ vòng kín nào trong mạch điện. Định luật Kirchhoff 2 có nội dung như sau:

Tổng đại số các điện áp rơi trên các phần tử thụ động của một vòng kín bằng tổng đại số các súc điện động trong vòng kín đó.

Đối với vòng kín trên Hình 1.13 định luật Kirchhoff 2 được viết:

$$U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} = E_1 + E_2$$



Hình 1.13. Diễn đạt định luật Kirchhoff 2

Một cách tổng quát:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{j=1}^m E_j \quad (1.21)$$

hoặc đổi với các đại lượng tức thời:

$$\sum_{i=1}^n u_i = \sum_{j=1}^m e_j \quad (1.22)$$

trong đó n là số phần tử thụ động, m là số nguồn súc điện động có trong vòng kín.

Nếu thay các súc điện động bằng các điện áp trên hai cực của nguồn (ngược chiều với súc điện động) thì ta có thể phát biểu định luật Kirchhoff 2 như sau:

Tổng đại số các điện áp rơi trong một vòng kín bằng không.

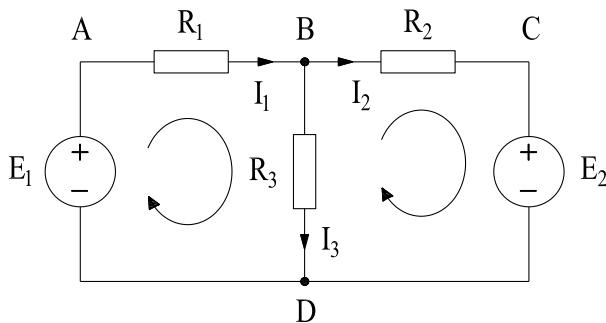
$$\sum_{k=1}^n b_k U_k = 0 \quad (1.23)$$

hoặc

$$\sum_{k=1}^n b_k u_k = 0 \quad (1.24)$$

trong đó $b_k = 1$ nếu U_k (hoặc u_k) cùng chiều với chiều dương đã quy ước trong vòng kín, $b_k = -1$ nếu U_k (hoặc u_k) ngược chiều với chiều dương đã quy ước trong vòng kín.

Ví dụ 1.3: Cho mạch điện như Hình 1.14. Biết $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $E_1 = 2 V$, $E_2 = 8 V$. Hãy vận dụng các định luật Kirchhoff để tính I_1 , I_2 , I_3 .



Hình 1.14

Giải:

Chọn chiều các dòng điện qua nút B và chiều các vòng như hình vẽ.
Áp dụng định luật Kirchhoff 1 cho nút B ta có:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng kín ABDA, ta có:

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$$

Tương tự, áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng kín BCDB ta có:

$$I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 = 0$$

Kết hợp 3 phương trình trên và thay số ta được hệ phương trình 3 ẩn số:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$2I_1 + 4I_3 = 2$$

$$4I_2 - 4I_3 = -8$$

Giải hệ 3 phương trình trên ta được $I_1 = -0,5$ A, $I_2 = -1,25$ A, $I_3 = 0,75$ A. Trong đó các dòng điện I_1, I_2 có chiều thực tế ngược lại so với chiều ta đã chọn.

Lưu ý: Sau khi áp dụng các định luật Kirchhoff để giải bài toán mạch điện, nếu từ việc giải phương trình, cường độ dòng điện nào đó có giá trị âm thì ta kết luận chiều dòng điện đó đi trong mạch ngược với chiều ta chọn; Còn các dòng điện có cường độ dương thì có chiều như chiều đã chọn.

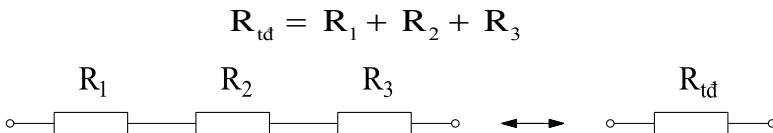
1.5. Biến đổi tương đương mạch điện

1.5.1. Biến đổi tương đương mạch chứa điện trở mắc nối tiếp

Một đoạn mạch gồm các phần tử điện trở mắc nối tiếp R_k sẽ tương đương và có thể thay thế bởi một đoạn mạch khác có điện trở R_{td} thỏa mãn:

$$R_{td} = \sum_{k=1}^n R_k \quad (1.25)$$

Chẳng hạn trên Hình 1.15 điện trở tương đương R_{td} được xác định như sau:



Hình 1.15. Biến đổi tương đương mạch chứa điện trở mắc nối tiếp

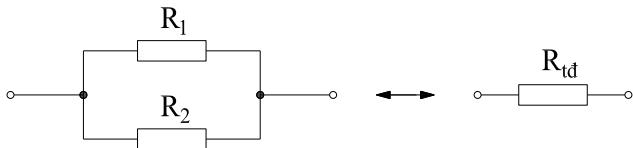
1.5.2. Biến đổi tương đương mạch chứa điện trở mắc song song

Một đoạn mạch gồm các phần tử điện trở mắc song song R_k sẽ tương đương và có thể thay thế bởi một đoạn mạch khác có điện trở R_{td} thỏa mãn:

$$\frac{1}{R_{td}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \quad (1.26)$$

Chẳng hạn trên Hình 1.16 điện trở tương đương R_{td} được xác định như sau:

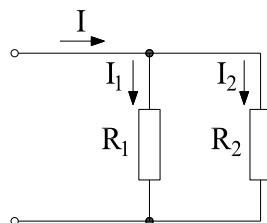
$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ hay } R_{td} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



Hình 1.16. Biến đổi tương đương mạch chia điện trở mắc song song

1.5.3. Mạch chia dòng điện

Áp dụng cách biến đổi tương đương mạch chia điện trở mắc song song như mục 1.5.2 ở trên, từ đoạn mạch chia điện trở R_{td} ta có thể biến đổi thành đoạn mạch khác chia 2 điện trở mắc song song R_1, R_2 thỏa mãn $R_{td} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (xem Hình 1.17)



Hình 1.17. Mạch chia dòng điện

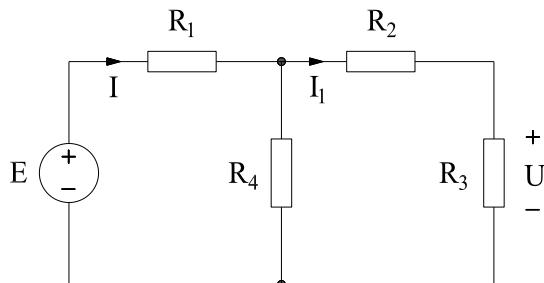
Khi đó từ dòng điện I chạy qua R_{td} ta có thể chia thành hai dòng I_1, I_2 có giá trị xác định bởi:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}; I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.27)$$

Công thức (1.27) được gọi là công thức chia dòng điện, hay nói gọn là công thức chia dòng.

Ví dụ 1.4: Cho mạch điện như Hình 1.18. Biết $R_1 = 5 \Omega; R_2 = 10 \Omega; R_3 = 40 \Omega; R_4 = 50 \Omega; E = 15 V$. Hãy tìm I_1 và U .

Giải:



Hình 1.18

Dùng phép biến đổi tương: $R_{23} = R_2 + R_3 = 10 + 40 = 50 (\Omega)$

$$R_{423} = R_4 // R_{23} = \frac{R_4 R_{23}}{R_4 + R_{23}} = \frac{50 \cdot 50}{50 + 50} = 25(\Omega)$$

$$R_{1423} = R_1 + R_{423} = 5 + 25 = 30(\Omega)$$

$$I = \frac{E}{R_{1423}} = \frac{15}{30} = 0,5(A)$$

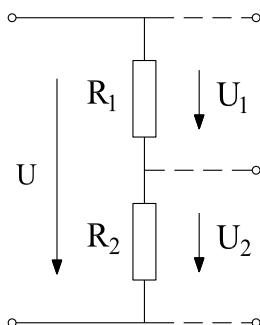
Áp dụng định lý chia dòng:

$$I_1 = I \frac{R_4}{R_4 + R_{23}} = 0,5 \frac{50}{50 + 50} = 0,25(A)$$

$$U = I_1 R_3 = 0,25 \cdot 40 = 10(V)$$

1.5.4. Mạch chia điện áp

Áp dụng cách biến đổi tương đương mạch chứa điện trở mắc nối tiếp như mục 1.5.1 ở trên, từ đoạn mạch chứa điện trở R_{td} ta có thể biến đổi thành đoạn mạch khác chứa 2 điện trở mắc nối tiếp R_1, R_2 thỏa mãn $R_{td} = R_1 + R_2$ (xem Hình 1.19)



Hình 1.19. Mạch chia điện áp

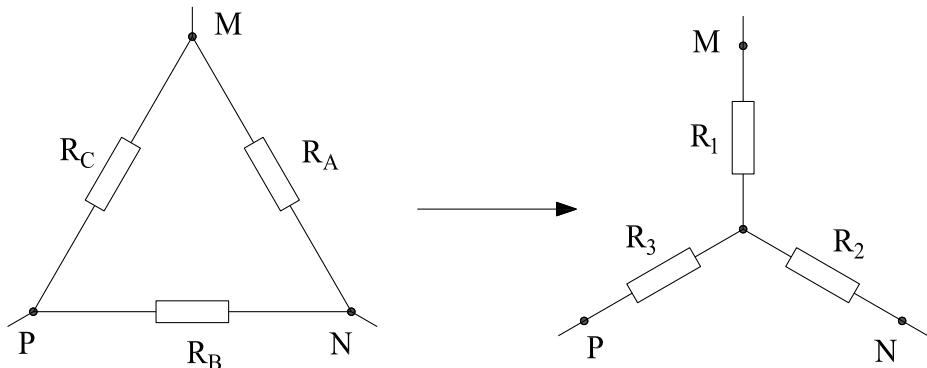
Khi đó từ điện áp U rơi trên R_{td} ta có thể chia thành hai điện áp U_1, U_2 có giá trị xác định bởi:

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}; U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.28)$$

Công thức (1.28) được gọi là công thức chia điện áp, hay nói gọn là công thức chia áp.

1.5.5. Biến đổi tương đương điện trở mắc tam giác sang hình sao

Giả sử có đoạn mạch gồm 3 điện trở R_A , R_B , R_C mắc tam giác. Trong một số trường hợp, để thuận lợi khi phân tích mạch điện, chúng ta cần chuyển sang một đoạn mạch tương đương khác gồm 3 điện trở R_1 , R_2 , R_3 mắc hình sao như Hình 1.20 dưới đây:



Hình 1.20. Biến đổi tương đương $\Delta \rightarrow Y$

Khi đó:

$$R_1 = \frac{R_C \cdot R_A}{R_A + R_B + R_C}; R_2 = \frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B + R_C}; R_3 = \frac{R_C \cdot R_B}{R_A + R_B + R_C} \quad (1.29)$$

Nếu $R_A = R_B = R_C = R_\Delta$ thì $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$ và:

$$R_Y = \frac{R_\Delta}{3} \quad (1.30)$$

Công thức (1.29) có thể chứng minh như sau:

Giả sử ta đặt một hiệu điện thế vào hai đầu đoạn mạch MN.

Đối với mạch sao ta có R_1 nối tiếp với R_2 , do đó điện trở tương đương MN là:

$$R_{MN} = R_1 + R_2$$

Đối với mạch tam giác (R_B nối tiếp R_C) // R_A , do đó điện trở tương đương MN là:

$$R_{MN} = \frac{R_A(R_B + R_C)}{R_A + R_B + R_C}$$

Để thỏa mãn điều kiện dòng và áp không đổi giữa hai điểm M và N, ta phải có:

$$R_1 + R_2 = \frac{R_A(R_B + R_C)}{R_A + R_B + R_C} = \frac{R_A R_B + R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad (1.31)$$

Tương tự, ta có:

$$R_2 + R_3 = \frac{R_B(R_A + R_C)}{R_A + R_B + R_C} = \frac{R_B R_A + R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad (1.32)$$

$$R_1 + R_3 = \frac{R_C(R_B + R_A)}{R_A + R_B + R_C} = \frac{R_C R_B + R_C R_A}{R_A + R_B + R_C} \quad (1.33)$$

Cộng các biểu thức (1.31), (1.32) và (1.33) về theo vế và rút gọn, ta có:

$$R_1 + R_2 + R_3 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A + R_B + R_C} \quad (1.34)$$

Trừ (1.34) cho (1.31) về theo vế, ta rút ra:

$$R_3 = \frac{R_C R_B}{R_A + R_B + R_C}$$

Trừ (1.34) cho (1.32) về theo vế, ta rút ra:

$$R_1 = \frac{R_C R_A}{R_A + R_B + R_C}$$

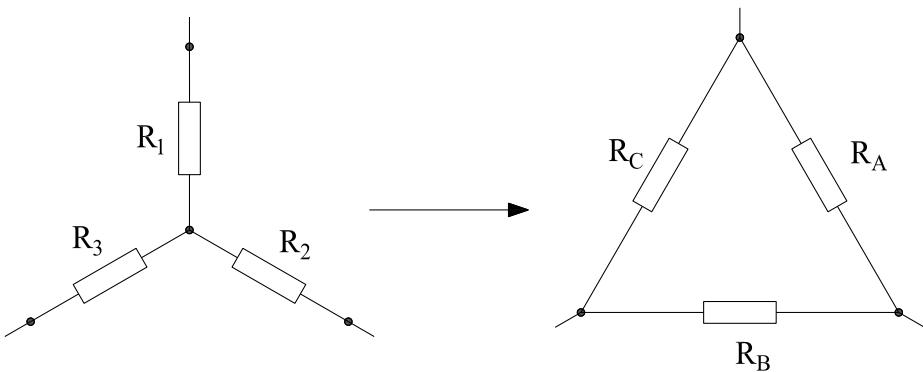
Trừ (1.34) cho (1.33) về theo vế, ta rút ra:

$$R_2 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C}$$

1.5.6. Biến đổi tương đương điện trở mắc hình sao sang hình tam giác

Giả sử có đoạn mạch gồm 3 điện trở R_1, R_2, R_3 mắc hình sao. Trong một số trường hợp, để thuận lợi khi phân tích mạch điện, chúng ta cần chuyển sang một đoạn mạch tương đương khác gồm 3 điện trở R_A, R_B, R_C mắc tam giác như Hình 1.21. Khi đó:

$$\begin{aligned} R_A &= R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}; R_B = R_3 + R_2 + \frac{R_3 R_2}{R_1} \\ R_C &= R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2} \end{aligned} \quad (1.35)$$



Hình 1.21. Biến đổi tương đương $Y \rightarrow \Delta$

Nếu các điện trở $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$ ta được $R_A = R_B = R_C = R_\Delta$.

Khi đó:

$$R_\Delta = 3R_Y \quad (1.36)$$

Công thức (1.35) có thể chứng minh như sau:

Từ các công thức (1.29) ta có:

$$\begin{aligned} R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} &= \frac{R_C R_A}{R_A + R_B + R_C} + \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} + \frac{R_A^2}{R_A + R_B + R_C} \\ &= \frac{R_A (R_A + R_B + R_C)}{R_A + R_B + R_C} = R_A \end{aligned}$$

Chứng minh tương tự, ta có:

$$R_3 + R_2 + \frac{R_3 R_2}{R_1} = R_B; R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2} = R_C$$

1.5.7. Biến đổi tương đương nguồn sức điện động nối tiếp

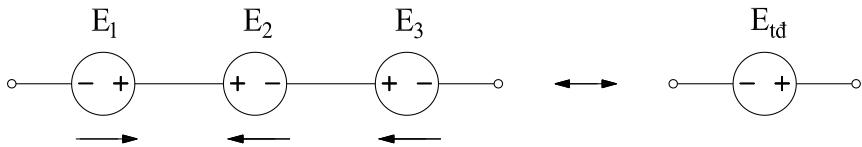
Một bộ nguồn điện áp có n phần tử mắc nối tiếp với các sức điện động E_k sẽ tương đương và có thể thay thế bởi một nguồn có sức điện động E_{td} thỏa mãn:

$$E_{td} = \sum_{k=1}^n E_k \quad (1.37)$$

trong đó E_k là giá trị đại số sức điện động của nguồn thứ k, được xác định dấu theo một chiều nhất định.

Chẳng hạn súc điện động E_{td} của bộ nguồn như Hình 1.22 là:

$$E_{td} = E_1 - E_2 - E_3 \quad (1.38)$$



Hình 1.22. Biến đổi tương đương nguồn súc điện động nối tiếp

1.5.8. Biến đổi tương đương nguồn dòng điện mắc song song

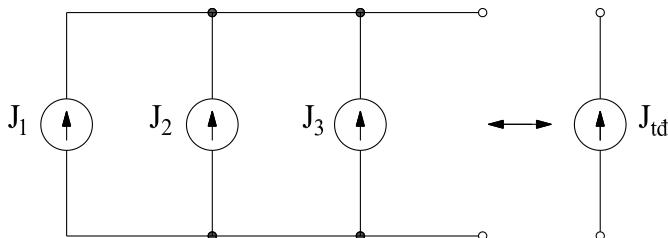
Một bộ nguồn dòng điện có n phần tử mắc song song với các dòng điện J_k sẽ tương đương và có thể thay thế bởi một nguồn có dòng điện J_{td} thỏa mãn:

$$J_{td} = \sum_{k=1}^n J_k \quad (1.39)$$

trong đó J_k là giá trị đại số cường độ dòng điện của nguồn thứ k , được xác định dấu theo một chiều nhất định.

Chẳng hạn dòng điện J_{td} của bộ nguồn như Hình 1.23 là:

$$J_{td} = J_1 + J_2 + J_3 \quad (1.40)$$



Hình 1.23. Biến đổi tương đương nguồn dòng điện mắc song song

1.5.9. Định lý Thevenin và Norton

Mạch tuyền tính có một hoặc nhiều nguồn điện áp, nguồn dòng điện có thể được thay thế bằng một nguồn điện áp nối tiếp điện trở (định lý Thevenin) hoặc một nguồn dòng điện song song điện trở (định lý Norton). Nguồn điện áp trong mạch tương đương được gọi là nguồn điện áp tương đương Thevenin U_{th} và nguồn dòng điện trong mạch tương đương được gọi là nguồn dòng điện tương đương Norton J_N .

Định lý Thevenin và Norton áp dụng cho những mạch thỏa mãn các điều kiện sau:

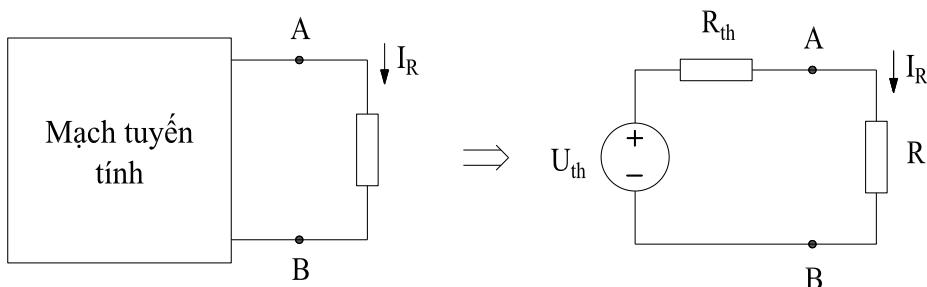
- Mạch cần thay thế là mạch tuyến tính, chứa điện trở và nguồn.
- Nguồn phụ thuộc, nếu có, trong phần mạch nào thì chỉ phụ thuộc các đại lượng nằm trong phần mạch đó.

Định lý Thevenin

Giả sử có một mạch điện được chia làm hai phần tại hai cực A và B như Hình 1.24. Nội dung của định lý Thevenin được phát biểu như sau:

Một mạch tuyến tính phức tạp có thể được thay thế bằng một mạch đơn giản chỉ gồm một nguồn điện áp U_{th} và một điện trở R_{th} mắc nối tiếp. Trong đó U_{th} là điện áp hai đầu mạch khi để hở và R_{th} là điện trở nhin từ hai đầu mạch khi triệt tiêu các nguồn độc lập bên trong.

Phép thay thế này là hoàn toàn tương đương, đảm bảo đặc tính U-I của hai cực A, B không thay đổi.



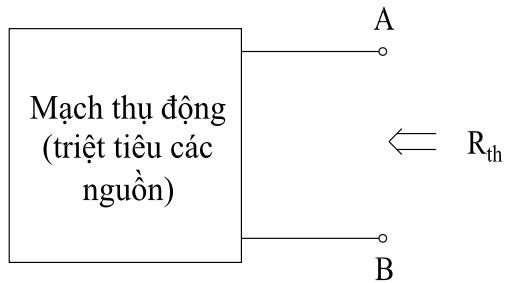
Hình 1.24. Biến đổi tương đương theo Định lý Thevenin

Trên hình vẽ:

U_{th} : nguồn điện áp tương đương Thevenin là điện áp đo giữa hai đầu AB sau khi tách bỏ nhánh R cần khảo sát (cần tính dòng hoặc áp) ra khỏi mạch.

R_{th} : điện trở tương đương Thevenin. Điện trở R_{th} được xác định theo một trong hai trường hợp dưới đây:

Trường hợp 1: Mạch cần thay thế không chứa nguồn phụ thuộc. Lúc này R_{th} là điện trở nhin từ hai đầu AB sau khi tắt nguồn điện áp, hở mạch nguồn dòng điện (Hình 1.25).

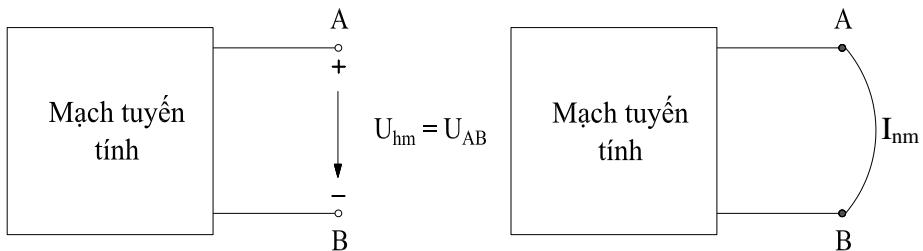


Hình 1.25. Xác định R_{th} khi không có nguồn phụ thuộc

Trường hợp 2: Mạch cần thay thế chứa nguồn phụ thuộc. Lúc này R_{th} được xác định theo biểu thức:

$$R_{th} = \frac{U_{th}}{I_{nm}} \quad (1.41)$$

trong đó $U_{th} = U_{hm}$ (điện áp hai đầu AB khi hở mạch); I_{nm} : dòng ngắn mạch (Hình 1.26).



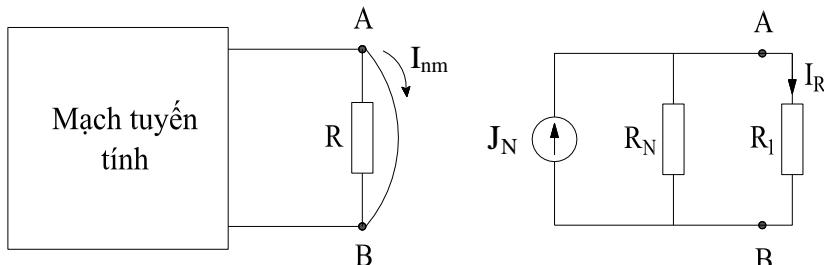
Hình 1.26. Xác định R_{th} khi có nguồn phụ thuộc

Định lý Norton

Giả sử có một mạch điện được chia làm hai phần tại hai cực A và B như Hình 1.27. Nội dung của định lý Norton được phát biểu như sau:

Một mạch tuyến tính phức tạp có thể được thay thế bằng một mạch đơn giản chỉ gồm một nguồn dòng điện J_N và một điện trở R_N mắc song song. Trong đó J_N có giá trị bằng dòng điện ở hai đầu mạch khi nối tắt và R_N là điện trở nhin từ hai đầu mạch khi triệt tiêu các nguồn độc lập bên trong.

Phép thay thế này là hoàn toàn tương đương, đảm bảo đặc tính U-I của hai cực A, B không thay đổi.



Hình 1.27. Biến đổi tương đương theo Định lý Norton

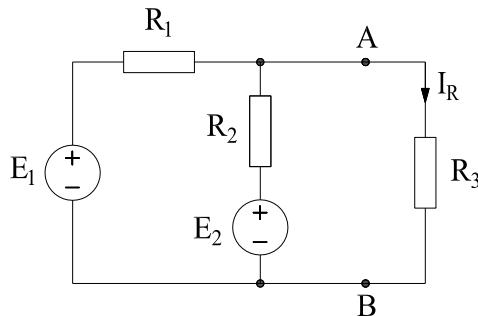
Ở đây:

J_N : nguồn dòng điện tương đương Norton, $J_N = I_{nm}$

R_N : điện trở tương đương Norton

$R_N = R_{th}$: phương pháp tìm R_N giống như phương pháp tìm R_{th} đã trình bày ở trên.

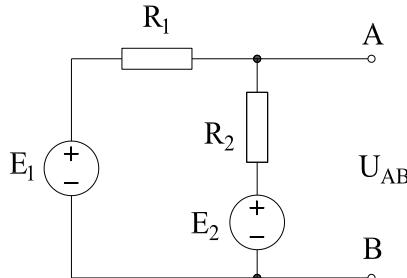
Ví dụ 1.5: Cho mạch điện như Hình 1.28. Biết $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 6 \text{ V}$. Hãy xác định I_R bằng cách áp dụng định lý Thevenin.



Hình 1.28

Giải:

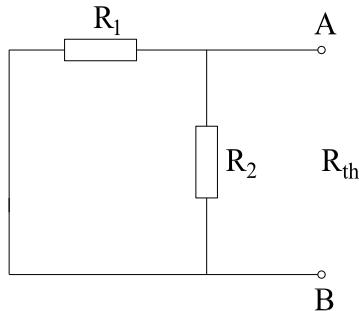
Để tính U_{th} ta tách bỏ nhánh cần tính I_R (nhánh chứa R_3) ra khỏi mạch:



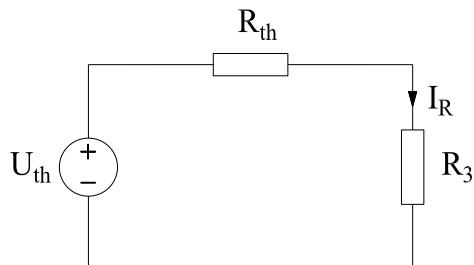
$$\text{Ta có: } U_{th} = U_{AB} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} R_2 + E_2 = \frac{10 - 6}{4 + 4} 4 + 6 = 8(V)$$

Tính R_{th} sau khi đã nối tắt nguồn điện áp:

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = 2(\Omega)$$

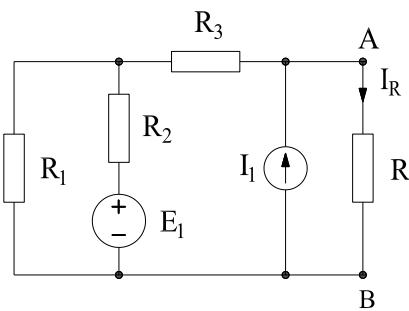


Mạch tương đương Thevenin:



$$\text{Suy ra: } I_R = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_3} = \frac{8}{2 + 6} = 1(A)$$

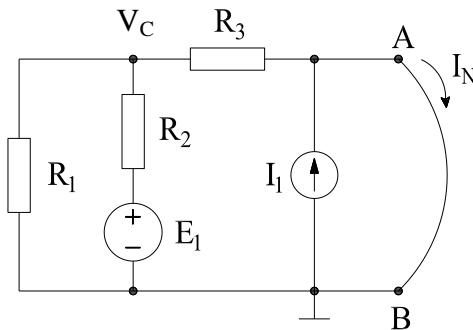
Ví dụ 1.6: Cho mạch điện như Hình 1.29. Biết $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $E_1 = 8 V$, $I_l = 3 A$, $R = 4 \Omega$. Hãy tính I_R bằng cách áp dụng định lý Norton.



Hình 1.29

Giải:

Ngắn mạch hai điểm A và B sau khi tháo bỏ điện trở $R = 4\Omega$, chúng ta được mạch điện như hình vẽ sau:



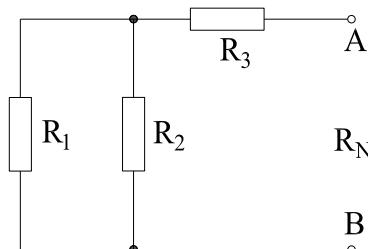
Để xác định dòng điện ngắn mạch I_N , trước hết, chúng ta cần xác định điện thế V_C . Theo định luật Kirchhoff 1, tổng tất cả các dòng theo chiều đi ra khỏi nút C bằng không. Tức là:

$$\frac{V_C}{R_1} + \frac{V_C - E_1}{R_2} + \frac{V_C}{R_3} = 0 \quad (\text{điện áp } V_B \text{ chọn bằng không})$$

$$\Rightarrow V_C \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right) = \frac{8}{4}, \text{ suy ra } V_C = 2V$$

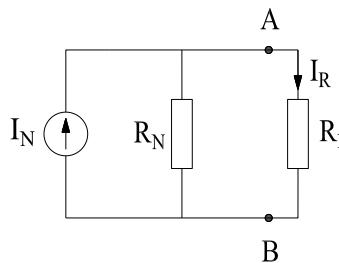
$$\text{Do đó: } I_N = \left(\frac{V_C}{R_3} + I_l = \frac{V_C}{2} + 3 \right) = 4(A)$$

Để xác định R_N , chúng ta nối tắt nguồn điện áp và mở mạch nguồn dòng điện để được mạch sau:



$$\text{Khi đó: } R_N = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} + 2 = 4(\Omega)$$

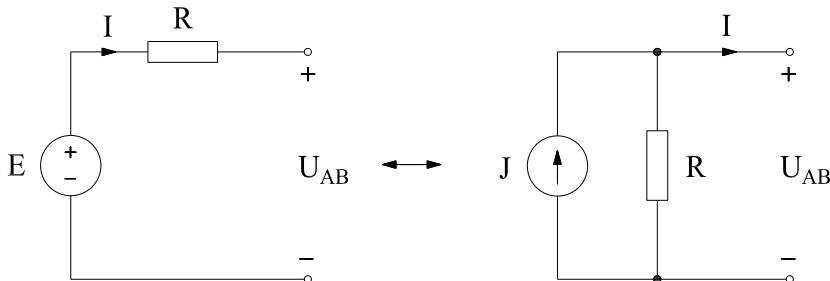
Ta suy ra sơ đồ tương đương Norton:



$$\text{và xác định được: } I_R = I_N \frac{R_N}{R_N + R} = 4 \cdot \frac{4}{4+4} = 2 \text{ (A)}$$

1.5.10. Biến đổi tương đương nguồn điện áp mắc nối tiếp với điện trở thành nguồn dòng điện mắc song song với điện trở và ngược lại

Từ phương pháp biến đổi tương đương theo định lý Thevenin và Norton, chúng ta thấy rằng mạch tương đương Thevenin có thể thay thế bởi mạch tương đương Norton và ngược lại. Nghĩa là một mạch gồm nguồn điện áp mắc nối tiếp với điện trở có thể biến đổi thành mạch gồm nguồn dòng điện mắc song song với điện trở và ngược lại (Hình 1.30).



Hình 1.30. Biến đổi tương đương nguồn điện áp thành nguồn dòng điện và ngược lại

Áp dụng định lý Thevenin và Norton ta được:

$$E = J \cdot R \text{ và } J = \frac{E}{R} \quad (1.42)$$

1.6. Phương pháp phân tích mạch điện phức tạp

Đối với các mạch điện đơn giản (chẳng hạn đoạn mạch chỉ gồm một nhánh, mạch chỉ gồm 1 vòng,...), việc phân tích mạch khá đơn giản bằng cách áp dụng định luật Ohm cho đoạn mạch hay cho toàn mạch. Đối với các mạch điện phức tạp, trong mạch có nhiều nút, nhiều nhánh, nhiều phần tử khác nhau,... thì việc phân tích mạch sẽ phức tạp hơn. Khi đó,

chúng ta cần vận dụng các phương pháp phân tích mạch điện phức tạp hoặc phối hợp nhiều phương pháp khác nhau. Các phương pháp thông dụng để phân tích mạch điện phức tạp là Phương pháp dòng điện nhánh, Phương pháp dòng điện mạch vòng, Phương pháp điện thế nút, Phương pháp xếp chồng. Trong quá trình phân tích mạch điện, có thể phải vận dụng các phương pháp biến đổi tương đương đã trình bày ở mục trước.

1.6.1. Phương pháp dòng điện nhánh

Phương pháp dòng điện nhánh được xây dựng trên cơ sở cho rằng trong một mạch điện phức tạp, trên mỗi nhánh có một dòng điện chạy qua, các dòng điện nhánh có mối liên hệ với nhau tại các nút (theo định luật Kirchhoff 1) và tại các vòng (theo định luật Kirchhoff 2). Phương pháp dòng điện nhánh bao gồm 3 bước cơ bản sau đây:

Bước 1: Tùy ý chọn chiều dòng điện trong các nhánh và chiều đi của các vòng. Biểu diễn chiều các dòng điện nhánh và chiều các vòng trên hình vẽ.

Bước 2: Xác định số nút n và số nhánh m. Viết m phương trình sau đây:

Viết $(n - 1)$ phương trình Kirchhoff 1 cho $(n - 1)$ nút;

Viết $(m - n + 1)$ phương trình Kirchhoff 2.

Bước 3: Giải hệ m phương trình ở bước 3 để tìm cường độ các dòng điện nhánh hoặc các thông số khác theo yêu cầu của bài toán.

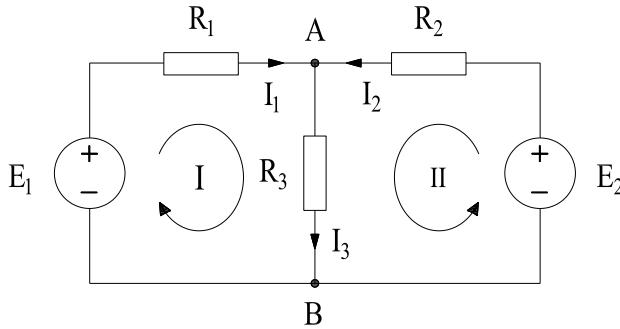
Lưu ý: Nếu mạch có n nút, m nhánh thì ta có thể viết $(n - 1)$ phương trình định luật Kirchhoff 1 và $(m - n + 1)$ phương trình định luật Kirchhoff 2 độc lập nhau.

Ví dụ 1.7: Cho mạch điện như Hình 1.31. Biết $E_1 = 10\text{ V}$, $E_2 = 5\text{ V}$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 5\Omega$. Tính dòng điện trên các nhánh.

Giải:

Bước 1: Chọn chiều các dòng điện nhánh I_1 , I_2 , I_3 và chiều đi của các vòng (I), (II) như hình vẽ.

Bước 2: Mạch điện đã cho có 2 nút và 3 nhánh. Như vậy chúng ta cần lập 1 phương trình Kirchhoff 1 và 2 phương trình Kirchhoff 2.



Hình 1.31

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút A ta có:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.43)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng (I) và vòng (II) ta có:

$$\text{Vòng 1: } I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0 \Rightarrow 2I_1 + 5I_3 = 10 \quad (1.44)$$

$$\text{Vòng 2: } I_2 R_2 + I_3 R_3 - E_2 = 0 \Rightarrow 3I_2 + 5I_3 = 5 \quad (1.45)$$

Bước 3: Giải hệ phương trình (1.43), (1.44), (1.45) ta được:

$$I_1 = \frac{55}{31}(\text{A}); I_2 = -\frac{15}{31}(\text{A}); I_3 = \frac{40}{31}(\text{A})$$

trong đó I_1 và I_3 có chiều như đã chọn trên hình vẽ, còn I_2 có chiều ngược lại với chiều đã chọn.

1.6.2. Phương pháp dòng điện mạch vòng

Phương pháp dòng điện mạch vòng (hay phương pháp dòng măt lưới) được xây dựng trên cơ sở cho rằng trong một mạch điện phức tạp bao gồm nhiều vòng thì trên mỗi vòng độc lập chúng ta có thể tưởng tượng ra một dòng điện chạy khép kín gọi là dòng điện mạch vòng. Khi đó dòng điện trên mỗi nhánh là tổng đại số các dòng điện mạch vòng chạy trên đó, độ sụt áp trên mỗi phần tử do dòng điện mạch vòng gây ra được chi phoi bởi định luật Kirchhoff 2. Phương pháp dòng điện mạch vòng bao gồm 4 bước cơ bản sau đây:

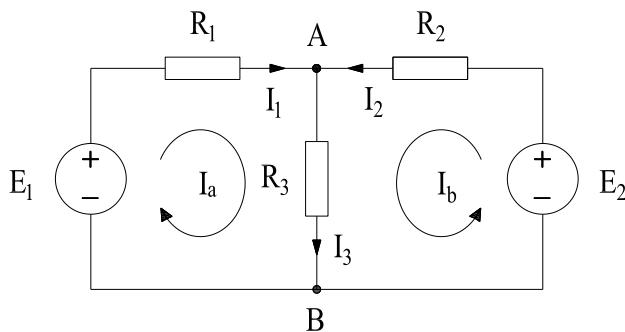
Bước 1: Xác định số nút n và số nhánh m để suy ra số vòng độc lập là $(m - n + 1)$. Tùy ý chọn chiều các dòng điện mạch vòng trong các vòng độc lập và biểu diễn các dòng điện đó trên hình vẽ. Vòng độc lập là một vòng không chứa các vòng khác trong nó.

Bước 2: Viết $(m - n + 1)$ phương trình Kirchhoff 2 cho các vòng độc lập theo chiều đã chọn.

Bước 3: Giải hệ phương trình dòng điện mạch vòng gồm $(m - n + 1)$ phương trình vừa thiết lập, chúng ta tìm được các dòng điện vòng.

Bước 4: Tính cường độ dòng điện các nhánh theo các dòng điện vòng bằng cách tùy ý chọn chiều các dòng điện nhánh, rồi lấy tổng đại số các dòng điện mạch vòng chạy qua nhánh. Sau đó xác định các thông số khác của mạch mà bài toán yêu cầu.

Ví dụ 1.8: Cho mạch điện như Hình 1.32. Biết $E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 5 \text{ V}$, $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$. Xác định dòng điện trên các nhánh.



Hình 1.32

Giải:

Bước 1: Ta thấy mạch điện đã cho có 3 nhánh, 2 nút và 2 vòng độc lập. Chọn chiều các dòng điện mạch vòng I_a , I_b như hình vẽ.

Bước 2: Viết 2 phương trình Kirchhoff 2 cho hai vòng độc lập:

$$\text{Vòng a: } I_a R_1 + (I_a + I_b) R_3 - E_1 = 0 \rightarrow 8I_a + 6I_b = 10 \quad (1.46)$$

$$\text{Vòng b: } I_b R_2 + (I_a + I_b) R_3 - E_2 = 0 \rightarrow 6I_a + 12I_b = 5 \quad (1.47)$$

Bước 3: Giải hệ phương trình (1.46), (1.47) ta được dòng điện trong các nhánh:

$$I_a = \frac{3}{2}(\text{A}); I_b = -\frac{1}{3}(\text{A})$$

Bước 4: Chọn chiều các dòng điện nhánh I_1 , I_2 , I_3 như hình vẽ trên. Khi đó dòng điện trong các nhánh có cường độ:

$$I_1 = I_a = \frac{3}{2}(A); I_2 = I_b = -\frac{1}{3}(A); I_3 = I_a + I_b = \frac{7}{6}(A)$$

trong đó dòng I_2 có chiều ngược lại so với chiều đã chọn vì có giá trị tính được âm.

1.6.3. Phương pháp điện thế nút

Phương pháp điện thế nút được xây dựng trên cơ sở cho rằng trong một mạch điện phức tạp bao gồm nhiều nút thì trên mỗi nút có một điện thế. Sự chênh lệch điện thế giữa các nút tạo ra các dòng điện nhánh và chúng liên hệ với nhau thông qua biểu thức của định luật Ohm. Tại mỗi nút, các dòng điện nhánh, và do đó, các điện thế nút sẽ có giá trị tuân theo định luật Kirchhoff 1. Phương pháp điện thế nút bao gồm 4 bước cơ bản sau đây:

Bước 1: Chọn một nút (thường là nút có nhiều nhánh nhất) làm nút gốc và cho điện thế nút đó bằng không.

Bước 2: Viết phương trình định luật Kirchhoff 1 cho các nút (trừ nút gốc) sử dụng các điện thế nút. Trước hết, chọn tùy ý chiều các dòng điện nhánh, sau đó, viết biểu thức các dòng điện nhánh dạng

$$I_{AB} = \frac{V_A - V_B}{R_{AB}} \quad (1.48)$$

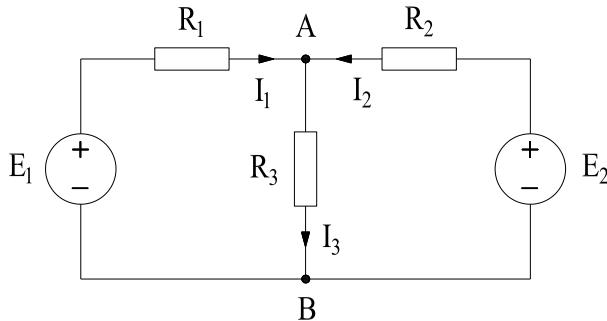
và cuối cùng viết phương trình định luật Kirchhoff 1 cho các nút thông qua các điện thế nút. Nếu mạch có n nút thì sẽ có $(n - 1)$ phương trình cần viết. Các phương trình này gọi là phương trình điện thế nút.

Bước 3: Giải $(n - 1)$ phương trình vừa viết để tìm được các giá trị điện thế của $(n - 1)$ nút. Đó cũng chính là giá trị điện áp của các nút so với nút gốc.

Bước 4: Tính cường độ các dòng điện nhánh thông qua biểu thức định luật Ohm (1.48). Từ đó xác định các thông số khác của mạch mà bài toán yêu cầu.

Lưu ý: Trong trường hợp đặc biệt, khi mạch điện chỉ có 2 nút, phương pháp điện thế nút áp dụng cho mạch điện này sẽ không nhất thiết tuân theo 4 bước như trên. Khi đó, người ta gọi phương pháp giải này là phương pháp điện áp 2 nút (sẽ được trình bày ở chương 2).

Ví dụ 1.9: Cho mạch điện như Hình 1.33. Biết $E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 5 \text{ V}$, $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$. Tính cường độ dòng điện trên các nhánh.



Hình 1.33

Giải:

Bước 1: Chọn B làm nút gốc, suy ra $V_B = 0$.

Bước 2: Viết phương trình định luật Kirchhoff 1 cho nút A:

Trước hết, ta chọn chiều các dòng điện nhánh như trên hình vẽ.
Biểu thức các dòng điện nhánh là:

$$I_1 = \frac{E_1 - V_A}{R_1}; I_2 = \frac{E_2 - V_A}{R_2}; I_3 = \frac{V_A - V_B}{R_3} = \frac{V_A}{R_3}$$

Phương trình điện thế nút tại A chính là phương trình Kirchhoff 1 viết tại nút A:

$$\frac{E_1 - V_A}{R_1} + \frac{E_2 - V_A}{R_2} - \frac{V_A}{R_3} = 0$$

Hay:

$$V_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \rightarrow V_A \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right) = \frac{10}{2} + \frac{5}{6}$$

Bước 3: Giải phương trình trên ta được

$$V_A = 7(\text{V})$$

Bước 4: Tính cường độ các dòng điện nhánh:

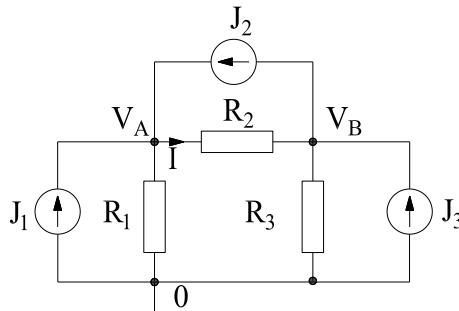
$$I_1 = \frac{E_1 - V_A}{R_1} = \frac{10 - 7}{2} = \frac{3}{2}(\text{A});$$

$$I_2 = \frac{E_2 - V_A}{R_2} = \frac{5 - 7}{6} = -\frac{1}{3} \text{ (A)};$$

$$I_3 = \frac{V_A}{R_3} = \frac{7}{6} \text{ (A)}$$

trong đó dòng điện I_2 có chiều ngược với chiều đã chọn vì giá trị tính được là âm.

Ví dụ 1.10: Cho mạch điện như Hình 1.34. Biết $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $J_1 = 2 \text{ A}$, $J_2 = 6 \text{ A}$, $J_3 = 3 \text{ A}$. Hãy tìm dòng điện I qua R_2 .



Hình 1.34

Giải:

Chúng ta sẽ áp dụng phương pháp điện thế nút để giải bài toán này.

Chọn O làm nút gốc có điện thế bằng không. Giả sử các dòng điện nhánh chưa ký hiệu trên hình vẽ đều có chiều đi ra khỏi các nút A, B. Phương trình điện thế nút tại A và B được viết như sau:

$$\begin{aligned} \text{Nút A: } & J_1 + J_2 - \frac{V_A - V_B}{R_2} - \frac{V_A}{R_1} = 0 \\ & \Rightarrow V_A \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right) - V_B \frac{1}{2} = 2 + 6 \end{aligned} \quad (1.49)$$

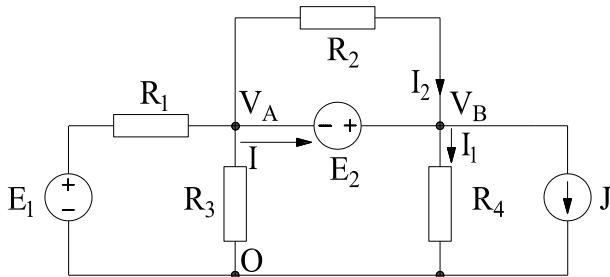
$$\begin{aligned} \text{Nút B: } & J_3 - J_2 + \frac{V_A - V_B}{R_2} - \frac{V_B}{R_3} = 0 \\ & \Rightarrow -V_A \frac{1}{2} + V_B \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) = 3 - 6 \end{aligned} \quad (1.50)$$

Giải hệ phương trình (1.49), (1.50) ta được: $V_A = 13V$; $V_B = 3,5V$.

Từ đó suy ra:

$$I = \frac{V_A - V_B}{R_2} = \frac{13 - 3,5}{2} = 4,75(A)$$

Ví dụ 1.11: Cho mạch điện như Hình 1.35. Biết $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $R_4 = 2 \Omega$, $E_1 = 17 V$, $E_2 = 6 V$, $J = 2 A$. Hãy xác định cường độ các dòng điện I , I_1 và I_2 .



Hình 1.35

Giải:

Chúng ta sẽ áp dụng phương pháp điện thế nút để giải bài toán này.

Chọn O làm nút gốc có điện thế bằng không. Giả sử các dòng điện nhánh chưa ký hiệu trên hình vẽ đều có chiều đi vào nút A. Phương trình điện thế nút tại A và B được viết như sau:

$$\text{Nút A: } \frac{E_1 - V_A}{R_1} - \frac{V_A - V_B}{R_2} - I + \frac{0 - V_A}{R_3} = 0$$

$$\text{Nút B: } I + \frac{V_A - V_B}{R_2} - J - \frac{V_B - 0}{R_4} = 0$$

Với $V_A - V_B = -6(V)$, thay các giá trị đã cho vào hai phương trình trên ta được:

$$\frac{17 - V_A}{3} + \frac{6}{3} - I - \frac{V_A}{2} = 0$$

$$I - \frac{6}{3} - 2 - \frac{V_B}{2} = 0$$

Giải hệ phương trình trên với $V_A = V_B - 6$ ta được:

$$V_A = 0,5 \text{ (V)}; V_B = 6,5 \text{ (V)}; I = 7,25 \text{ (A)}$$

Suy ra:

$$I_1 = \frac{V_B}{R_4} = \frac{6,5}{2} = 3,25 \text{ (A)}$$

Mặt khác:

$$I + I_2 - I_1 - J = 0 \rightarrow I_2 = I_1 + J - I = 3,25 + 2 - 7,25 = -2 \text{ (A)}$$

Nghĩa là I_2 có chiều ngược với chiều trên hình vẽ.

1.6.4. Phương pháp xếp chồng

Phương pháp xếp chồng là một phương pháp phân tích mạch điện được xây dựng trên cơ sở nguyên lý xếp chồng. Nguyên lý này có nội dung như sau:

Trong một mạch điện tuyến tính có nhiều nguồn, mọi tín hiệu $u(t)$ và $i(t)$ của mạch điện đều có thể được biểu diễn bằng tổng đại số các tín hiệu đó do từng nguồn độc lập tác động sinh ra trong khi các nguồn độc lập khác tắt.

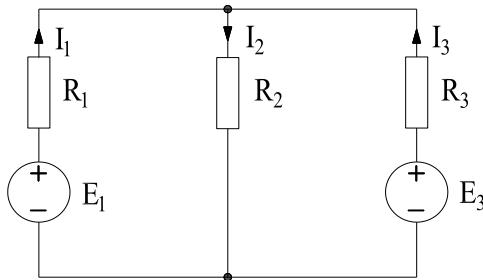
Trên cơ sở đó, phương pháp xếp chồng được xây dựng bao gồm 3 bước sau đây:

Bước 1: Chọn tùy ý chiều dòng điện trên các nhánh và biểu diễn trên hình vẽ.

Bước 2: Tính cường độ dòng điện trên nhánh do từng nguồn tác động bằng cách: Cho lần lượt mỗi nguồn tác động làm việc riêng rẽ trong khi các nguồn khác tắt và tính dòng điện nhánh trong mỗi lần tác động đó. Cho các nguồn khác tắt theo nguyên tắc ngắn mạch nguồn điện áp và mở mạch nguồn dòng điện.

Bước 3: Tính cường độ dòng điện qua nhánh bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh đó do tác động riêng rẽ của từng nguồn. Từ đó xác định các thông số khác của mạch mà bài toán yêu cầu.

Ví dụ 1.12: Cho mạch điện như Hình 1.36. Biết $R_1 = 3 \Omega$; $R_2 = 3 \Omega$; $R_3 = 3 \Omega$; $E_1 = 45 \text{ V}$; $E_3 = 18 \text{ V}$. Hãy xác định cường độ dòng điện I_2 .



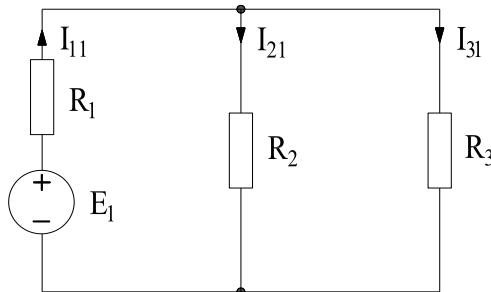
Hình 1.36

Giải:

Bước 1: Chọn chiều dòng điện trên ba nhánh và biểu diễn như trên hình vẽ.

Bước 2: Tính cường độ dòng điện trên nhánh chứa R_2 do từng nguồn tác động:

Trước hết, cho nguồn điện áp E_1 tác động, khi đó nguồn điện áp E_3 sẽ ngắn mạch. Ta có sơ đồ như sau:



Sử dụng phương pháp biến đổi tương đương.

$$R_{td1} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 3 \frac{3 \cdot 3}{3+3} = 4,5(\Omega)$$

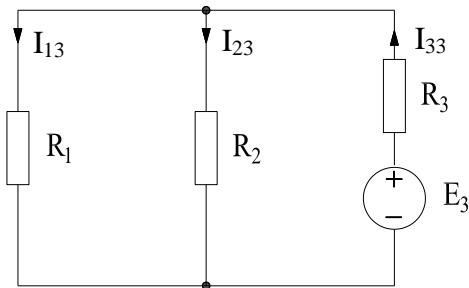
Dòng điện nhánh (1) do E_1 tác động:

$$I_{11} = \frac{E_1}{R_{td1}} = \frac{45}{4,5} = 10(A)$$

Dòng điện nhánh (2) do E_1 tác động:

$$I_{21} = I_{11} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 10 \frac{3}{3+3} = 5(A)$$

Tương tự như trên, cho nguồn điện áp E_3 tác động, khi đó nguồn điện áp E_1 sẽ ngắn mạch. Ta có sơ đồ như sau:



$$R_{td3} = R_3 + \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} = 3 \frac{3 \cdot 3}{3 + 3} = 4,5(\Omega)$$

Dòng điện nhánh (3) do E_3 tác động:

$$I_{33} = \frac{E_3}{R_{td3}} = \frac{18}{4,5} = 4(A)$$

Dòng điện nhánh (2) do E_3 tác động:

$$I_{23} = I_{33} \frac{R_1}{R_2 + R_1} = 4 \frac{3}{3+3} = 2(A)$$

Bước 3: Xếp chòng kết quả: Cường độ dòng điện qua nhánh (2) bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh đó do tác động riêng rẽ của từng nguồn E_1 và E_3 :

$$I_2 = I_{21} + I_{23} = 5 + 2 = 7(A)$$

Tóm tắt nội dung chương 1

1. Mạch điện là một hệ thống gồm các thiết bị, linh kiện điện, điện tử ghép lại với nhau thông qua dây dẫn, trong đó xảy ra các quá trình truyền đạt, biến đổi năng lượng hay tín hiệu điện từ đo bởi các đại lượng dòng điện, điện áp. Mạch điện thông thường gồm các phần tử chính như nguồn điện, phụ tải, dây dẫn. Kết cấu hình học của mạch điện gồm: Nhánh, nút và vòng.

2. Cường độ dòng điện (intensity) là đại lượng đặc trưng cho độ lớn của dòng điện, được đo bằng điện lượng chảy qua tiết diện thẳng của dây dẫn trong 1 đơn vị thời gian:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

3. Hiệu điện thế giữa 2 điểm gọi là điện áp: $U_{AB} = V_A - V_B$

4. Công suất tiêu thụ trên điện trở: $P = I^2 R$

5. Điện trở, với thông số R – trở kháng, đặc trưng cho hiện tượng tiêu tán năng lượng, biến điện năng thành nhiệt năng:

$$u_R = Ri$$

6. Cuộn cảm, với thông số L – điện cảm, đặc trưng cho hiện tượng tích phóng năng lượng từ trường của phần tử mạch điện:

$$u_L = L \frac{di(t)}{dt}$$

7. Tụ điện, với thông số C – điện dung, đặc trưng cho hiện tượng tích phóng năng lượng điện trường của phần tử mạch điện:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

8. Nguồn điện áp độc lập là phần tử hai cực mà điện áp của nó không phụ thuộc vào giá trị dòng điện cung cấp từ nguồn và có độ lớn chính bằng sức điện động của nguồn. Nguồn dòng điện độc lập là phần tử hai cực mà dòng điện của nó không phụ thuộc vào điện áp trên hai cực của nguồn. Các dạng nguồn phụ thuộc: Nguồn điện áp phụ thuộc điện

áp, nguồn điện áp phụ thuộc dòng điện, nguồn dòng điện phụ thuộc điện áp, nguồn dòng điện phụ thuộc dòng điện.

9. Định luật Ohm đối với nhánh chứa nguồn điện và điện trở:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB} + \sum_{k=1}^m E_k}{\sum_{j=1}^n R_j}$$

10. Định luật Kirchhoff 1: Tổng đại số các dòng điện đi qua một nút trong một mạch điện bằng không:

$$\sum_{k=1}^n a_k i_k = 0$$

11. Định luật Kirchhoff 2: Tổng đại số các điện áp rơi trong một vòng kín bằng không:

$$\sum_{k=1}^n b_k u_k = 0$$

12. Nếu mạch có n nút, m nhánh thì ta có thể viết $(n-1)$ phương trình định luật Kirchhoff 1 và $(m - n + 1)$ phương trình định luật Kirchhoff 2 độc lập nhau.

13. Biến đổi tương đương mạch chứa điện trở mắc nối tiếp:

$$R_{td} = \sum_{k=1}^n R_k$$

14. Biến đổi tương đương mạch chứa điện trở mắc song song:

$$\frac{1}{R_{td}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

15. Mạch chia dòng điện

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}; I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

16. Mạch chia điện áp

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}; U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

17. Biến đổi tương đương điện trở mắc hình tam giác sang hình sao

$$R_1 = \frac{R_C \cdot R_A}{R_A + R_B + R_C}; R_2 = \frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B + R_C}; R_3 = \frac{R_C \cdot R_B}{R_A + R_B + R_C}$$

18. Biến đổi tương đương điện trở mắc hình sao sang hình tam giác

$$R_A = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}; R_B = R_3 + R_2 + \frac{R_3 R_2}{R_1}; R_C = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

19. Biến đổi tương đương nguồn sức điện động nối tiếp

$$E_{td} = \sum_{k=1}^n E_k$$

20. Biến đổi tương đương nguồn dòng điện mắc song song

$$J_{td} = \sum_{k=1}^n J_k$$

21. Biến đổi tương đương nguồn điện áp mắc nối tiếp với điện trở thành nguồn dòng điện song song với điện trở và ngược lại:

$$E = J \cdot R \text{ và } J = \frac{E}{R}$$

22. Phân tích mạch điện bằng Phương pháp dòng điện nhánh:

Bước 1: Tùy ý chọn chiều dòng điện trong các nhánh và chiều đi của các vòng. Biểu diễn chiều các dòng điện nhánh và chiều các vòng trên hình vẽ.

Bước 2: Xác định số nút n và số nhánh m. Viết m phương trình sau đây:

Viết $(n - 1)$ phương trình Kirchhoff 1 cho $(n - 1)$ nút;

Viết $(m - n + 1)$ phương trình Kirchhoff 2.

Bước 3: Giải hệ m phương trình ở bước 3 để tìm cường độ các dòng điện nhánh hoặc các thông số khác theo yêu cầu của bài toán.

23. Phân tích mạch điện bằng Phương pháp dòng điện mạch vòng:

Bước 1: Xác định số nút n và số nhánh m để suy ra số vòng độc lập là $(m - n + 1)$. Tùy ý chọn chiều các dòng điện mạch vòng trong các

vòng độc lập và biểu diễn các dòng điện đó trên hình vẽ. Vòng độc lập là một vòng không chứa các vòng khác trong nó.

Bước 2: Viết $(m - n + 1)$ phương trình Kirchhoff 2 cho các vòng độc lập theo chiều đã chọn.

Bước 3: Giải hệ phương trình dòng điện mạch vòng gồm $(m - n + 1)$ phương trình vừa thiết lập, chúng ta tìm được các dòng điện vòng.

Bước 4: Tính cường độ dòng điện các nhánh theo các dòng điện vòng bằng cách tùy ý chọn chiều các dòng điện nhánh, rồi lấy tổng đại số các dòng điện mạch vòng chạy qua nhánh. Sau đó xác định các thông số khác của mạch mà bài toán yêu cầu.

24. Phân tích mạch điện bằng Phương pháp điện thế nút:

Bước 1: Chọn một nút (thường là nút có nhiều nhánh nhất) làm nút gốc và cho điện thế nút đó bằng không.

Bước 2: Viết phương trình định luật Kirchhoff 1 cho các nút (trừ nút gốc) sử dụng các điện thế nút.

Bước 3: Giải $(n - 1)$ phương trình vừa viết để tìm được các giá trị điện áp của $(n - 1)$ nút.

Bước 4: Tính cường độ các dòng điện nhánh thông qua biểu thức định luật Ohm. Từ đó xác định các thông số khác của mạch mà bài toán yêu cầu.

25. Phân tích mạch điện bằng Phương pháp xếp chồng:

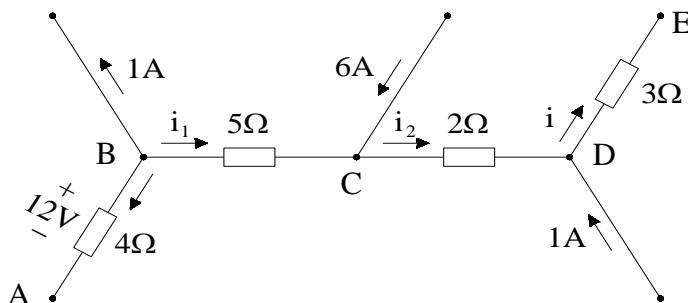
Bước 1: Chọn tùy ý chiều dòng điện trên các nhánh và biểu diễn trên hình vẽ.

Bước 2: Tính cường độ dòng điện trên nhánh do từng nguồn tác động bằng cách: Cho lần lượt mỗi nguồn tác động làm việc riêng rẽ trong khi các nguồn khác tắt và tính dòng điện nhánh trong mỗi lần tác động đó. Cho các nguồn khác tắt theo nguyên tắc ngắn mạch nguồn điện áp và mở mạch nguồn dòng điện.

Bước 3: Tính cường độ dòng điện qua nhánh bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh đó do tác động riêng rẽ của từng nguồn. Từ đó xác định các thông số khác của mạch mà bài toán yêu cầu.

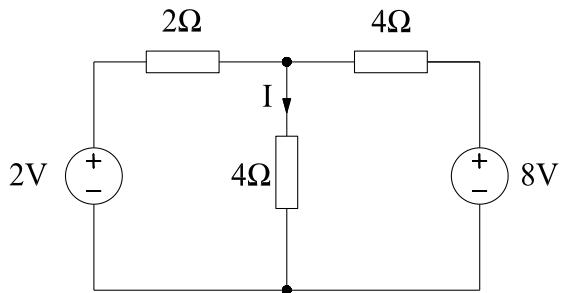
Câu hỏi và bài tập chương 1

- 1.1. Hãy trình bày các khái niệm mạch điện, dòng điện, điện áp.
- 1.2. Hãy viết biểu thức định luật Ohm cho đoạn mạch chứa nguồn và nêu quy tắc xác định dấu của các đại lượng trong phương trình.
- 1.3. Hãy phát biểu định luật Kirchhoff về dòng điện và định luật Kirchhoff về điện áp.
- 1.4. Hãy trình bày về mối quan hệ của các dòng điện trong các nhánh của đoạn mạch mắc song song và viết công thức chia dòng.
- 1.5. Hãy trình bày về mối quan hệ của các điện áp trên các phần tử của đoạn mạch mắc nối tiếp và viết công thức chia áp.
- 1.6. Hãy trình bày các phương pháp biến đổi tương đương cho đoạn mạch chứa điện trở mắc hình sao, hình tam giác.
- 1.7. Hãy trình bày các định lý Thevenin và Norton.
- 1.8. Hãy trình bày các bước phân tích mạch điện bằng phương pháp dòng điện nhánh.
- 1.9. Hãy trình bày các bước phân tích mạch điện bằng phương pháp dòng điện vòng.
- 1.10. Hãy trình bày các bước phân tích mạch điện bằng phương pháp điện thế nút.
- 1.11. Hãy trình bày các bước phân tích mạch điện bằng phương pháp xếp chồng.
- 1.12. Cho mạch điện như Hình 1.37. Xác định cường độ dòng điện i .



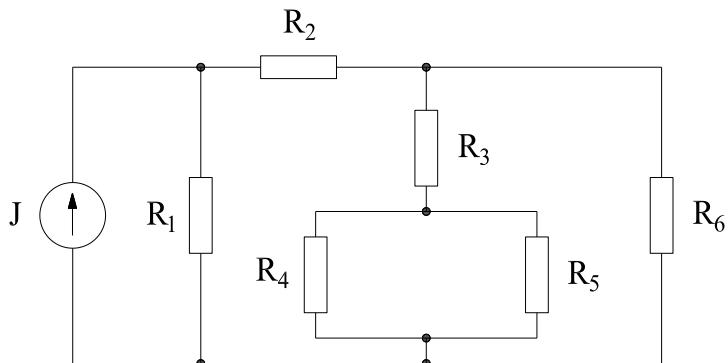
Hình 1.37

1.13. Cho mạch điện như Hình 1.38. Xác định cường độ dòng điện I .



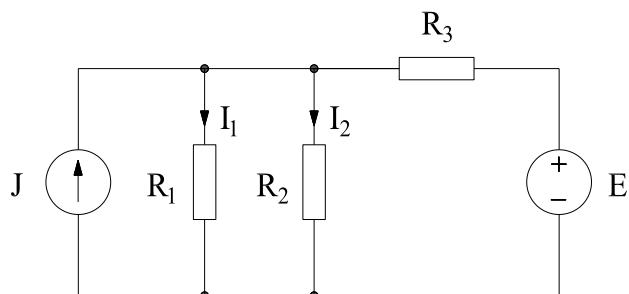
Hình 1.38

1.14. Cho mạch điện như Hình 1.39. Biết $R_1 = 7 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $R_4 = 3 \Omega$, $R_5 = 6 \Omega$, $R_6 = 12 \Omega$, $J = 8 \text{ A}$. Hãy tính công suất tiêu thụ trên điện trở R_5 .



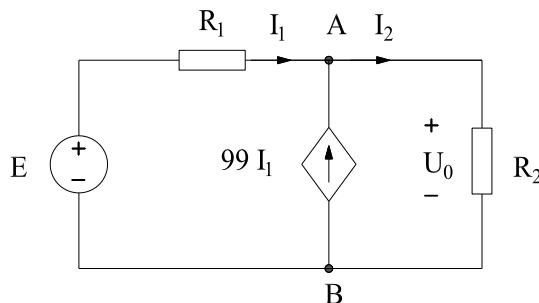
Hình 1.39

1.15. Cho mạch điện như Hình 1.40. Biết $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 8 \Omega$, $J = 5 \text{ A}$, $E = 25 \text{ V}$. Hãy tìm các dòng điện I_1 , I_2 , I_3 .



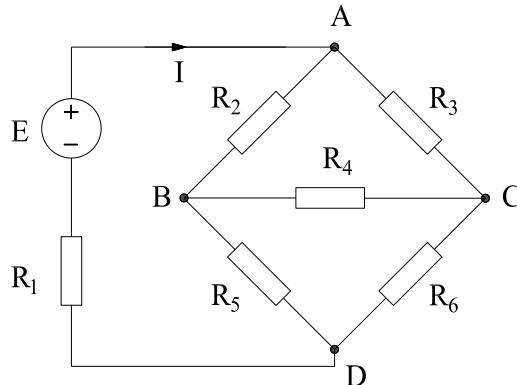
Hình 1.40

1.16. Cho mạch điện như Hình 1.41. Biết $R_1 = 300 \Omega$, $R_2 = 97 \Omega$, $E = 1$ V. Hãy tính U_0 .



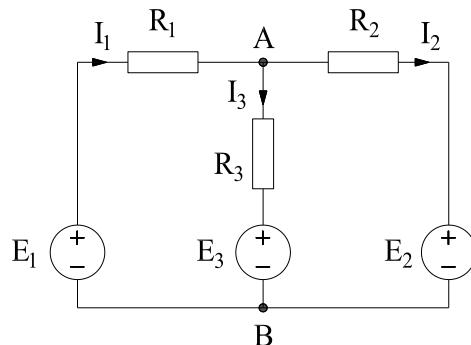
Hình 1.41

1.17. Cho mạch điện như Hình 1.42. Biết $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = R_3 = R_4 = 3 \Omega$, $R_5 = R_6 = 5 \Omega$, $E = 9$ V. Hãy tìm dòng điện I .



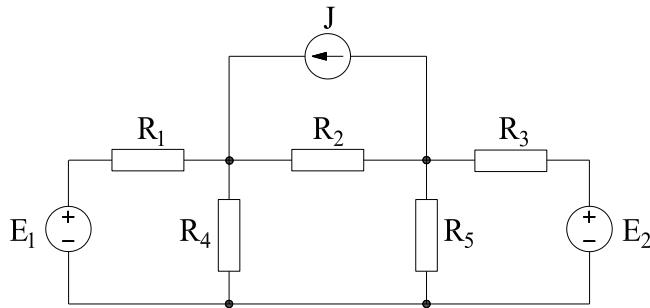
Hình 1.42

1.18. Cho mạch điện như Hình 1.43. Biết $E_1 = 4$ V, $E_2 = 3$ V, $E_3 = 7$ V, $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$. Hãy tìm dòng điện I_1 , I_2 , I_3 .



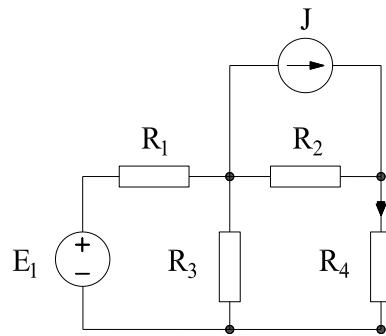
Hình 1.43

1.19. Cho mạch điện như Hình 1.44. Biết $E_1 = 24$ V, $E_2 = 12$ V, $J = 1$ A, $R_2 = 4 \Omega$, $R_1 = R_3 = R_4 = R_5 = 4 \Omega$. Hãy tìm dòng điện qua R_2 .



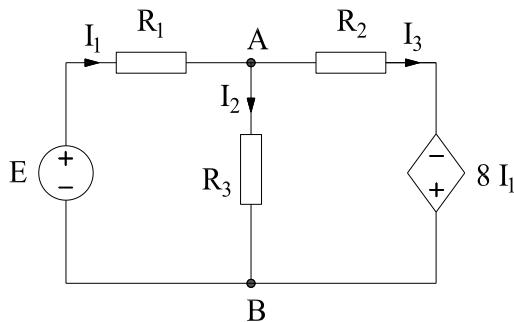
Hình 1.44

1.20. Cho mạch điện như Hình 1.45. Biết $E_1 = 15$ V, $J = 2$ A, $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 8 \Omega$. Hãy tìm dòng điện qua R_4 .



Hình 1.45

1.21. Cho mạch điện như Hình 1.46. Biết $E = 12$ V, $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$. Hãy tìm dòng điện I_1 , I_2 , I_3 .



Hình 1.46

Tài liệu đọc thêm chương 1

1. Lê Văn Bảng, *Giáo trình lý thuyết mạch điện*, Nxb Giáo dục Việt Nam, 2011.
2. Phạm Thị Cư, Lê Minh Cường, Trương Trọng Tuấn Mỹ, *Mạch điện 1*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
3. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Kỹ thuật điện*, Nxb Khoa học & kỹ thuật, 2007.
4. Trần Tùng Giang, Lê Thị Thanh Hoàng, *Mạch điện*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
5. Charles K. Alexander, Matthew N.O. Sadiku, *Fundamentals of Electric Circuits*, 5th Edition, Mc Graw Hill, 2012.
6. James A. Svoboda, Richard C. Dorf, *Introduction to electric Circuits*, 9th Edition, Wiley, 2013.

Chương 2

MẠCH ĐIỆN XÁC LẬP ĐIỀU HÒA

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 2

Sau khi học xong Chương 2, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được các đại lượng đặc trưng của dòng điện điều hòa: giá trị tức thời, biên độ, giá trị hiệu dụng, pha, pha ban đầu, tần số, chu kỳ;
- Biểu diễn được dòng điện điều hòa bằng đồ thị, bằng vector, bằng các dạng số phức khác nhau và biến đổi qua lại giữa các cách biểu diễn đó;
- Trình bày được mối quan hệ giữa điện áp với dòng điện trên các phần tử điện trở, cuộn cảm, tụ điện và đoạn mạch chứa các phần tử đó khi mắc nối tiếp, song song;
- Trình bày được các loại công suất và hệ số công suất trong mạch điện xác lập điều hòa;
- Giải được các mạch điện xác lập điều hòa thường gặp bằng phương pháp phù hợp.

Trong chương 1, chúng ta đã biết khái niệm mạch điện và các chế độ làm việc của nó. Trong chương này, chúng ta chỉ giới hạn khảo sát mạch điện xác lập điều hòa. Đó là mạch điện làm việc ở chế độ xác lập (quy luật biến thiên dòng điện là xác định) và đó là quy luật điều hòa (biến thiên theo hàm dạng sin hoặc cosin đối với thời gian).

2.1. Dòng điện điều hòa

2.1.1. Khái niệm dòng điện điều hòa

Dòng điện điều hòa là dòng điện biến đổi theo quy luật hình sin (hoặc cosin) đối với thời gian. Biểu thức phụ thuộc thời gian của cường độ dòng điện điều hòa là:

$$i(t) = I_0 \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (2.1)$$

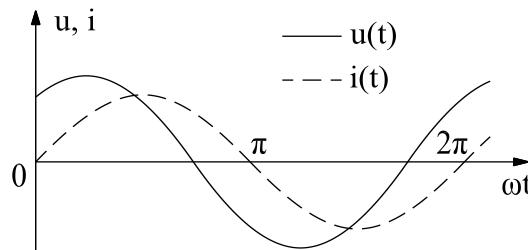
Tương tự đối với điện áp và suất điện động điều hòa:

$$u(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (2.2)$$

$$e(t) = E_0 \sin(\omega t + \varphi_e) \quad (2.3)$$

trong đó i, u, e là các giá trị tức thời của cường độ dòng điện, điện áp và suất điện động, t là thời gian. Đồ thị của dòng điện điều hòa được mô tả như ở Hình 2.1.

Do nhiều ưu điểm nổi bật về quá trình sản xuất, truyền tải, sử dụng, cũng như thuận lợi trong tính toán thiết kế, dòng điện điều hòa được sử dụng nhiều trong sản xuất và đời sống.



Hình 2.1. Biểu diễn dòng điện điều hòa bằng đồ thị

2.1.2. Các đại lượng đặc trưng của dòng điện điều hòa

Trong phương trình (2.1) các đại lượng đặc trưng cho dòng điện điều hòa là:

- + i (đơn vị A) là giá trị tức thời của dòng điện;
- + I_0 (A) là các biên độ hay giá trị cực đại,
- + $(\omega t + \varphi_i)$ (rad) là pha của dòng điện, φ_i là pha ban đầu (khi $t = 0$)
- + ω (rad/s) là tần số góc (hay tần số pha).

Ngoài các đại lượng trên, dòng điện điều hòa còn được đặc trưng bởi:

+ tần số f (Hz), liên hệ với tần số góc theo công thức:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.4)$$

+ chu kỳ (s) là đại lượng nghịch đảo của tần số:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.5)$$

Các đại lượng đặc trưng nói trên cũng áp dụng đối với điện áp và suất điện động trong các phương trình (2.2) và (2.3).

Tần số của dòng điện điều hòa ở Việt Nam là $f = 50\text{Hz}$, do đó tần số góc là $\omega = 2\pi \cdot 50$ hay xấp xỉ 314(rad/s) và chu kỳ là $T = 1/50 = 0,02\text{s}$.

Do các đặc tính của các thông số trong mạch điện đối với dòng điện điều hòa, giữa điện áp và cường độ dòng điện thường lệch pha nhau. Độ lệch pha được định nghĩa:

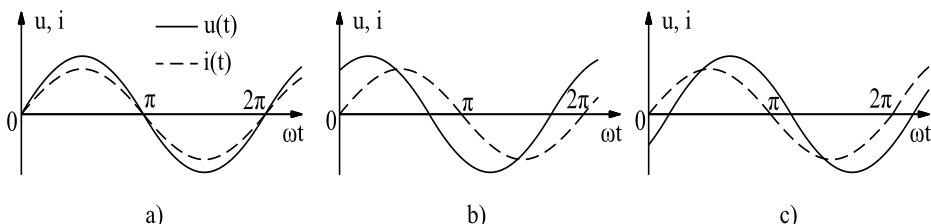
$$\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_u) - (\omega t + \varphi_i) = \varphi_u - \varphi_i \quad (2.6)$$

Nếu $\Delta\varphi = 0$ thì điện áp cùng pha với dòng điện

$\Delta\varphi > 0$ thì điện áp sớm pha (vượt trước) so với dòng điện

$\Delta\varphi < 0$ thì điện áp chậm pha so với dòng điện.

Hình 2.2 biểu diễn điện áp và dòng điện trong các trường hợp nói trên.



Hình 2.2. Biểu diễn sự lệch pha giữa điện áp và dòng điện

- a) $\varphi_u = \varphi_i$, điện áp cùng pha dòng điện; b) $\varphi_u > \varphi_i$, điện áp sớm pha hơn dòng điện; c) $\varphi_u < \varphi_i$, điện áp chậm pha hơn dòng điện

Ta biết rằng hàm cosin và hàm sin có thể chuyển đổi qua lại nên những dòng điện biến thiên theo quy luật hàm sin hoặc cosin đối với thời

gian đều được gọi chung là dòng điện điều hòa. Tuy nhiên, trong giáo trình này ta quy ước chỉ dùng hàm sin để biểu diễn dòng điện điều hòa. Do đó, tất cả các hàm sin hay cosin khi biểu diễn dòng điện điều hòa đều phải quy đổi về hàm sin trước khi tính pha của dòng điện đó.

Ví dụ 2.1: Cho hai dòng điện được biểu diễn bằng các hàm phụ thuộc thời gian sau:

$$i_1(t) = 10\sin(100\pi t + \pi/3) A$$

$$i_2(t) = -20\cos(100\pi t + \pi/6) A$$

Tính độ lệch pha giữa hai dòng điện. Dòng điện nào sớm pha hơn?

Giải:

Trước khi tính độ lệch pha, ta phải đưa hàm biểu diễn dòng $i_2(t)$ về hàm sin:

$$i_2(t) = -20\cos(100\pi t + \pi/6) = 20\sin(100\pi t + \pi/6 - \pi/2)$$

$$i_2(t) = 20\sin(100\pi t - \pi/3) A$$

So sánh biểu thức này với biểu thức của $i_1(t)$, ta dễ dàng tính được độ lệch pha là:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \pi/3 - (-\pi/3) = 2\pi/3 > 0.$$

Dòng điện $i_1(t)$ nhanh pha hơn $i_2(t)$ một góc bằng $2\pi/3$.

Ví dụ 2.2: Dòng điện điều hòa có điện áp và cường độ được biểu diễn bởi các hàm:

$$u(t) = -200\sin(100\pi t - \pi/6) V$$

$$i(t) = 10\sin(100\pi t + \pi/3) A$$

Điện áp hay cường độ dòng điện chậm pha hơn và chậm hơn bao nhiêu?

Giải:

Ta chuyển $u(t)$ về hàm sin:

$$u(t) = -200\sin(100\pi t - \pi/6) = 200\sin(100\pi t - \pi/6 + \pi)$$

$$u(t) = 200\sin(100\pi t + 5\pi/6) V$$

Độ lệch pha của điện áp so với cường độ dòng điện là:

$$\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 5\pi/6 - \pi/3 = \pi/2$$

Ta thấy cường độ dòng điện chậm pha hơn điện áp một góc bằng $\pi/2$.

2.1.3. Trị số hiệu dụng của dòng điện điều hòa

Để đặc trưng cho dòng điện điều hòa, người ta còn dùng khái niệm trị số (hay giá trị) hiệu dụng, thể hiện sự tương đương về năng lượng qua sự tỏa nhiệt của dòng điện điều hòa và dòng điện không đổi trên các điện trở y hệt: Nếu trong cùng khoảng thời gian, lượng nhiệt tỏa ra trên các điện trở y hệt (R) là như nhau thì hai dòng điện đó tương đương nhau về năng lượng.

Công suất trung bình của dòng điện điều hòa được xác định như sau:

$$P_{\text{~}} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt$$

Chọn pha ban đầu của dòng điện bằng 0, và thay $i = I_0 \sin(\omega t)$ vào biểu thức trên ta được:

$$P_{\text{~}} = \frac{1}{T} \int_0^T R \cdot I_0^2 \sin^2(\omega t) dt = \frac{I_0^2 R}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt$$

Tính tích phân:

$$\int_0^T \sin^2(\omega t) dt = \int_0^T \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) dt = \frac{1}{2} \int_0^T dt - \frac{1}{2} \int_0^T \cos(2\omega t) dt = \frac{T}{2}$$

Do đó,

$$P_{\text{~}} = \frac{I_0^2 R}{T} \cdot \frac{T}{2} = \frac{I_0^2 R}{2}$$

So sánh với biểu thức công suất của dòng điện 1 chiều $P_{-} = I^2 R$, ta thấy $P_{\text{~}} = P_{-}$ khi

$$I = I_0 / \sqrt{2} \quad (2.7)$$

Trị số hiệu dụng của dòng điện điều hòa là giá trị của dòng điện một chiều tương đương với nó về năng lượng, có giá trị bằng cực đại của dòng điện điều hòa chia cho $\sqrt{2}$.

Tương tự, ta cũng có giá trị hiệu dụng đối với điện áp và suất điện động:

$$U = U_0 / \sqrt{2} \quad (2.8)$$

$$E = E_0 / \sqrt{2} \quad (2.9)$$

Giá trị định mức ghi trên các thiết bị điện xoay chiều nói chung đều là giá trị hiệu dụng. Khi ta nói lưới điện Việt nam có điện áp 220V, nghĩa là trị số hiệu dụng của điện áp là 220V; Khi ta đo cường độ chạy qua một thiết bị là 10A, ta biết đó là cường độ hiệu dụng, tức là cường độ dòng điện chạy qua thiết bị đó biến thiên từ $-10\sqrt{2}$ (A) đến $10\sqrt{2}$ (A).

Thay thế giá trị cực đại của dòng điện điều hòa ở các biểu thức (2.7), (2.8), (2.9) bằng giá trị hiệu dụng tương ứng, ta được biểu thức trị số tức thời viết theo giá trị hiệu dụng:

$$i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_i) \quad (2.10)$$

$$u(t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_u) \quad (2.11)$$

$$e(t) = E\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_e) \quad (2.12)$$

2.2. Biểu diễn dòng điện điều hòa

Việc biểu diễn dòng điện điều hòa bằng các hàm số lượng giác và đồ thị sẽ gặp nhiều khó khăn khi cần tính toán mạch điện. Do đó, ngoài 2 phương pháp biểu diễn nói trên người ta thường dùng 2 phương pháp khác, đó là dùng giản đồ vector (còn gọi là giản đồ Fresnel) và dùng số phức.

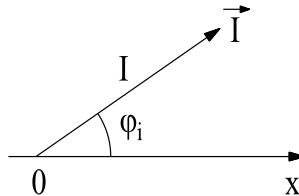
2.2.1. Biểu diễn dòng điện điều hòa bằng vector

Đại lượng điều hòa (2.10) được đặc trưng bằng 3 thông số chính: giá trị hiệu dụng I , tần số góc ω và pha ban đầu φ_i . Người ta có thể biểu diễn sự biến thiên của đại lượng đó bằng vector quay. Cách thực hiện như sau:

- Trên mặt phẳng chọn trục nằm ngang x (xem Hình 2.3):
- Trên trục x chọn điểm làm gốc (O).

- Từ O vẽ vector \overrightarrow{OM} sao cho $|\overrightarrow{OM}| = I$ (giá trị hiệu dụng)⁽¹⁾ và φ_i = pha ban đầu

- Cho vector \overrightarrow{OM} quay theo chiều dương (ngược kim đồng hồ) với vận tốc góc ω .



Hình 2.3. Biểu diễn dòng điện điều hòa bằng vector

Vector \overrightarrow{OM} vẽ theo quy tắc trên biểu diễn đại lượng điện điều hòa có giá trị hiệu dụng là I , tần số góc là ω và pha ban đầu bằng φ_i . Ký hiệu là

$$\vec{I} = I \angle \varphi_i \quad (2.13)$$

Tương tự, ta có thể ký hiệu điện áp và suất điện động bằng vector, ví dụ:

$$\vec{U}_1 = 220 \angle 30^\circ V, \vec{U}_2 = 120 \angle 90^\circ V;$$

$$\vec{E}_A = 380 \angle 0^\circ V, \vec{E}_B = 200 \angle -120^\circ V, \vec{E}_C = 100 \angle 120^\circ V$$

Ví dụ 2.3: Biểu diễn các đại lượng điều hòa sau đây bằng vector:

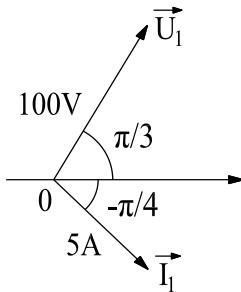
$$a) i_1(t) = 5\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right) A$$

$$b) u_1(t) = 100\sqrt{2} \sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right) V$$

Giải:

a) Từ biểu thức, ta xác định ngay giá trị hiệu dụng của dòng điện là $I_1 = 5A$ và pha ban đầu $\varphi_{i1} = -\pi/4$

⁽¹⁾ Một số tài liệu có thể chọn module của vector theo giá trị cực đại (biên độ)



Hình 2.4

Trên Hình 2.4:

- Vẽ trực nằm ngang, chiều dương (mũi tên) hướng sang phải;
- Vẽ vector \vec{I}_1 hợp với trực nằm ngang một góc bằng $-\pi/4$ và module bằng 5, với đơn vị là A. Ta có:

$$\vec{I}_1 = (5 \angle -\pi/4) A$$

- b) Tương tự, vẽ vector \vec{U}_1 hợp với trực nằm ngang một góc bằng $\pi/3$ và module bằng 100, đơn vị là V:

$$\vec{U}_1 = (100 \angle \pi/3) V$$

- Giản đồ vector biểu diễn các đại lượng \vec{I}_1 và \vec{U}_1 được thể hiện như trên Hình 2.4.

Ví dụ 2.4: Biểu diễn các đại lượng điều hòa sau đây trên cùng giản đồ vector và ghi ký hiệu mỗi đại lượng đó theo vector.

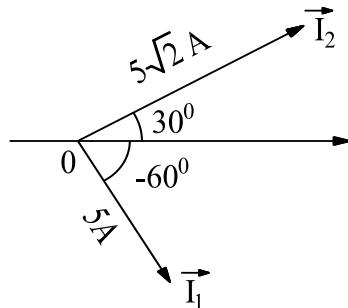
a) $i_1(t) = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t - \pi/3) A$

b) $i_2(t) = 10 \sin(100\pi t + \pi/6) A$

Giải:

- a) Ta vẽ vector \vec{I}_1 hợp với trực nằm ngang một góc bằng $-\pi/3 = -60^\circ$ và có độ lớn bằng 5, đơn vị là A, ký hiệu: $\vec{I}_1 = 5 \angle -60^\circ A$.

- b) Tương tự, vẽ vector \vec{I}_2 hợp với trực nằm ngang một góc bằng $+\pi/6 = +30^\circ$ và có độ lớn bằng $\frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2}$



Hình 2.5

- Vector \vec{I}_1 và \vec{I}_2 được biểu diễn như trên Hình 2.5.

Chú ý: Khi các đại lượng cần biểu diễn có cùng đơn vị đo thì độ dài của các vector phải tỉ lệ với giá trị hiệu dụng của chúng. Trong ví dụ trên, tỉ lệ độ dài giữa 2 vector bằng 1,414 tức là bằng tỉ lệ về độ lớn của 2 dòng điện:

$$\frac{|\vec{I}_2|}{|\vec{I}_1|} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{5\sqrt{2}}{5} = \sqrt{2} \approx 1,414$$

2.2.2. Biểu diễn dòng điện điều hòa bằng số phức

- *Khái niệm số phức:*

Số phức (*complex numbers*) là dạng số gồm 2 phần: phần thực và phần ảo. Ở dạng đại số, số phức được viết theo công thức:

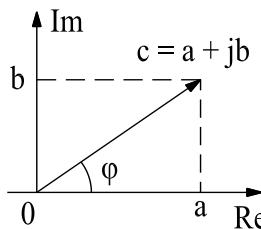
$$c = a + jb \quad (2.14)$$

trong đó a là phần thực, b là phần ảo của số phức c , j là đơn vị ảo ($j^2 = -1$)

Số phức cũng có thể biểu diễn dưới dạng *hàm mũ* như sau:

$$c = Ce^{j\varphi} \quad (2.15)$$

trong đó C gọi là độ lớn (*module*) và φ là góc (*argument*) của số phức (Hình 2.6).



Hình 2.6. Biểu diễn số phức trên hệ trục tọa độ

- *Số phức bằng nhau và số phức liên hợp:*

Hai số phức bằng nhau khi và chỉ khi chúng có phần thực bằng nhau, đồng thời phần ảo bằng nhau: Nếu $c_1 = a_1 + jb_1$, $c_2 = a_2 + jb_2$ mà $a_1 = a_2$, $b_1 = b_2$ thì $c_1 = c_2$.

Hai số phức liên hợp khi chúng có phần thực bằng nhau, phần ảo đối nhau (trái dấu):

Nếu $c_1 = a_1 + jb_1$, $c_2 = a_2 + jb_2$ mà $a_1 = a_2$, $b_1 = -b_2$ thì c_1 và c_2 là liên hợp phức của nhau (ký hiệu $c_1 = \hat{c}_2$ hoặc $\hat{c}_1 = c_2$).

Cách diễn đạt khác: *Hai số phức bằng nhau là 2 số phức có độ lớn và góc đồng thời bằng nhau; Hai số phức liên hợp là 2 số phức có độ lớn bằng nhau và góc đối nhau.*

- *Quan hệ giữa a, b với C, φ:*

$$a = C \cos \varphi \quad (2.16)$$

$$b = C \sin \varphi \quad (2.17)$$

và ngược lại:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.18)$$

$$\varphi = \arctan(b/a) \quad (2.19)$$

- *Một phép toán với số phức:*

+ Phép cộng, trừ số phức: Muốn cộng (hay trừ) các số phức, ta nên chuyển các số phức đó về dạng đại số rồi cộng riêng phần thực với phần thực, phần ảo với phần ảo, sau đó ghép lại thành kết quả:

$$\begin{aligned} & (a_1 + jb_1) + (a_2 - jb_2) - (a_3 - jb_3) + (a_4 + jb_4) \\ &= (a_1 + a_2 - a_3 + a_4) + j(b_1 - b_2 + b_3 + b_4) \end{aligned}$$

+ Phép nhân, chia số phức: Muốn nhân, chia số phức ta nên chuyển

đổi chúng về dạng mũ, rồi thực hiện theo quy tắc: Lấy độ lớn nhân với nhau (hoặc chia cho nhau), còn góc thì cộng với nhau (hay trừ cho nhau): $M = Ae^{j\alpha} \cdot Be^{\pm j\beta} = ABe^{j(\alpha \pm \beta)}$

Ví dụ 2.5: Cho $\dot{x}_1 = 3 + j4$; $\dot{x}_2 = 8 - j6$. Hãy:

- a) Viết biểu thức liên hợp phức của \dot{x}_1 và \dot{x}_2
- b) Tính biểu thức $\dot{x}_3 = \dot{x}_1 + \dot{x}_2$ và biểu diễn kết quả về dạng vector.
- c) Tính biểu thức $\dot{x}_4 = \dot{x}_1 \cdot \dot{x}_2$
- d) Tính biểu thức $\dot{x}_5 = \dot{x}_1 / \dot{x}_2$

Giải:

- a) Liên hợp phức của \dot{x}_1 và \dot{x}_2 lần lượt là $\hat{x}_1 = 3 - j4$ và $\hat{x}_2 = 8 + j6$;
- b) $\dot{x}_3 = \dot{x}_1 + \dot{x}_2 = 3 + j4 + 8 - j6 = (3 + 8) + j(4 - 6)$
 $= 11 - j2 = 11,2 \angle -10^\circ$;
- c) $\dot{x}_4 = \dot{x}_1 \cdot \dot{x}_2 = (3 + j4)(8 - j6) = (5 \angle 53^\circ)(10 \angle -37^\circ) = 50 \angle 16^\circ$
 $\approx 48 + j14$;
- d) $\dot{x}_5 = \dot{x}_1 / \dot{x}_2 = \frac{5 \angle 53^\circ}{10 \angle -37^\circ} = 0,5 \angle 90^\circ = j0,5$.

- *Biểu diễn dòng điện điều hòa bằng số pharc:*

Từ dạng phụ thuộc thời gian (hàm sin) hay dạng vector, ta có thể chuyển đổi sang dạng phức mũ (với cơ số e), trong đó module bằng giá trị hiệu dụng, còn số mũ bằng j (đơn vị ảo) nhân với góc pha ban đầu. Chẳng hạn:

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) A \leftrightarrow I = 10e^{j\frac{\pi}{3}} A$$

$$e_A(t) = 220\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right) V \leftrightarrow E_A = 220e^{-j\frac{\pi}{4}} V$$

Ví dụ 2.6:

- a) Dòng điện $i_1(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/6) A$ tương ứng với biểu thức dạng phức là $\dot{I}_1 = 10^{j30^\circ} A$;
- b) Dòng điện $i_2(t) = 20\sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/3) A$ tương ứng với biểu thức dạng phức là $\dot{I}_2 = 20^{-j60^\circ} A$.

Ví dụ 2.7:

a) Điện áp phức $\dot{U}_A = 220^{j30^\circ}$ V có biểu thức phụ thuộc thời gian là:

$$u_A(t) = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/6) V$$

b) Điện áp phức $\dot{U}_B = 120^{-j120^\circ}$ V có biểu thức phụ thuộc thời gian là:

$$u_B(t) = 120\sqrt{2} \sin(\omega t - 2\pi/3) V$$

Việc biểu diễn các величин điện bằng các số phức sẽ giúp cho việc tính toán các mạch điện phức tạp trở nên đơn giản hơn. Tuy vậy, tùy thuộc vào phép toán cụ thể cần tính mà chọn dạng số phức phù hợp. Chẳng hạn khi cần cộng hay trừ các величин điện thì ta nên chuyển chúng sang dạng phức đại số, còn khi cần nhân hay chia thì nên chuyển về dạng phức mũ. Sau đây trình bày về việc biến đổi đó.

2.2.3. Biến đổi từ dạng vector sang dạng phức và ngược lại

Từ dạng vector của dòng điện điều hòa, ta có thể dễ dàng biến đổi về số phức dạng (2.14) hoặc (2.15) và ngược lại.

Thật vậy, từ biểu diễn dạng vectơ $\vec{I} = I\angle\varphi$ (I là module và φ là pha ban đầu) ta đưa về số phức dạng mũ $\dot{I} = I^{j\varphi}$ hoặc dạng đại số $\dot{I} = I_x + jI_y$ với

$$I_x = I \cos \varphi \quad (2.20)$$

là phần thực và

$$I_y = I \sin \varphi \quad (2.21)$$

là phần ảo của số phức. Ngược lại, từ số phức dạng $\dot{I} = I_x + jI_y$ ta dễ dàng đưa về dạng mũ $\dot{I} = I^{j\varphi}$ với

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (2.22)$$

là độ lớn (module) và $\varphi = \arctan\left(\frac{I_y}{I_x}\right)$ (2.23)

là góc pha (argument) của vector $\vec{I} = I\angle\varphi$

Ví dụ 2.8: Biểu diễn dòng điện xoay chiều ở Ví dụ 2.3 về số phức dạng mũ và số phức dạng đại số.

Giải:

Từ Ví dụ 2.3 ta biết dòng điện xoay chiều đã cho ứng với vector có độ lớn bằng 5A và góc pha bằng $-\frac{\pi}{4}$ ứng với số phức có module bằng 5 và argument $-\frac{\pi}{4}$.

Do đó dạng mũ của số phức biểu diễn dòng điện này là $\dot{I}_1 = 5^{-j\frac{\pi}{4}} (\text{A})$.

Để chuyển sang biểu diễn thành số phức dạng đại số, ta tìm phần thực và phần ảo theo công thức (2.20) và (2.21), cụ thể là:

$$I_{1x} = \operatorname{Re}(\dot{I}_1) = 5 \cdot \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) = \frac{5\sqrt{2}}{2}$$

$$I_{1y} = \operatorname{Im}(\dot{I}_1) = 5 \cdot \sin\left(-\frac{\pi}{4}\right) = -\frac{5\sqrt{2}}{2}$$

Vậy biểu diễn phức của dòng điện đã cho có dạng phức mũ $\dot{I}_1 = 5^{-j\pi/4} \text{A}$ hoặc số phức đại số

$$\dot{I}_1 = \frac{5\sqrt{2}}{2} - j\frac{5\sqrt{2}}{2} (\text{A}).$$

Tương tự, điện áp $u_1(t) = 100\sqrt{2} \sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{V}$ được biến đổi

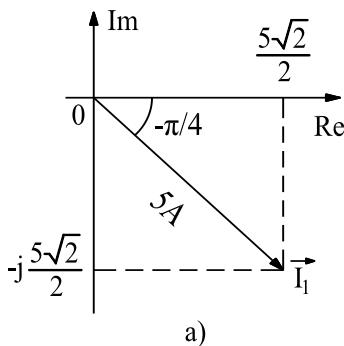
về số phức mũ

$$\dot{U}_1 = 100^{j\frac{\pi}{3}} (\text{V})$$

hay số phức dạng đại số

$$\dot{U}_1 = 100 \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) + j \cdot 100 \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = 50 + j50\sqrt{3} (\text{V})$$

Kết quả được biểu diễn trên Hình 2.7.



Hình 2.7

Việc thực hiện các phép toán cộng, trừ, nhân, chia với số phức sẽ rất đơn giản với các máy tính điện tử thông dụng (Casio fx-500MS, Casio fx-570ES, Casio fx-570VN Plus,...). Ngoài ra, các máy tính điện tử này còn cho phép chuyển đổi một số phức từ dạng này sang dạng khác một cách nhanh chóng. Đó là lý do người ta thường dùng số phức để biểu diễn dòng điện điều hòa.

2.3. Dòng điện điều hòa qua các phần tử R, L, C

Khi đi qua các phần tử như R, L, C, dòng điện điều hòa sẽ tạo ra một số hiệu ứng làm cho điện áp bị thay đổi và tạo ra sự lệch pha so với dòng điện. Độ lệch pha tùy thuộc vào tính chất của tải. Ta hãy tìm mối liên hệ về trị số hiệu dụng và pha giữa điện áp với dòng điện trong từng trường hợp lí tưởng trước khi áp dụng cho các mạch điện tổng quát trong thực tế.

2.3.1. Dòng điện điều hòa qua nhánh thuận điện trở

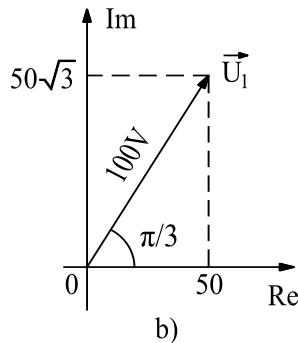
Bài toán: Giả sử dòng điều hòa chạy qua nhánh thuận trở R có biểu thức:

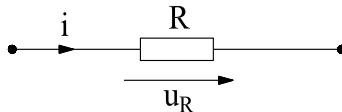
$$i(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t \quad (2.24)$$

Xác định biểu thức điện áp giữa hai đầu nhánh thuận trở R.

Giải:

Sơ đồ nhánh thuận trở bô trí như Hình 2.8. Ta cần xác định giá trị hiệu dụng và pha ban đầu của điện áp $u_R(t)$ ở hai đầu điện trở thuận R





Hình 2.8. Nhánh thuần điện trở

Theo định luật Ohm đối với đoạn mạch, điện áp tức thời ở hai đầu R có dạng:

$$u_R(t) = i \cdot R = IR\sqrt{2}\sin\omega t \quad (2.25)$$

Mặt khác, biểu thức dạng tổng quát của điện áp điều hòa hai đầu R là:

$$u_R(t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_{uR}) \quad (2.26)$$

So sánh (2.25) với (2.26), ta có:

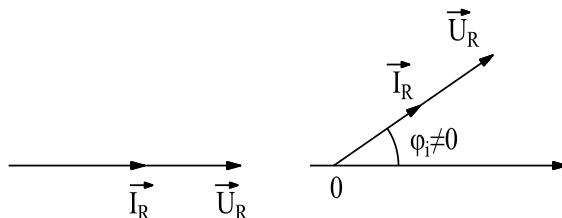
$$U = IR \quad (2.27)$$

và

$$\varphi_{uR} = 0 \quad (2.28)$$

Trong trường hợp pha ban đầu của dòng điện khác không ta vẫn luôn có $\varphi_{uR} = \varphi_i$, nghĩa là điện áp giữa 2 đầu điện trở luôn cùng pha với dòng điện chạy qua nó.

Mối quan hệ giữa điện áp với dòng điện có thể viết dưới dạng $\dot{U} = \dot{I}(R\angle 0^\circ)$ và được mô tả trên Hình 2.9.



a) Khi $\varphi_i = 0$

b) Khi $\varphi_i \neq 0$

Hình 2.9. Biểu diễn quan hệ U, I trên phần tử R bằng vector

Ví dụ 2.9: Viết biểu thức điện áp hai đầu điện trở ở Hình 2.8, biết giá trị điện trở $R = 20\Omega$, trị số hiệu dụng và pha đầu của dòng điện lần lượt là $I = 5A$ và $\varphi = 75^\circ$

Giải: Áp dụng công thức định luật Ohm $\dot{U}_R = \dot{I} \cdot R$ với $I = 5e^{j75^\circ} A$ và $R = 20\Omega$ ta có ngay biểu thức điện áp hai đầu điện trở thuần:

$$\dot{U}_R = 5e^{j75^\circ} \cdot 20 = 100e^{j75^\circ} \text{ (V)}$$

hay viết dưới dạng phụ thuộc thời gian

$$u_R(t) = 100\sqrt{2}\sin(\omega t + 5\pi/12) \text{ V}$$

2.3.2. Dòng điện điều hòa qua nhánh thuận điện cảm

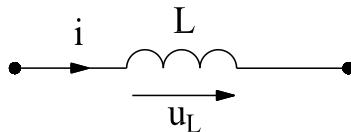
Bài toán: Cho dòng điện chạy qua cuộn dây thuận cảm với độ tự cảm L có biểu thức:

$$i_L(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t \quad (2.29)$$

Xác định biểu thức điện áp $u_L(t)$ giữa hai đầu cuộn dây thuận cảm đó.

Giải:

Sơ đồ nhánh thuận cảm được bố trí như Hình 2.10. Ta cần xác định giá trị hiệu dụng và pha ban đầu của điện áp $u_L(t)$ ở hai đầu cuộn dây thuận cảm L .



Hình 2.10. Nhánh thuận điện cảm

Khi có dòng điện biến thiên $i_L(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t$ chạy qua cuộn dây, hai đầu cuộn dây sẽ xuất hiện suất điện động cảm ứng:

$$e_L(t) = -L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.30)$$

Suất điện động này đóng vai trò như một nguồn điện mới đối với mạch điện. Áp dụng định luật Ohm đối với đoạn mạch có nguồn, hai đầu cuộn dây sẽ xuất hiện điện áp có biểu thức:

$$u_L(t) = -e_L = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.31)$$

Thay biểu thức $i_L(t)$ ở (2.29) vào (2.31), ta có:

$$\begin{aligned} u_L(t) &= L \cdot \frac{d}{dt} (I\sqrt{2} \sin \omega t) = I\sqrt{2} \cdot (\omega L) \cos \omega t \\ &= I\sqrt{2} \cdot (\omega L) \sin \left(\omega + \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Biểu thức tổng quát của điện áp hai đầu cuộn dây có dạng:

$$u_L(t) = U_L \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_{uL}) \quad (2.33)$$

So sánh biểu thức (2.32) với (2.33), ta có:

$$U_L = I \cdot (\omega L) = I \cdot X_L \quad (2.34)$$

với

$$X_L = \omega L \quad (2.35)$$

là cảm kháng của cuộn dây và

$$\varphi_{uL} = \frac{\pi}{2} \quad (2.36)$$

là độ lệch pha của điện áp so với dòng điện.

Vì $\Delta\varphi = \varphi_{uL} - \varphi_i = \frac{\pi}{2} > 0$, ta nói rằng điện áp trên cuộn cảm sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với dòng điện chạy qua nó.

Định nghĩa đại lượng cảm kháng phức

$$\dot{X}_L = (\omega L) \cdot e^{j\frac{\pi}{2}} = j(\omega L) = \omega L \angle \frac{\pi}{2} \quad (2.37)$$

ta có thể viết lại quan hệ giữa điện áp với dòng điện trên phần tử cuộn cảm gọn hơn như sau:

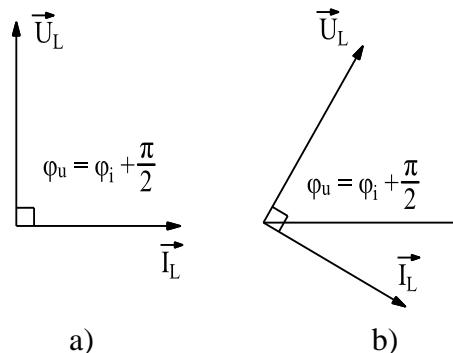
$$\dot{U}_L = \dot{I}(j\omega L) = \dot{I} \cdot j \dot{X}_L = \dot{I} \dot{X}_L$$

hoặc, trong trường hợp tổng quát, pha ban đầu của dòng điện khác không:

$$\dot{U}_L = (I \angle \varphi_i) \left(X_L \angle \frac{\pi}{2} \right) = I \cdot X_L \angle \left(\varphi_i + \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.38)$$

Nghĩa là điện áp hai đầu cuộn cảm luôn sớm pha hơn cường độ dòng điện một góc $\frac{\pi}{2}$.

Mỗi quan hệ này được biểu diễn trên Hình 2.11, trong đó, hình a) khi pha ban đầu của dòng điện bằng 0, còn hình b) khi pha ban đầu của dòng điện khác không (trường hợp tổng quát).



Hình 2.11. Quan hệ giữa điện áp và dòng điện trên phần tử cuộn cảm

Ví dụ 2.10: Cho dòng điện tần số 50Hz, giá trị hiệu dụng 15A chạy qua cuộn dây thuần cảm có độ tự cảm $L = 32\text{mH}$. Chọn pha ban đầu của dòng điện bằng 0. Viết biểu thức dòng điện, điện áp tức thời và vẽ giản đồ vector của dòng điện-điện áp.

Giải:

Cảm kháng của cuộn dây là:

$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L \approx 314.32 \cdot 10^{-3} \approx 10(\Omega)$$

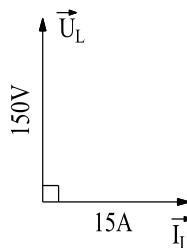
Biểu diễn phức của dòng điện là

$$\dot{I}_L = 15\angle 0^\circ \text{ A}$$

Vậy, biểu thức của điện áp là

$$\dot{U}_L = I \cdot X_L \angle (\phi_i + 90^\circ) = 150\angle 90^\circ (\text{V})$$

Gắn đòn vector \dot{I}_L, \dot{U}_L được vẽ trên Hình 2.12.



Hình 2.12

Ghi chú: Biểu thức của dòng điện cũng có thể viết là

$$\dot{I}_L = 15e^{j0^\circ} A$$

Vậy, biểu thức của điện áp là

$$\dot{U}_L = \dot{I} \cdot jX_L = 15 \cdot 10e^{+j90^\circ} = 150e^{+j90^\circ} (V)$$

Hoặc, biểu diễn dòng điện bằng hàm phụ thuộc thời gian:

Chọn pha ban đầu của dòng điện bằng 0, biểu thức cường độ dòng điện có dạng:

$$i_L(t) = 15\sqrt{2}\sin(100\pi t)$$

Biểu thức điện áp tức thời hai đầu cuộn dây là:

$$u_L(t) = 150\sqrt{2}\sin(100\pi t + \pi/2) V$$

Ví dụ 2.11: Đặt vào 2 đầu cuộn dây thuần cảm một điện áp điều hòa có trị số hiệu dụng là 20V. Biết biểu thức dòng điện là

$$i_L(t) = 10\sqrt{2}\sin(100\pi t + \pi/6) A$$

Bỏ qua điện trở của dây nối. Hãy viết biểu thức điện áp và xác định hệ số tự cảm của cuộn dây.

Giải:

Biểu thức điện áp hai đầu cuộn dây có dạng:

$$u_L(t) = 20\sqrt{2}\sin(100\pi t + \pi/6 + \pi/2) = 20\sqrt{2}\sin(100\pi t + 2\pi/3) V$$

Cảm kháng của cuộn dây là

$$Z_L = \frac{U_L}{I_L} = \frac{20}{10} = 2 \Omega .$$

Từ biểu thức $Z_L = \omega L$ suy ra:

$$L = \frac{Z_L}{\omega} = \frac{2}{100\pi} = 0,00637 H = 6,37 mH$$

Ghi chú: Có thể yêu cầu sinh viên trình bày ví dụ 2.11 theo cách biểu diễn phức.

Ví dụ 2.12: Biểu thức điện áp hai đầu cuộn dây có độ tự cảm $L = 63,7 mH$ là:

$$u_L(t) = 150\sqrt{2}\sin(100\pi t)$$

Hãy tính cảm kháng của cuộn dây và xác định biểu thức dòng điện chạy qua nó.

Giải:

Cảm kháng của cuộn dây được tính theo công thức:

$$X_L = \omega L \approx 314.63 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \approx 20\Omega$$

Giá trị hiệu dụng và pha ban đầu của cường độ dòng điện là

$$I_L = \frac{U_L}{X_L} = \frac{150}{20} = 7,5(A)$$

$$\varphi_i = \varphi_u - \pi/2 = -\pi/2$$

Vậy biểu thức dòng điện phụ thuộc thời gian là

$$i_L(t) = 7,5\sqrt{2}\sin(100\pi t - \pi/2)A$$

Ghi chú: Có thể viết biểu thức dòng điện dưới dạng phức:

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_L}{jX_L} = \frac{150}{j20} = -j7,5(A)$$

Hoặc dưới dạng

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_L}{jX_L} = \frac{150\angle 0^0}{20\angle 90^0} = 7,5\angle -90^0(A)$$

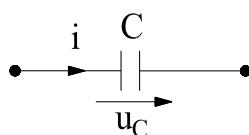
2.3.3. Dòng điện điều hòa qua nhánh thuận điện dung

Bài toán: Hãy xác định điện áp $u_C(t)$ giữa hai đầu tụ điện có điện dung C (thuần dung) biết dòng điện chạy qua tụ điện có biểu thức:

$$i_C(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t \quad (2.39)$$

Giải:

Sơ đồ nhánh thuận dung (chỉ có tụ điện) được bố trí như Hình 2.13. Ta cần xác định trị số hiệu dụng và pha ban đầu của điện áp $u_C(t)$ giữa hai bán tụ C .



Hình 2.13. Sơ đồ nhánh thuận điện dung

Khi có dòng điện điều hòa $i_C(t) = I\sqrt{2} \sin \omega t$ chạy qua tụ điện, các bản cực của tụ sẽ tích điện trái dấu và giữa chúng xuất hiện điện áp:

$$u_C(t) = \frac{q_C(t)}{C} \quad (2.40)$$

trong đó $q_C(t)$ là điện tích trên các bản tụ, được xác định theo biểu thức:

$$q_C(t) = \int_0^t i_C(t) dt = \int_0^t I\sqrt{2} \sin \omega t dt \quad (2.41)$$

Thay biểu thức của $q_C(t)$ ở (2.41) vào (2.40), ta có:

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I\sqrt{2} \sin \omega t dt = \frac{I\sqrt{2}}{\omega C} (-\cos \omega t) = \frac{I\sqrt{2}}{\omega C} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.42)$$

Biểu thức tổng quát của điện áp tức thời giữa hai bản cực của tụ điện là:

$$u_C(t) = U_C \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_C) \quad (2.43)$$

So sánh biểu thức (2.42) với (2.43), ta có:

$$U_C = \frac{I}{\omega C} = IX_C \quad (2.44)$$

với $X_C = \frac{1}{\omega C}$ (2.45)

gọi là dung kháng của tụ, và

$$\varphi_C = -\frac{\pi}{2} \quad (2.46)$$

là góc lệch pha giữa điện áp trên tụ và dòng điện chạy qua nó.

Sử dụng khái niệm dung kháng phức

$$\dot{X}_C = \frac{1}{j\omega C} = -jX_C \quad (2.47)$$

Ta có thể viết lại quan hệ giữa điện áp và dòng điện qua tụ là

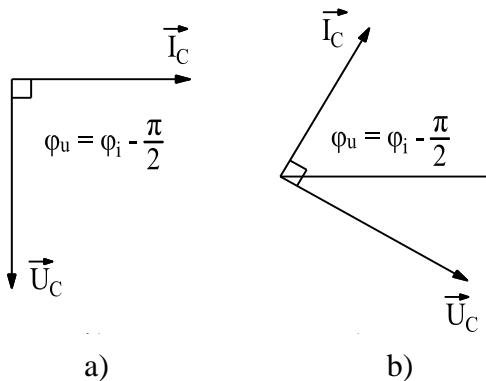
$$\dot{U}_C = I\dot{X}_C = \frac{I}{j\omega C} = -j(IX_C) = IX_C \angle -\frac{\pi}{2} \quad (2.48)$$

Hoặc, trong trường hợp tổng quát:

$$\dot{U}_C = (I \angle \varphi_i) \left(X_C \angle -\frac{\pi}{2} \right) = IX \angle \left(\varphi_i - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.49)$$

Nghĩa là *điện áp trên tụ luôn chậm pha $\frac{\pi}{2}$ so với cường độ dòng điện chạy qua nó.*

Đồ thị điện áp và dòng điện được mô tả trên Hình 2.14, trong đó hình a) tương ứng với khi pha ban đầu của dòng điện bằng 0, hình b) tương ứng với khi pha ban đầu của dòng điện khác không ($\varphi_i > 0$).



Hình 2.14. Biểu diễn điện áp, dòng điện qua tụ

Ví dụ 2.13: Tụ điện được tích điện đến điện áp 120V bằng dòng điện điều hòa có cường độ hiệu dụng 2,4A và tần số 50Hz. Bỏ qua điện trở các dây nối, chọn pha ban đầu dòng điện bằng 0.

- a) Tính điện dung của tụ điện.
- b) Viết biểu thức phụ thuộc thời gian của điện áp, của dòng điện
- c) Vẽ giản đồ vector và điện áp trên cùng giản đồ vector

Giải:

a) Từ công thức: $X_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{1}{\omega C}$

Suy ra

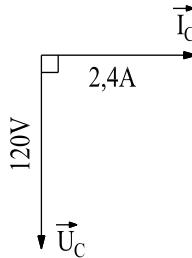
$$C = \frac{I_C}{\omega U_C} = \frac{2,4}{100\pi \cdot 120} \approx 6,37 \cdot 10^{-5} (\text{F}) = 63,7 \mu\text{F}$$

- b) Biểu thức phụ thuộc thời gian của dòng điện và điện áp là:

$$i(t) = 2,4\sqrt{2} \sin(100\pi t) A$$

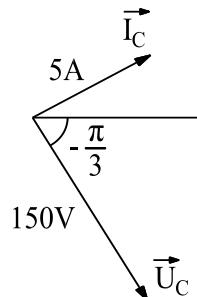
$$u(t) = 120\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{2}\right) V$$

c) Giải đồ vector được biểu diễn trên Hình 2.15



Hình 2.15

Ví dụ 2.14: Giải đồ vector biểu diễn điện áp và dòng điện qua tụ được vẽ như Hình 2.16. Từ hình vẽ, hãy xác định các biểu thức phụ thuộc thời gian của chúng và điện dung của tụ điện, biết tần số dòng điện là 50 Hz.



Hình 2.16

Giải:

Từ hình vẽ ta thấy dòng điện hiệu dụng là $I_c = 5A$, điện áp hiệu dụng là $U_c = 150V$ và pha ban đầu của điện áp là $\varphi_c = -\frac{\pi}{3}$

Vậy biểu thức phụ thuộc thời gian của điện áp là:

$$u_c(t) = U_c \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_c) = 150\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right)$$

Pha ban đầu của dòng điện là

$$\varphi_i = \varphi_u + \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{6}$$

Biểu thức phụ thuộc thời gian của dòng điện là:

$$i_C(t) = 5\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) A$$

Điện dung của tụ điện được xác định từ biểu thức:

$$\frac{1}{\omega C} = X_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{150V}{5A} = 30\Omega$$

Suy ra: $C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{314.30} \approx 106.10^{-6} (F) = 106\mu F$

2.3.4. Dòng điện điều hòa qua đoạn mạch chứa R, L, C mắc nối tiếp

Bài toán: Dòng điện điều hòa chạy qua đoạn mạch có chứa các phần tử R, L, C mắc nối tiếp có dạng:

$$i(t) = I\sqrt{2} \sin\omega t \quad (2.50)$$

Xác định biểu thức điện áp hai đầu mỗi phần tử và hai đầu đoạn mạch. Vẽ giản đồ vector biểu diễn các điện áp và dòng điện trong đoạn mạch này.

Giải:

Đoạn mạch có sơ đồ như ở Hình 2.17a). Ta cần xác định điện áp và dòng điện qua mỗi phần tử và qua đoạn mạch.

Trong đoạn mạch nối tiếp, dòng điện qua các phần tử R, L, C là như nhau và bằng dòng điện trong mạch:

$$\dot{I} = \dot{I}_R = \dot{I}_L = \dot{I}_C \quad (2.51)$$

Điện áp tổng bằng tổng các điện áp trên từng phần tử:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C \quad (2.52)$$

với điện áp trên mỗi phần tử liên hệ với dòng điện qua chúng theo định luật Ohm

$$\dot{U}_R = \dot{I}R;$$

$$\dot{U}_L = \dot{I}(jX_L);$$

$$\dot{U}_C = \dot{I}(-jX_C);$$

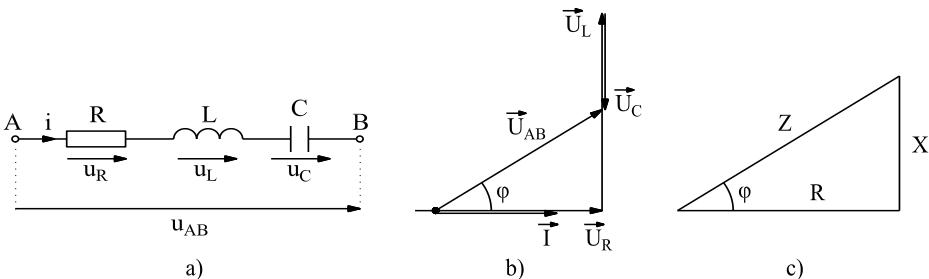
Thay các biểu thức trên vào (2.52), ta có

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I}(R + jX_L - jX_C) = \dot{I}\dot{Z}_{AB} \quad (2.53)$$

với

$$\dot{Z}_{AB} = R + j(X_L - X_C) \quad (2.54)$$

gọi là tổng trở phức của mạch, trong đó $X_L - X_C = X$ gọi là điện kháng.



Hình 2.17. a) Đoạn mạch R, L, C mắc nối tiếp; b) Giản đồ vector và c) Tam giác tổng trở

Quan hệ giữa các điện áp và dòng điện được mô tả trên Hình 2.17b.

Từ biểu thức (2.54) ta thấy trở kháng R và điện kháng $X = X_L - X_C$ tương ứng là phần thực và phần ảo của số phức \dot{Z}_{AB} , cùng với \dot{Z}_{AB} tạo thành 3 cạnh của một tam giác vuông. Ta gọi đó là *tam giác tổng trở*. Từ tam giác tổng trở (Hình 2.17c), ta dễ dàng tính được:

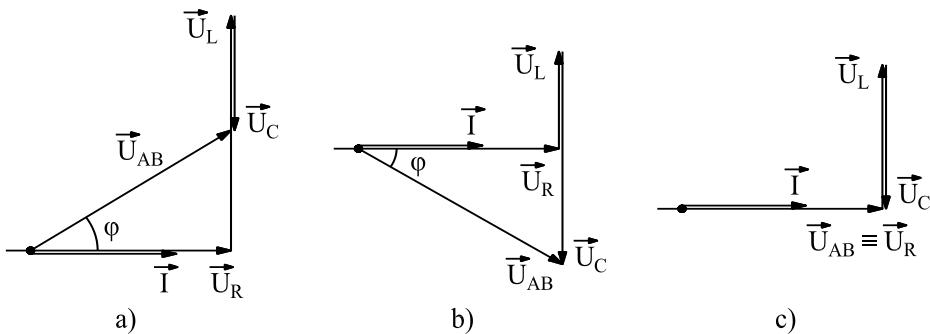
- Độ lớn (module) của tổng trở bằng:

$$Z_{AB} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.55)$$

- Góc lệch pha giữa điện áp toàn mạch và dòng điện ($\varphi = \varphi_u - \varphi_i$) bằng:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X}{R}\right) = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) \quad (2.56)$$

Kết quả này được thể hiện trên Hình 2.18, trong đó hình a) ứng với khi $X_L > X_C, \varphi > 0$, hình b) ứng với $X_L < X_C, \varphi < 0$ còn hình c) ứng với trường hợp $X_L = X_C, \varphi = 0$.



Hình 2.18. Biểu diễn điện áp và dòng điện trên đoạn mạch chứa R, L, C
mắc nối tiếp a) Khi $X_L > X_C$; b) Khi $X_L < X_C$, và c) Khi $X_L = X_C$

- *Hiện tượng cộng hưởng điện:*

Đối với mạch điện gồm R, L, C nối tiếp, tồn tại các giá trị cảm kháng và dung kháng sao cho chúng bù trừ lẫn nhau, nghĩa là $X_L = X_C$ (xem Hình 2.18c). Khi đó, tổng trở của toàn mạch sẽ có giá trị cực tiểu

$$Z_{\min} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

Nếu điện áp hai đầu đoạn mạch không đổi thì khi đó dòng điện trong mạch sẽ đạt cực đại. Trạng thái này được gọi là cộng hưởng điện với dòng điện cực đại bằng

$$I = I_{\max} = \frac{U}{Z_{\min}} = \frac{U}{R}$$

Để xảy ra $X_L = X_C$ ta phải có:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (2.57)$$

hay

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \quad (2.58)$$

Hiện tượng cộng hưởng điện có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật. Đặc biệt là đối với mạch dao động điện tử.

Ví dụ 2.15: Mạch điện gồm bóng đèn điện trở $R = 100\Omega$ nối tiếp với cuộn dây có độ tự cảm $L = 159\text{mH}$ (thuần cảm) và tụ điện có điện dung $C = 31,8\mu\text{F}$ như trên Hình 2.17a. Đặt vào 2 đầu đoạn mạch này một điện áp biến thiên:

$$u_{AB}(t) = 200\sqrt{2} \sin(100\pi t) \text{V}$$

- a) Xác định các thông số của mạch điện.
- b) Xác định biểu thức dòng điện qua mạch và điện áp trên các phần tử R, L, C.

Giải:

a) Các thông số của mạch, ngoài điện trở đã xác định $R = 100\Omega$, còn có:

- Cảm kháng của cuộn dây bằng:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 100\pi \cdot 159 \cdot 10^{-3} \approx 50\Omega$$

- Dung kháng của tụ điện bằng:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{100\pi \cdot 31,8 \cdot 10^{-6}} \approx 100\Omega$$

- Tổng trở phức của đoạn mạch bằng:

$$\dot{Z} = R + j(X_L - X_C) = 100 + j(50 - 100) = 111,8 \angle -26,6^\circ (\Omega)$$

b) Biểu thức dạng phức của điện áp 2 đầu đoạn mạch là:

$$\dot{U} = 200e^{j0} = 200 \angle 0^\circ \text{V}$$

Vậy, dòng điện qua đoạn mạch là:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z \angle \varphi} = \frac{200 \angle 0^\circ}{111,8 \angle -26,6} = 1,78 \angle 26,6^\circ (\text{A})$$

Điện áp trên các phần tử R, L, C có biểu thức lần lượt là:

$$\dot{U}_R = \dot{I} \cdot R = (1,78 \angle 26,6^\circ) \cdot 100 = 178 \angle 26,6^\circ \text{V}$$

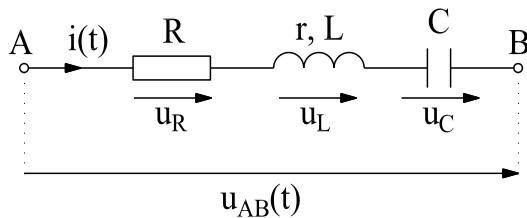
$$\dot{U}_L = j\dot{I}X_L = (1,78 \angle 26,6^\circ)(50 \angle 90^\circ) = 89 \angle 116,6^\circ \text{V}$$

$$\dot{U}_C = -j\dot{I}X_C = (1,78 \angle 26,6^\circ)(100 \angle -90^\circ) = 178 \angle -63,4^\circ \text{V}$$

Lưu ý: Kết quả sẽ tường minh hơn nếu ta biểu diễn các đại lượng trên lên cùng giản đồ vector.

Ví dụ 2.16: Mạch điện gồm điện trở $R = 20\Omega$ mắc nối tiếp với cuộn dây có điện trở $r = 5\Omega$, độ tự cảm $L = 31,8\text{mH}$ và tụ điện có điện dung $C = 159\mu\text{F}$ như Hình 2.19. Đặt vào 2 đầu đoạn mạch này một điện áp $u_{AB}(t) = 200\sqrt{2} \sin(100\pi t)\text{V}$.

- Xác định tổng trở của cuộn dây và của toàn mạch.
- Xác định biểu thức dòng điện qua mạch và điện áp trên từng phần tử R, L, C
- Vẽ giản đồ vector biểu diễn dòng điện và điện áp hai đầu mỗi phần tử.



Hình 2.19

Giải:

a) Cuộn dây được xem như gồm điện trở thuần $r = 5\Omega$ nối tiếp với cuộn cảm có cảm kháng X_L là:

$$X_L = \omega L = 100\pi \cdot 31,8 \cdot 10^{-3} = 10(\Omega)$$

Vậy tổng trở của cuộn dây là:

$$\dot{Z}_L = r + jX_L = (5 + j10) = (11,2 \angle 63^\circ) \Omega$$

Tụ điện có dung kháng $-jX_C$ với:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{100\pi \cdot 159 \cdot 10^{-6}} \approx 20\Omega$$

Tổng trở của toàn mạch là:

$$\dot{Z} = (R + r) + j(X_L - X_C) = (25 - j10) \approx (27 \angle -22^\circ) \Omega$$

b) Biểu thức cường độ dòng điện qua mạch là

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}} = \frac{200\angle 0^\circ}{27\angle -22^\circ} = 7,4\angle 22^\circ (\text{A})$$

- Biểu thức điện áp trên điện trở thuần R là

$$\dot{U}_R = \dot{I} \cdot R = (7,4\angle 22^\circ) \cdot 20 = 148\angle 22^\circ (\text{V})$$

- Biểu thức điện áp trên cuộn dây là

$$\dot{U}_{rL} = \dot{I} \cdot (r + jX_L) \approx (7,4\angle 22^\circ)(11,2\angle 63^\circ) = 83\angle 85^\circ \text{V}$$

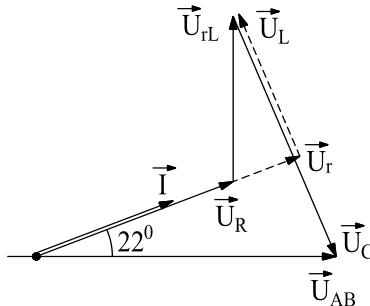
- Biểu thức điện áp trên tụ điện là

$$\dot{U}_C = \dot{I} \cdot (-jX_C) = (7,4\angle 22^\circ)(20\angle -90^\circ) = 148\angle -68^\circ (\text{V})$$

c) Giản đồ vector của dòng điện, điện áp được biểu diễn trên Hình 2.20 với:

$$\dot{I} = 7,4\angle 22^\circ \text{ A};$$

$$\dot{U}_R = 148\angle 22^\circ \text{ V}; \quad \dot{U}_{rL} = \dot{U}_r + \dot{U}_L = 83\angle 85^\circ \text{ V}; \quad \dot{U}_C = 148\angle -68^\circ \text{ V}.$$



Hình 2.20. Giản đồ vector của ví dụ 2.16

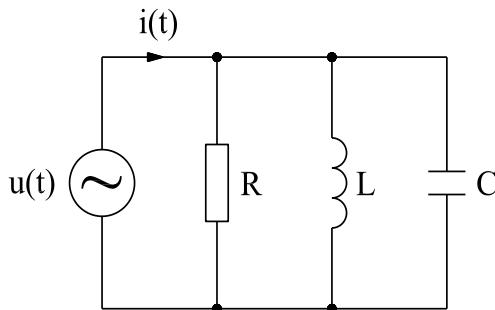
2.3.5. Dòng điện điều hòa qua đoạn mạch có R, L, C mắc song song

Bài toán:

Xét mạch điện gồm các phần tử R, L, C mắc song song như Hình 2.21. Biết rằng điện áp đặt vào đoạn mạch có biểu thức:

$$u(t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t)$$

Hãy viết biểu thức dòng điện qua R, L, C và dòng điện qua mạch chính i(t).



Hình 2.21. Sơ đồ đoạn mạch R, L, C mắc song song

Giải:

Đối với đoạn mạch mắc song song, điện áp hai đầu các phần tử là như nhau, trong khi tổng các dòng điện tức thời qua các nhánh bằng dòng điện tức thời qua mạch chính:

$$\dot{U} = \dot{U}_R = \dot{U}_L = \dot{U}_C \quad (2.59)$$

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C \quad (2.60)$$

Áp dụng định luật Ohm lần lượt cho các nhánh chứa R, L, C ta có:

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_R}{R} = \frac{\dot{U}}{R}; \quad \dot{I}_L = \frac{\dot{U}_L}{jX_L} = \frac{\dot{U}}{jX_L}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{-jX_C} = \frac{\dot{U}}{-jX_C}$$

Cộng theo vế các biểu thức trên đây, ta được:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \dot{U} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} - \frac{1}{jX_C} \right) = \dot{U} \cdot \dot{Y} \quad (2.61)$$

Ta định nghĩa đại lượng

$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = \frac{1}{\dot{Z}} = G + jB(S) \quad (2.62)$$

là tổng dẫn phức của mạch, bằng nghịch đảo của tổng trở phức của mạch điện.

Mạch điện song song gặp rất nhiều trong thực tế. Mạch điện gia đình thông thường chính là mạch song song, nhằm đảm bảo cho các thiết bị làm việc dưới cùng điện áp định mức (hiệu dụng) của thiết bị đó, thường bằng điện áp lưới.

Ví dụ 2.17: Đặt điện áp $u(t) = 200\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V vào hai đầu đoạn mạch ở Hình 2.21. Cho biết $R = 10\Omega$, $L = 63,7\text{mH}$, $C = 320\mu\text{F}$. Xác định dòng điện qua mạch chính và vẽ giản đồ vector dòng điện - điện áp của mạch.

Giải:

Tổng trở các nhánh chứa R , L , C lần lượt là:

$$\dot{Z}_1 = R = 10\Omega,$$

$$\dot{Z}_2 = jX_L = j314.63,7 \cdot 10^{-3} \approx j20 = 20\angle 90^\circ \Omega,$$

$$\dot{Z}_3 = -jX_C = -j\frac{1}{314.320 \cdot 10^{-6}} = -j10 = 10\angle -90^\circ \Omega$$

Dòng điện chạy qua các nhánh lần lượt là:

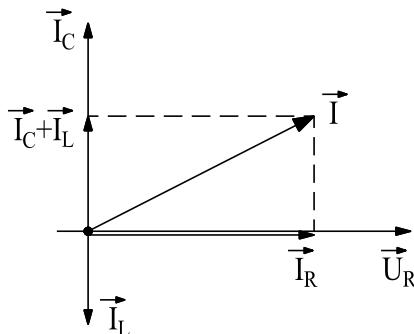
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_R = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1} = \frac{200\angle 0^\circ}{10} = 20(A),$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_L = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_2} = \frac{200\angle 0^\circ}{20\angle 90^\circ} = 10\angle -90^\circ = -j10(A),$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_3} = \frac{200\angle 0^\circ}{10\angle -90^\circ} = 20\angle 90^\circ = j20(A),$$

Dòng qua mạch chính là:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 20 - j10 + j20 = 22,36\angle 26,6^\circ (A)$$



Hình 2.22. Giản đồ vector của Ví dụ 2.17

Giản đồ vector được minh họa ở trên Hình 2.22.

Các mạch điện trong thực tế thường mắc theo sơ đồ hỗn hợp, nghĩa là bao gồm nhiều dây mắc song song, trong đó mỗi dây bao gồm các đoạn mạch hay các phần tử mắc nối tiếp. Vì vậy việc nắm vững sơ đồ mắc mạch nối tiếp, song song trên đây là hết sức cẩn bản và cần thiết để giải quyết các bài toán về mạch điện trong thực tế.

2.4. Công suất mạch xác lập điều hòa

Trường hợp tổng quát, khi tải của mạch điện điều hòa bao gồm các phần tử R, L, C, trong mạch sẽ xảy ra hai quá trình năng lượng sau đây:

- Biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác hoặc ngược lại. Quá trình này diễn ra trên điện trở và được đặc trưng bằng công suất tác dụng P.

- Trao đổi (tích lũy và giải phóng) năng lượng điện từ giữa nguồn với các phần tử cuộn cảm, tụ điện và được đặc trưng bằng công suất phản kháng Q.

2.4.1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng (ký hiệu P) đặc trưng cho tốc độ tiêu tán điện năng trên phần tử điện trở của mạch:

$$P = I^2 R \quad (2.63)$$

Biểu thức (2.63) có thể viết thành:

$$P = I \cdot I R = I \cdot U_R = UI \cos \varphi \quad (2.64)$$

Trường hợp mạch có nhiều phần tử điện trở thì công suất tác dụng trên toàn mạch bằng tổng công suất tiêu tán trên từng điện trở:

$$P = \sum_k P_k = \sum_k I_k^2 R_k \quad (2.65)$$

Đơn vị đo công suất tác dụng là oát (watt, ký hiệu W), các bội số kW, MW, GW và ước số mW, μ W, nW (ít dùng) của nó.

2.4.2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng (ký hiệu Q) đặc trưng cho tốc độ trao đổi năng lượng điện từ giữa nguồn điện và phần tử cuộn cảm, tụ điện trong mạch điện điều hòa:

$$Q = I^2 X = I^2 (X_L - X_C) \quad (2.66)$$

Biểu thức công suất phản kháng có thể viết thành:

$$Q = I^2 X_L + I^2 (-X_C) = Q_L + Q_C \quad (2.67)$$

trong đó, $Q_L = I_L^2 X_L > 0$

là công suất phản kháng trên cuộn cảm, còn

$$Q_C = I_C^2 (-X_C) = -I_C^2 X_C < 0$$

là công suất phản kháng trên tụ điện.

Trường hợp mạch gồm nhiều cuộn cảm hay tụ điện, công suất phản kháng toàn mạch được tính theo công thức:

$$Q = \sum_m Q_{Lm} + \sum_n Q_{Cn} = \sum_m I_m^2 X_{Lm} - \sum_n I_n^2 X_{Cn} \quad (2.68)$$

trong đó m và n lần lượt là số phần tử cuộn cảm và số phần tử tụ điện có trong mạch điện, bất kể là mắc nối tiếp hay song song.

Nếu công suất phản kháng của toàn mạch là dương ($Q > 0$) thì mạch có tính cảm. Ngược lại nếu công suất phản kháng toàn mạch là âm ($Q < 0$) ta nói mạch có tính dung.

Biểu thức tính công suất phản kháng (2.66) cũng có thể viết thành:

$$Q = I^2 X = I \cdot I (X_L - X_C) = UI \sin \varphi \quad (2.69)$$

Đơn vị đo công suất phản kháng là VAr, kVAr hoặc MVAr.

2.4.3. Công suất toàn phần

Công suất toàn phần (còn gọi là công suất biểu kiến, ký hiệu S) đặc trưng cho khả năng của nguồn và thiết bị điện trong 2 quá trình năng lượng nói trên, được xác định theo biểu thức:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI \quad (2.70)$$

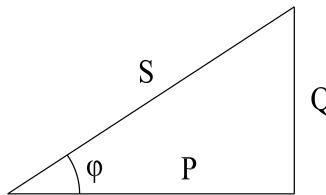
Từ (2.64), (2.69) và (2.70) ta có thể viết lại biểu thức tính P và Q theo S như sau:

$$\begin{aligned} P &= UI \cos \varphi = S \cos \varphi \\ Q &= UI \sin \varphi = S \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.71)$$

Đơn vị đo công suất S là VA, các bội số (kVA, MVA) hoặc ước số của nó (mVAr, μ VAr).

Như vậy, mặc dù các công suất P, Q, S có cùng thứ nguyên nhưng được đo bằng 3 loại đơn vị khác nhau để phân biệt:

- Đơn vị đo công suất tác dụng P là W, kW, MW...
- Đơn vị đo công suất phản kháng Q là VAr, kVAr, MVar...
- Đơn vị đo công suất toàn phần (công suất biểu kiến) S là VA, kVA, MVA,...



Hình 2.23. Tam giác công suất

Mỗi quan hệ giữa công suất tác dụng, công suất phản kháng và công suất toàn phần có thể được biểu diễn bằng một tam giác vuông, gọi là *tam giác công suất* (Hình 2.23). Từ tam giác công suất, ta có thể viết biểu thức công suất dưới dạng phức:

$$\dot{S} = P + jQ \quad (2.72)$$

Biểu thức (2.72) cho thấy P, Q tương ứng là phần thực và phần ảo của số phức \dot{S} :

$$\begin{aligned} P &= \operatorname{Re}(\dot{S}) = S \cos \varphi \\ Q &= \operatorname{Im}(\dot{S}) = S \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.73)$$

Đây cũng chính là các biểu thức (2.71).

Biểu thức công suất phức (toute phan) cũng có thể được viết dưới dạng:

$$\dot{S} = \dot{U} \dot{I} \quad (2.74)$$

hoặc $\hat{S} = \hat{U} \hat{I} \quad (2.75)$

trong đó $\hat{I}, \hat{U}, \hat{S}$ lần lượt là các liên hợp phức của \dot{I}, \dot{U} và \dot{S} .

Ví dụ 2.18: Mạch điện trên Hình 2.17a) có $R = 10\Omega$, $L = 1/20\pi(H)$, $C = 10^{-3}/\pi(F)$ và biểu thức dòng điện chạy qua các phần tử là $i(t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t)A$.

a) Tính điện áp trên mỗi phần tử và trên toàn mạch.

b) Tính công suất của mỗi nhánh và của toàn mạch.

Giải:

a) Cảm kháng và dung kháng của phần tử cuộn cảm, tụ điện lần lượt bằng:

$$X_L = \omega L = 100\pi \frac{1}{20\pi} = 5(\Omega), \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{100\pi \cdot \frac{10^{-3}}{\pi}} = 10(\Omega),$$

Dòng điện chạy trong mạch có thể viết dưới dạng phức:

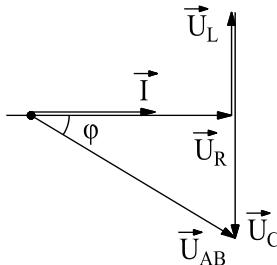
$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t) A \rightarrow I = 10\angle 0^\circ (A)$$

Từ đó,

$$\dot{U}_R = I \cdot R = 10\angle 0^\circ \cdot 10 = 100\angle 0^\circ (V),$$

$$\dot{U}_L = I \cdot jX_L = 10 \cdot j5 = j50 = 50\angle 90^\circ (V),$$

$$\dot{U}_C = I \cdot (-jX_C) = 10 \cdot (-j10) = -j100 = 100\angle -90^\circ (V)$$



Hình 2.24

$$\text{Suy ra: } \dot{U}_{AB} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = (100 - j50) = 111,8\angle -26,6^\circ (V)$$

trong đó độ lệch pha giữa điện áp 2 đầu đoạn mạch và dòng điện trong mạch là:

$$\varphi = -26,6^\circ = -0,46(\text{rad})$$

Hay dạng phụ thuộc thời gian của điện áp toàn mạch là:

$$u_{AB}(t) = 111,8\sqrt{2} \sin(100\pi t - 0,46) V$$

Giản đồ vector điện áp và dòng điện được biểu diễn trên Hình 2.24.

b) Từ kết quả câu a), ta tính được các công suất thành phần của mạch:
Công suất tác dụng:

$$P = I^2 \cdot R = 10^2 \cdot 10 = 1000 \text{ (W)},$$

Công suất phản kháng:

$$Q = I^2 \cdot (X_L - X_C) = 10^2 \cdot (5 - 10) = -500 \text{ (VAr)},$$

Công suất toàn phần:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1000^2 + (-500)^2} = 500\sqrt{5} \text{ (VA)}.$$

Ghi chú: Từ biểu thức dạng phức của điện áp và dòng điện mạch chính, có thể viết biểu thức công suất phức, từ đó xác định được công suất toàn phần, công suất tác dụng và công suất phản kháng của toàn mạch. Thật vậy, theo câu a):

$$\dot{I} = 10\angle 0^\circ \rightarrow \hat{I} = 10\angle 0^\circ$$

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} = (111,8\angle -26,6^\circ)(10\angle 0^\circ) = 1118\angle -26,6^\circ \approx 1000 - j500 \text{ (VA)}$$

Suy ra: $S = 1118 \text{ (VA)}$, $P = 1000 \text{ (W)}$, $Q = -500 \text{ (VAr)}$.

Ví dụ 2.19: Cho biểu thức dòng điện và điện áp trên một đoạn mạch là

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t + \pi/3) \text{ A}; \quad u(t) = 200\sqrt{2} \sin(100\pi t) \text{ V}$$

a) Xác định tổng trở phức của đoạn mạch đó.

b) Viết biểu thức công suất phức. Từ đó xác định các công suất của đoạn mạch.

Giải:

a) Tổng trở phức của đoạn mạch được xác định theo biểu thức

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{200\angle 0^\circ}{10\angle 60^\circ} = 20\angle -60^\circ = 10 - j10\sqrt{3} \text{ (\Omega)}$$

b) Liên hợp phức của $\dot{I} = 10\angle 60^\circ$ là $\hat{I} = 10\angle -60^\circ$.

Vậy biểu thức công suất phức là:

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} = (200\angle 0^\circ)(10\angle -60^\circ) = 2000\angle -60^\circ = 1000 - j1000\sqrt{3} \text{ (VA)}$$

Từ biểu thức này, dễ dàng suy ra:

- Công suất toàn phần: $S = 2000 \text{ VA}$

- Công suất tác dụng: $P = 1000 \text{ W}$

- Công suất phản kháng: $Q = -1000\sqrt{3} \approx -1732 (\text{ VAr})$

Vì $Q < 0$ nên đoạn mạch có tính dung (điện áp chậm pha hơn cường độ dòng điện).

2.4.4. Hệ số công suất. Nâng cao hệ số công suất

a) Khái niệm hệ số công suất

Trong biểu thức $P = UI \cos \varphi$, đại lượng $\cos \varphi$ được gọi là hệ số công suất hay ngắn gọn hơn là hệ số $\cos \varphi$. Giá trị của $\cos \varphi$ phụ thuộc vào các thông số và cấu trúc của mạch điện. Công thức tổng quát để tính hệ số công suất là:

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{P}{S} \quad (2.76)$$

b) Ý nghĩa kinh tế - kỹ thuật của hệ số công suất

Hệ số công suất là một thông số rất quan trọng của mạch điện. Nó cho phép đánh giá tính hiệu quả của mạch điện về kinh tế và kỹ thuật. Ta xét 2 trường hợp:

- Đối với nguồn điện (có công suất toàn phần S không đổi), công suất tác dụng P được xác định theo công thức

$$P = S \cos \varphi$$

Ta biết công suất tác dụng P đặc trưng cho tốc độ biến đổi điện năng sang các dạng năng lượng khác. Đối với nguồn điện, điều đó có nghĩa là khi hệ số công suất lớn thì hiệu quả của nguồn (trong việc biến đổi điện năng) càng lớn;

- Đối với thiết bị sử dụng điện hoặc đường dây tải điện (có công suất P không đổi - thường là công suất định mức theo thiết kế). Điện áp làm việc và dòng điện chạy qua thiết bị không đổi (bằng giá trị định mức). Vậy dòng điện qua mạch chính bằng:

$$I = \frac{P}{U \cdot I \cos \varphi}$$

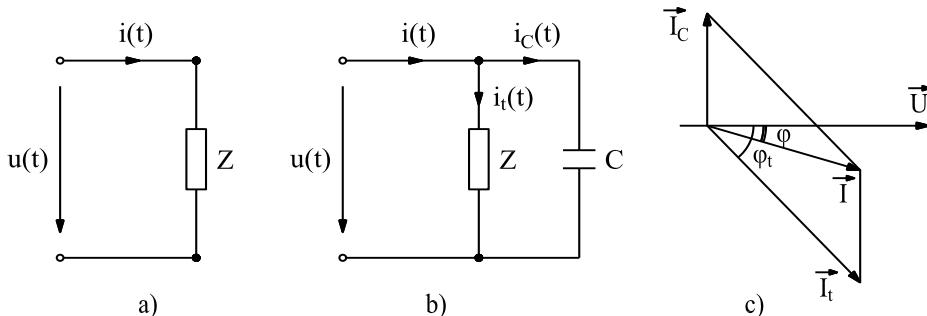
Dễ thấy rằng, khi hệ số $\cos\varphi$ càng lớn thì dòng điện I càng nhỏ, tốn thất điện năng trên đường dây tải (tính theo công thức $P_{hao phí} = I^2 \cdot R_{dây}$) cũng sẽ giảm theo.

Đó cũng là lí do người ta tìm cách nâng cao hệ số $\cos\varphi$ của mạch điện điều hòa.

c) Nâng cao hệ số công suất

Để nâng cao hệ số công suất, người ta có thể dùng nhiều cách khác nhau, trong đó cách đơn giản nhất là mắc thêm tụ điện có điện dung phù hợp song song với tải. Ta sẽ chứng minh rằng sau khi mắc thêm tụ (gọi là tụ bù tải), hệ số công suất của mạch được tăng lên, cường độ dòng điện qua mạch chính sẽ giảm xuống.

Thật vậy, trước khi mắc tụ bù, mạch điện như Hình 2.25a). Sau khi mắc thêm tụ bù song song với tải, sơ đồ mạch điện được vẽ lại như trên Hình 2.25b). Giản đồ vector điện áp-dòng điện được biểu diễn như trên Hình 2.25c). Từ giản đồ, ta thấy mặc dù điện áp và dòng điện qua tải vẫn giữ nguyên, nhưng trước khi mắc tụ thì $I = I_t$, còn sau khi mắc tụ thì $I < I_t$ và $\cos\varphi > \cos\varphi_t$ do $\varphi < \varphi_t$. Đây chính là điều ta cần chứng minh.



Hình 2.25. Sơ đồ mắc tụ bù để tăng hệ số công suất

- a) trước khi mắc tụ; b) sau khi mắc tụ
- và c) giản đồ vector điện áp - dòng điện

Ví dụ 2.20: Tính các công suất trong mỗi nhánh và hệ số công suất của mạch điện trong Ví dụ 2.17 (Hình 2.21).

Giải:

Trong Ví dụ 2.17, ta đã tính được:

$$I_R = 20A, R = 10\Omega;$$

$$I_L = 10A, X_L = 20\Omega;$$

$$I_C = 20A, X_C = 10\Omega$$

Vậy:

Công suất trong nhánh chứa R là công suất tác dụng:

$$P = I_R^2 \cdot R = 20^2 \cdot 10 = 4000(W),$$

Công suất phản kháng trong nhánh gồm cuộn cảm và tụ điện:

$$Q = Q_L + Q_C = 10^2 \cdot 20 - 20^2 \cdot 10 = -2000(VAr),$$

Công suất toàn phần hay công suất biểu kiến:

$$S = \sqrt{4000^2 + (-2000)^2} = 2000\sqrt{5} \approx 4472(VA)$$

Hệ số công suất của mạch:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{4000}{4472} = 0,89$$

Ghi chú: Có thể viết biểu thức công suất phức rồi suy ra các công suất thành phần và hệ số công suất. Thật vậy,

Đã biết biểu thức phức của điện áp và dòng điện là:

$$\dot{U} = 200\angle 0^\circ V, \dot{I} = 22,36\angle 26,6^\circ A$$

Biểu thức liên hợp phức của dòng điện là

$$\hat{I} = 22,36\angle -26,6^\circ A$$

Do đó biểu thức công suất phức

$$\begin{aligned}\dot{S} &= \dot{U}\hat{I} = (200\angle 0^\circ)(22,36\angle -26,6^\circ) \\ &= 4472\angle -26,6^\circ = 4000 - j2000(VA)\end{aligned}$$

Suy ra $S = 4472VA, P = 4000W, Q = -2000VAr$

và $\cos \varphi = \cos(26,6^\circ) = 0,89$.

Ví dụ 2.21: Trong sơ đồ mạch điện ở Hình 2.25a, tổng trở của tải trước khi lắp tụ là $\dot{Z} = \dot{Z}_1 = 40 + j30(\Omega)$ được đặt vào điện áp $u(t) = 200\sqrt{2} \sin(100\pi t)V$.

a) Tính hệ số công suất của mạch.

b) Để nâng cao hệ số $\cos\varphi$ của mạch, người ta lắp thêm tụ bù song song với tải đã cho. Muốn hệ số công suất là 0,95 thì dung kháng của tụ bù phải bằng bao nhiêu? Tính điện dung của tụ đó.

Giải:

a) Hệ số công suất của mạch là

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{40}{\sqrt{30^2 + 40^2}} = \frac{4}{5} = 0,8$$

b) Khi mắc tụ bù, mạch điện có sơ đồ như Hình 2.25b.

Công suất tác dụng của mạch không đổi và bằng:

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = \frac{200^2}{40} = 1000 \text{ (W)}$$

Công suất phản kháng của mạch khi chưa mắc tụ là

$$Q = Ptan\varphi = 1000 \cdot 0,75 = 750 \text{ (VAr)}$$

(Do $\cos\varphi = 0,8$ nên suy ngay được $\tan\varphi = 0,75$).

Công suất phản kháng của mạch sau khi mắc tụ bù là

$$Q' = Ptan\varphi' = 1000 \cdot 0,328 = 328 \text{ (VAr)}$$

(Do $\cos\varphi' = 0,95$ nên suy ngay được $\tan\varphi' = 0,328$).

Sau khi lắp tụ bù, công suất phản kháng của mạch thay đổi một lượng là:

$$Q_C = Q' - Q = 328 - 750 = -422 \text{ (VAr)}$$

Dung kháng của tụ được tính từ công thức:

$$Q_C = I^2 \cdot (-X_C) = -\frac{U^2}{X_C} \rightarrow X_C = -\frac{U^2}{Q_C} = \frac{200^2}{422} = 94,8 \Omega$$

Điện dung của tụ điện là:

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{(2\pi f)X_C} = \frac{1}{(2.50.3,14).94,8} = 3,36 \cdot 10^{-5} \text{ (F)} = 33,6 \mu\text{F}$$

Điện dung của tụ bù phụ thuộc vào công suất tác dụng của mạch điện, tần số dòng điện, hệ số công suất trước và sau khi lắp thêm tụ và được tính theo công thức:

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan \varphi - \tan \varphi') \quad (2.77)$$

trong đó $\tan \varphi$ và $\tan \varphi'$ được tính từ $\cos \varphi$, $\cos \varphi'$ đã cho.

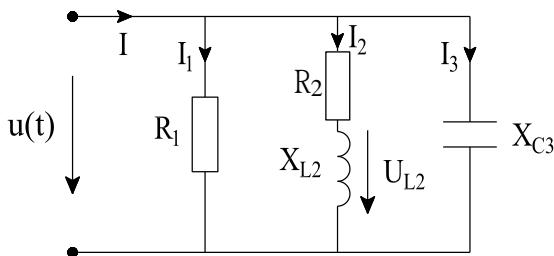
Ví dụ 2.22: Mạch điện được mắc như Hình 2.26 với các thông số:

$$u(t) = 120\sqrt{2} \sin(100\pi t) V; \dot{Z}_1 = R_1 = 8\Omega, \dot{Z}_2 = R_2 + jX_{L2} = 6 + j8(\Omega).$$

a) Tính dòng điện qua các nhánh và dòng điện qua mạch chính khi chưa lắp tụ bù.

b) Tính công suất tác dụng, công suất phản kháng và công suất toàn phần trong mỗi nhánh và hệ số công suất toàn mạch khi chưa lắp tụ bù.

c) Nếu lắp thêm tụ bù có điện dung là $C_3 = 63,7\mu F$ song song với các nhánh đã có thì hệ số công suất toàn mạch mới sẽ bằng bao nhiêu?



Hình 2.26

Giải:

a) Biểu thức dạng phức của điện áp là $\dot{U} = 120\angle 0^\circ V$

Dòng điện qua các nhánh (khi chưa mắc tụ bù) lần lượt là

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1} = \frac{120\angle 0^\circ}{8\angle 0^\circ} = 15(A)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_2} = \frac{120\angle 0^\circ}{6 + j8} = \frac{120\angle 0^\circ}{10\angle 53,1^\circ} = 12\angle -53,1^\circ = 7,2 - j9,6(A)$$

Dòng điện qua mạch chính lúc chưa có tụ bù là:

$$I = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 15 + 7,2 - j9,6 = 22,2 - j9,6 = 24,18\angle -23,4^\circ (A)$$

b) Công suất tác dụng, công suất phản kháng, công suất toàn phần lần lượt là:

- Nhánh 1: $P_1 = I_1^2 R_1 = 15^2 \cdot 8 = 1800 \text{W}$; $Q_1 = 0$, $S_1 = P_1 = 1800 \text{VA}$;
- Nhánh 2: $P_2 = I_2^2 R = 12^2 \cdot 6 = 864 \text{W}$; $Q_2 = 12^2 \cdot 8 = 1152 \text{VAr}$;
 $S_2 = 1440 \text{VA}$.

Hệ số công suất toàn mạch:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_2}{S_1 + S_2} = \frac{1800 + 864}{1800 + 1440} = 0,82$$

c) Sau khi mắc thêm tụ bù, dòng điện các nhánh 1 và 2 không thay đổi.

Để tính dòng điện nhánh 3 (chứa tụ bù), ta cần tính dung kháng của tụ bù:

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} \approx \frac{1}{314.63 \cdot 7 \cdot 10^{-6}} \approx 50 \Omega$$

Dòng điện chạy qua tụ là:

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_3} = \frac{\dot{U}}{-jX_{C3}} = \frac{120 \angle 0^\circ}{50 \angle -90^\circ} = 2,4 \angle 90^\circ = j2,4 \text{ (A)}$$

Dòng điện chạy qua mạch chính là:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 15 + 7,2 - j9,6 + j2,4 = \\ &= 22,2 - j7,2 = 23,3 \angle -18^\circ \text{ (A)} \end{aligned}$$

Công suất tác dụng, công suất phản kháng và công suất trong nhánh 1 và nhánh 2 giữ nguyên như khi chưa mắc tụ. Còn công suất của nhánh 3 (chứa tụ) là:

$$P_3 = 0; Q_3 = I_3^2 (-X_{C3}) = 2,4^2 \cdot (-50) = -288 \text{VAr}; S_3 = 288 \text{VA}$$

Hệ số công suất toàn mạch là:

$$\cos\varphi' = \frac{P'}{S'} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{1800 + 864}{1800 + 1440 + 288} = 0,90 > 0,82 = \cos\varphi$$

Ta thấy dòng điện mạch chính giảm còn hệ số công suất của mạch tăng lên.

2.5. Phân tích mạch điện điều hòa

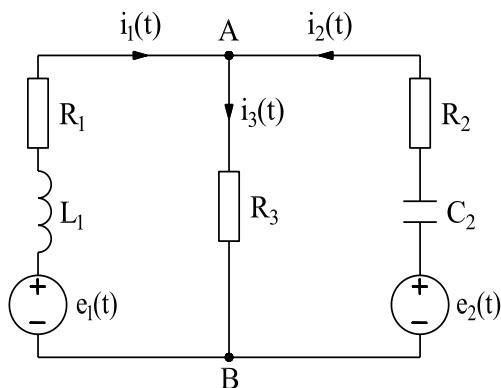
Phân tích mạch điện (*electric circuit analysis*) còn gọi là phân tích mạch điện, là việc xác định các đại lượng điện, các thông số chưa biết trong mạch điện khi được biết cấu trúc, một số thông số mạch điện và các điều kiện đầu vào. Thường có 2 dạng bài toán cơ bản, đó là:

Bài toán 1: Cho biết cấu trúc, các thông số của mạch và dòng điện (dòng, áp) trên 1 số phần tử của mạch. Yêu cầu tính dòng điện (dòng, áp, công suất) chưa biết trên các phần tử còn lại hoặc toàn mạch.

Bài toán 2: Cho biết dòng điện trên một hoặc một số phần tử của mạch. Yêu cầu xác định cấu trúc, thông số của mạch điện và dòng điện trên các phần tử khác.

Các bài toán trong thực tế thường là sự *kết hợp giữa 2 dạng bài toán nói trên*. Để phân tích mạch điện, tùy theo tính chất, độ phức tạp của bài toán mà vận dụng các định luật (định luật Ohm, các định luật Kirchhoff), các phép biểu diễn (vector, số phức), các phép biến đổi tương đương (nối tiếp, song song, tam giác - sao và ngược lại, phép biến đổi Thevenin - Norton) và các phương pháp (dòng điện nhánh, dòng điện mạch vòng, điện thế nút,...) để giải bài toán. Các phương pháp đã trình bày trong Chương 1 hoàn toàn có thể áp dụng đối với mạch xắc lập điều hòa, chỉ khác là thay các giá trị thực (đối với dòng điện 1 chiều) các giá trị phức (đối với dòng điện điều hòa). Vì vậy, ở chương này, chúng ta chỉ đưa ra một vài ví dụ để minh họa.

Ví dụ 2.23: Cho mạch điện xoay chiều như Hình 2.27



Hình 2.27

trong đó $R_1 = R_2 = 8\Omega$, $R_3 = 3,125\Omega$, $e_1(t) = 50\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/4)V$, $e_2(t) = 50\sqrt{2} \sin(\omega t - 3\pi/4)V$, $X_{L1} = X_{C2} = 6\Omega$. Xác định dòng điện qua mỗi phần tử, công suất và hệ số công suất của mạch.

Giải:

Có nhiều phương pháp phân tích mạch điện này. Sau đây ta lần lượt trình bày các phương pháp: dòng điện nhánh, dòng điện mạch vòng và điện thế nút để tiện so sánh.

Cách 1: Giải bằng phương pháp dòng điện nhánh

Mạch điện gồm 3 nhánh 2 nút. Biểu diễn dạng phức thông số các nguồn và tải như sau:

$$e_1(t) \Leftrightarrow \dot{E}_1 = 50\angle 45^\circ = 35,4 + j35,4(V)$$

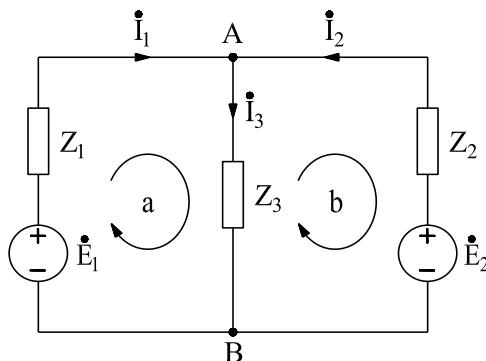
$$e_2(t) \Leftrightarrow \dot{E}_2 = 50\angle -135^\circ = -35,4 - j35,4(V)$$

$$\dot{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = (8 + j6) = 10\angle 36,9^\circ (\Omega),$$

$$\dot{Z}_2 = R_2 - j\frac{1}{\omega C_2} = (8 - j6) = 10\angle -36,9^\circ (\Omega)$$

$$\dot{Z}_3 = R_3 = 3,125(\Omega)$$

Chọn chiều dòng điện trong các nhánh và chiều các vòng mạch như Hình 2.28.



Hình 2.28

Phương trình định luật Kirchhoff 1 cho nút A

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0$$

Phương trình định luật Kirchhoff 2 cho các vòng (mắt lưới) a và b

$$\begin{cases} \dot{Z}_1 I_1 + \dot{Z}_3 I_3 = \dot{E}_1 \\ -\dot{Z}_2 I_2 - \dot{Z}_3 I_3 = -\dot{E}_2 \end{cases}$$

Thay số vào ta được hệ phương trình:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ (8 + j6)I_1 + 3,125I_3 = 35,4 + j35,4 \\ -(8 - j6)I_2 - 3,125I_3 = 35,4 + j35,4 \end{cases}$$

Có nhiều cách giải hệ phương trình này. Giải bằng phương pháp định thức, ta có:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 8 + j6 & 0 & 3,125 \\ 0 & -8 + j6 & -3,125 \end{vmatrix} = 3,125.(8 - j6) - (8 + j6).(-3,125 - 8 + j6)$$

$$D = 150$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 35,4 + j35,4 & 0 & 3,125 \\ 35,4 + j35,4 & -8 + j6 & -3,125 \end{vmatrix} = (35,4 + j35,4).(-3,125 - 8 + j6)(35,4 + j35,4).3,125$$

$$D_1 = 716,8 + j292$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -8 + j6 & 35,4 + j35,4 & 3,125 \\ 0 & 35,4 + j35,4 & -3,125 \end{vmatrix}$$

$$= -3,125.(35,4 + j35,4) - 3,125.(35,4 + j35,4) - (8 + j6).(35,4 + j35,4)$$

$$D_2 = -292 - j716,8$$

Từ đó, tính được dòng điện trong các nhánh:

$$I_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{716,8 + j292}{150} = 4,78 + j1,95 = 5,16 \angle 22,2^\circ (\text{A})$$

$$\dot{I}_2 = \frac{D_2}{D} = \frac{-292 - j716,8}{150} = -1,95 - j4,78 = 5,16 \angle -112,2^\circ (\text{A})$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 4,78 + j1,95 - 1,95 - j4,78 = 2,83 - j2,83 = 4 \angle -45^\circ (\text{A})$$

Và công suất trong các nhánh lần lượt là:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 5,16^2 \cdot 8 = 213 (\text{W}), Q_1 = I_1^2 X_1 = 5,16^2 \cdot 6 = 160 (\text{VAr})$$

$$S_1 = U \cdot I = I_1^2 Z_1 = 5,16^2 \cdot 10 = 266 (\text{VA}), \cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{213}{266} = 0,8$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = 5,16^2 \cdot 8 = 213 (\text{W}),$$

$$Q_2 = I_2^2 (-X_2) = 5,16^2 \cdot (-6) = -160 (\text{VAr})$$

$$S_2 = I_2^2 Z_2 = 5,16^2 \cdot 10 = 266 (\text{VA}), \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{213}{266} = 0,8;$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = 4^2 \cdot 3,125 = 50 (\text{W}), Q_3 = 0;$$

$$S_3 = I_3^2 Z_3 = 4^2 \cdot 3,125 = 50 (\text{VA}), \cos \varphi_3 = \frac{P_3}{S_3} = \frac{50}{50} = 1,0$$

Hệ số công suất của toàn mạch là:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{213 + 213 + 50}{266 + 266 + 50} = 0,82$$

Cách 2: Giải bằng phương pháp dòng điện mạch vòng

Mạch điện gồm 2 vòng a, b và có chiều đã chọn như Hình 2.28. Số phuong trình cần lập bằng số dòng điện mạch vòng cần tìm là 2 (số vòng - số nút +1), ta có hệ:

$$\begin{cases} \dot{Z}_{11} \dot{I}_a - \dot{Z}_{12} \dot{I}_b = \dot{E}_a \\ -\dot{Z}_{21} \dot{I}_a - \dot{Z}_{22} \dot{I}_b = -\dot{E}_b \end{cases}$$

trong đó:

$$\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_3 = 8 + j6 + 3,125 = 11,125 + j6 (\Omega)$$

$$\dot{Z}_{22} = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 = 8 - j6 + 3,125 = 11,125 - j6 (\Omega)$$

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = \dot{Z}_3 = 3,125 (\Omega)$$

Ta được hệ 2 phương trình:

$$\begin{cases} (11,25 + j6)\dot{I}_a - 3,125\dot{I}_b = 35,4 + j35,4 \\ -3,125\dot{I}_a - (11,125 - j6)\dot{I}_b = 35,4 + j35,4 \end{cases}$$

Giải bằng phương pháp định thức với các giá trị:

$$D = \begin{vmatrix} (11,125 + j6) & -3,125 \\ -3,125 & (11,125 - j6) \end{vmatrix} = 150$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} (35,4 + j35,4) & -3,125 \\ (35,4 + j35,4) & (11,125 - j6) \end{vmatrix} = 716,8 + j292$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} (11,125 + j6) & (35,4 + j35,4) \\ -3,125 & (35,4 + j35,4) \end{vmatrix} = 292 + j716,8$$

Ta tính được dòng điện trong các vòng:

$$\dot{I}_a = \frac{D_1}{D} = \frac{716,8 + j292}{150} = 4,78 + j1,95 \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_b = \frac{D_2}{D} = \frac{292 + j716,8}{150} = 1,95 + j4,78 \text{ (A)}$$

Từ đó, tính được dòng điện qua các phan tử ở các nhánh:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_a = 4,78 + j1,95 = 5,16 \angle 22,2^\circ \text{ (A)},$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_b = -1,95 - j4,78 = 5,16 \angle -112,2^\circ \text{ (A)}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_3 &= \dot{I}_a - \dot{I}_b = 4,78 + j1,95 - 1,95 - j4,78 = 2,83 - j2,83 \\ &= 4 \angle -45^\circ \text{ (A)} \end{aligned}$$

Ta có lại các kết quả đã tìm được bằng phương pháp dòng điện nhánh.

Cách 3: Giải bằng phương pháp điện áp 2 nút

Điện áp giữa 2 nút A, B là \dot{U}_{AB} được tính theo biểu thức:

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum \dot{E} \dot{Y}}{\sum \dot{Y}} = \frac{\dot{E}_1 \dot{Y}_1 + \dot{E}_2 \dot{Y}_2}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3}$$

trong đó: $\dot{Y}_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{8 + j6} = 0,08 - j0,06 \text{ (S)}$ (S đọc là siemen, là đơn vị đo độ dẫn)

$$\dot{Y}_2 = \frac{1}{\dot{Z}_2} = \frac{1}{8 - j6} = 0,08 + j0,06(S)$$

$$\dot{Y}_3 = \frac{1}{\dot{Z}_3} = \frac{1}{3,125} = 0,325(S)$$

Thay số đã có vào, ta tính được:

$$\dot{U}_{AB} = \frac{(35,4 + j35,4) \cdot (0,08 - j0,06) + (-35,4 - j35,4)(0,08 + j0,06)}{0,08 - j0,06 + 0,08 + j0,06 + 0,325}$$

$$\dot{U}_{AB} = 8,83 - j8,83(V)$$

Áp dụng định luật Ohm để tính dòng điện qua các nhánh:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_1} = \frac{35,4 + j35,4 - 8,83 + j8,83}{8 + j6} = 4,78 + j1,95(A)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_2} = \frac{-35,4 - j35,4 - 8,83 + j8,83}{8 - j6} = -1,95 - j4,78(A)$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_3} = \frac{(8,83 - j8,83)}{3,125} = 2,83 - j2,83(A)$$

Ta lại có kết quả giống như đã có trên đây.

Tóm tắt nội dung chương 2

1. Dòng điện điều hòa là dòng điện xoay chiều biến đổi theo quy luật hàm sin hoặc cosin theo thời gian. Biểu thức cường độ dòng điện có dạng:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi_i)$$

trong đó, I_m là biên độ của dòng điện, $(\omega t + \phi_i)$ là góc pha của dòng điện tại thời điểm t , với ϕ_i là góc pha ban đầu của dòng điện, $\omega = 2\pi f$ là tần số góc của dòng điện.

2. Trị số hiệu dụng của dòng điện điều hòa bằng biên độ của nó chia cho $\sqrt{2}$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

3. Dòng điện điều hòa có thể biểu diễn bằng véc tơ hoặc số phức:

$$i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \phi_i) \Leftrightarrow \dot{I} = I \angle \phi_i = I e^{j\omega t} = I \cos \phi_i + j I \sin \phi_i$$

4. Quan hệ dòng - áp trên điện trở: $\dot{U}_R = \dot{I}_R R$

5. Quan hệ dòng - áp trên cuộn cảm: $\dot{U}_L = jX_L \dot{I}_L = j\omega L \dot{I}_L$ với $X_L = \omega L$ là cảm kháng

6. Quan hệ dòng - áp trên tụ điện $\dot{U}_C = -jX_C \dot{I}_C = -j \frac{\dot{I}_C}{\omega C}$ với $X_C = 1/\omega C$ là dung kháng

7. Quan hệ dòng - áp trên đoạn mạch có R, L, C mắc nối tiếp

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I} \dot{Z}$$

với $\dot{Z} = R + j(X_L - X_C) = Z \angle \phi$ là tổng trở phức của đoạn mạch nối tiếp.

8. Quan hệ dòng - áp trên đoạn mạch có R, L, C mắc song song

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \dot{U} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} + \frac{1}{-jX_C} \right) = \dot{U} \sum_k \dot{Y}_k$$

với $\dot{Y} = \sum_k \dot{Y}_k$ là tổng dẫn phức của đoạn mạch song song.

9. Công suất của mạch điện điều hòa:

$$P(W) = I^2 R = UI \cos \varphi$$

$$Q(VAr) = I^2 (X_L - X_C) = UI \sin \varphi$$

$$S(VA) = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI$$

hoặc viết dưới dạng phức:

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \hat{I} = P + j(Q_L + Q_C)$$

trong đó S , P , Q_L , Q_C lần lượt là công suất toàn phần, công suất tác dụng, công suất phản kháng trên cuộn cảm và công suất phản kháng trên tụ điện của mạch điện.

10. Để tính toán mạch điện xác lập điều hòa, ta hoàn toàn có thể áp dụng các phương pháp phân tích mạch điện 1 chiều, với các thông số thực được thay bằng các thông số phức. Đó là các phương pháp đã được trình bày ở chương 1 như: Phương pháp biến đổi tương đương, Phương pháp dòng điện nhánh, Phương pháp dòng điện mạch vòng, Phương pháp điện thế nút và các phương pháp khác.

Câu hỏi và bài tập chương 2

2.1. Dòng điện điều hòa là gì? Nêu các đại lượng đặc trưng của dòng điện điều hòa, đơn vị đo và ý nghĩa vật lí của các đại lượng đó.

2.2. Trị số hiệu dụng của dòng điện điều hòa là gì? Nêu ý nghĩa vật lí của trị số hiệu dụng và mối quan hệ với trị số cực đại tương ứng của dòng điện điều hòa.

2.3. Trình bày các bước biểu diễn cường độ và điện áp điều hòa bằng giản đồ vectơ.

2.4. Trình bày cách biểu diễn cường độ và điện áp điều hòa bằng số phức.

2.5. Trình bày cách chuyển từ biểu diễn dòng điện điều hòa bằng số phức sang biểu diễn bằng vector và ngược lại.

2.6. Trình bày tóm tắt mối quan hệ giữa điện áp và cường độ dòng điện trong đoạn mạch khi chỉ có điện trở, chỉ có cuộn cảm, chỉ có tụ điện.

2.7. Trình bày tóm tắt mối quan hệ giữa điện áp và cường độ dòng điện trong đoạn mạch bao gồm điện trở, cuộn cảm, tụ điện ghép nối tiếp. Nêu khái niệm và biểu thức tổng trở phức của đoạn mạch có R, L, C nối tiếp.

2.8. Trình bày tóm tắt mối quan hệ giữa điện áp và cường độ dòng điện trong đoạn mạch gồm điện trở, cuộn cảm, tụ điện ghép song song. Nêu khái niệm và biểu thức tổng dẫn của đoạn mạch.

2.9. Trình bày định nghĩa, biểu thức tính và đơn vị đo công suất tác dụng, công suất phản kháng, công suất toàn phần (hay công suất biểu kiến) của mạch xác lập điều hòa.

2.10. Nêu định nghĩa hệ số công suất và trình bày tóm tắt ý nghĩa kinh tế, kỹ thuật của hệ số công suất. Vì sao phải nâng cao hệ số công suất? Trình bày các cách nâng cao hệ số công suất mà anh/chị biết.

2.11. Biểu thức trị số tức thời của dòng điện và điện áp trên một đoạn mạch là:

$$i(t) = 14,14 \sin(100\pi t + \pi/3) \text{ A} \quad \text{và} \quad u(t) = -100\sqrt{2} \sin(100\pi t - \pi/6) \text{ V} .$$

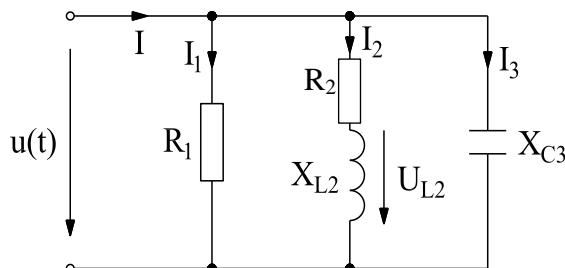
a) Xác định pha ban đầu của điện áp và độ lệch pha của nó so với dòng điện.

b) Xác định trị hiệu dụng, trị cực đại, tần số và chu kỳ của dòng điện và điện áp.

2.12. Đặt điện áp điều hòa có trị số hiệu dụng $U = 210V$ vào cuộn dây có trở kháng $R = 45\Omega$ và cảm kháng $X_L = 20\Omega$ (xem như mắc nối tiếp). Hãy tính dòng điện, điện áp trên mỗi phần tử; công suất tác dụng, công suất phản kháng và hệ số công suất của mạch.

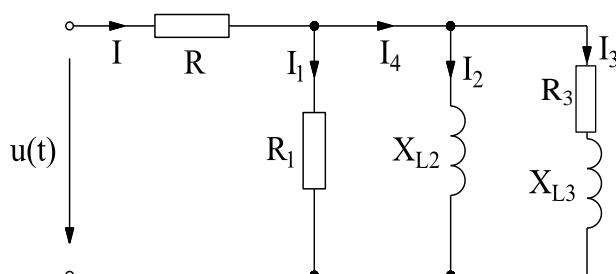
2.13. Một nguồn điện có điện áp U , cung cấp cho tải có điện trở $R = 20\Omega$ và dung kháng $X_C = 15\Omega$ mắc nối tiếp. Biết công suất tác dụng của mạch điện $P = 180W$. Tính I , U_R , U_C , U , $\cos\phi$, Q_C .

2.14. Mạch điện điều hòa mắc như Hình 2.29. Biết $U_{L2} = 150V$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$, $X_{L2} = 30\Omega$, $X_{C3} = 5\Omega$. Tính các dòng điện I_1 , I_2 , I_3 và các giá trị P , Q , U , $\cos\phi$ của mạch.



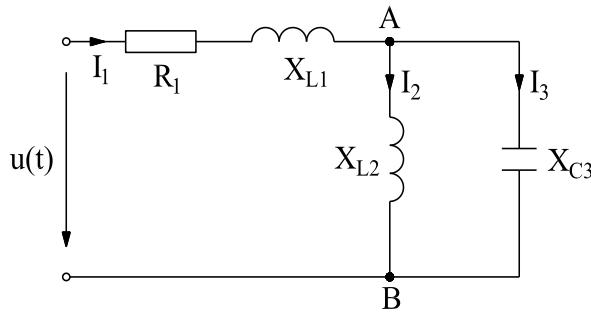
Hình 2.29

2.15. Cho mạch điện xoay chiều như Hình 2.30. Cho biết dòng điện $I_3 = 5A$, các thông số $R = 2\Omega$, $R_1 = 4\Omega$, $X_{L2} = 5\Omega$, $R_3 = 6\Omega$, $X_{L3} = 4\Omega$. Xác định các dòng điện, công suất tác dụng, công suất phản kháng và hệ số công suất của toàn mạch.



Hình 2.30

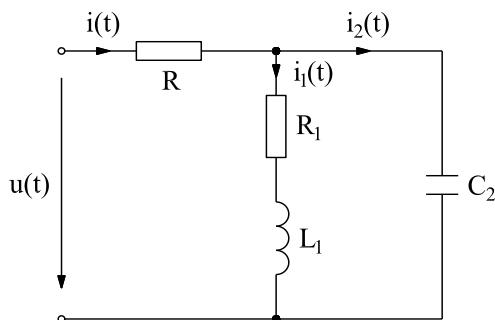
2.16. Cho mạch điện xoay chiều như Hình 2.31. Biết $R_1 = 10\Omega$, $X_{L1} = 12\Omega$, $X_{L2} = 12\Omega$, và $X_{C3} = 6\Omega$. Biết biểu thức điện áp đặt vào 2 đầu đoạn mạch là: $u(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t)$ V. Hãy xác định các dòng điện I_1 , I_2 , I_3 và điện áp U_{AB} .



Hình 2.31

2.17. Mạch điện mắc theo Hình 2.32. Các thông số của mạch là $R_d = 2\Omega$, $R_1 = 10\Omega$, $L_1 = 31,8\text{mH}$; $C_2 = 159,0 \mu\text{F}$. Đặt vào hai đầu đoạn mạch điện áp có biểu thức $u(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t + \pi/2)$ V. Hãy xác định:

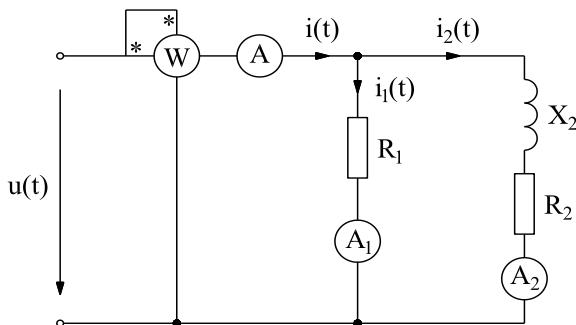
- a) Biểu thức dòng điện trong mạch chính và trong các nhánh theo thời gian.
- b) Biểu thức công suất phức và hệ số công suất của toàn mạch.



Hình 2.32

2.18. Cho mạch điện điều hòa như Hình 2.33 với các thông số $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $X_2 = 8\Omega$, điện áp $u(t) = 120\sqrt{2} \sin 100\pi t$ (V). Xác

định chỉ số các dụng cụ đo, biểu thức dòng điện trong các đoạn mạch và độ tự cảm L_2 .



Hình 2.33

2.19. Đèn huỳnh quang công suất 20W được mắc nối tiếp với cuộn chấn lưu (xem như một cuộn dây có trở kháng). Khi đặt vào hệ đèn vào nguồn điều hòa có điện áp 220V, tần số 50Hz thì dòng điện qua đèn là 0,25A và hệ số công suất đạt 0,65. Tính các thông số của đèn, của cuộn chấn lưu (trở kháng, điện cảm), điện áp trên đèn U_d và trên chấn lưu U_{cl} .

2.20. Một nhóm động cơ không đồng bộ có tổng công suất P không đổi, hệ số công suất $\cos\varphi = 0,8$ (chậm sau) sẽ được thay thế bằng các động cơ đồng bộ có cùng hiệu suất nhưng hệ số công suất $\cos\varphi = 0,707$ (vượt trước). Khi thay thế dàn dàn người ta nhận thấy hệ số công suất được cải thiện. Tính tỷ lệ phần trăm công suất động cơ được thay thế để hệ số công suất của nhóm động cơ đạt 0,9 (chậm sau).

Tài liệu đọc thêm chương 2

1. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Kỹ thuật điện*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
2. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Bài tập Kỹ thuật điện*, Nxb GD Việt Nam, 2011.
3. Phạm Thị Cư, Lê Minh Cường, Trương Trọng Tuấn Mỹ, *Mạch điện I*, Nxb ĐHQG Tp Hồ Chí Minh, 2013.

Chương 3

MẠCH ĐIỆN BA PHA

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 3

Sau khi học xong Chương 3, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được các khái niệm về dòng điện 3 pha, mạch điện 3 pha, khái niệm điện áp pha, điện áp dây, dòng điện pha, dòng điện dây và mối liên hệ giữa chúng trong mạch 3 pha đối xứng nối hình sao, nối hình tam giác;
- Tính được các công suất của mạch điện 3 pha (P, Q, S);
- Tính toán được dòng điện, điện áp, công suất trên các phần tử của mạch điện 3 pha đối xứng và không đối xứng trong các trường hợp khác nhau.

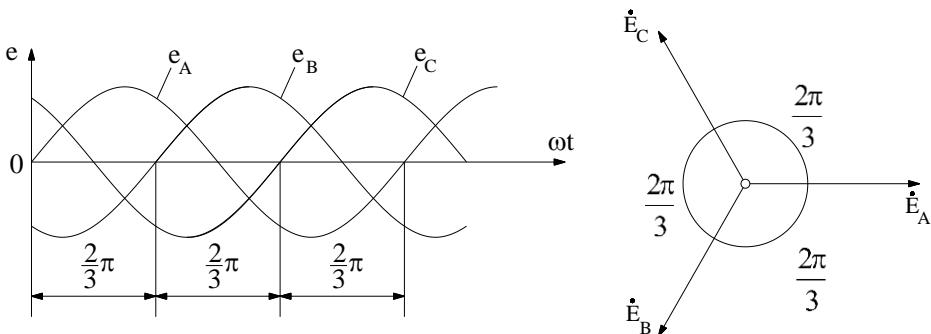
3.1. Khái niệm chung về mạch điện 3 pha

3.1.1. Khái niệm dòng điện xoay chiều 3 pha

Mạch điện 3 pha gồm có nguồn điện 3 pha, tải 3 pha và dây nối, trong đó có dòng điện xoay chiều 3 pha.

Dòng điện xoay chiều 3 pha là hệ thống ba dòng điện xoay chiều 1 pha được nối với nhau thành một hệ thống năng lượng điện từ chung. Dòng điện xoay chiều 3 pha được tạo ra bởi nguồn điện 3 pha, trong đó sức điện động ở mỗi pha đều có dạng hình sin, cùng tần số, cùng biên độ nhưng pha lệch nhau $1/3$ chu kỳ.

$$\begin{cases} e_A(t) = E\sqrt{2} \cdot \sin \omega t \\ e_B(t) = E\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ e_C(t) = E\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (3.1)$$



Hình 3.1. Sức điện động xoay chiều 3 pha

Trên Hình 3.1 biểu diễn các sức điện động xoay chiều trên các pha của mạch điện xoay chiều 3 pha.

Tại mọi thời điểm luôn có: $e_A(t) + e_B(t) + e_C(t) = 0$, nguồn tạo ra sức điện động 3 pha đối xứng. Biểu diễn bằng số phức:

$$\begin{cases} \dot{E}_A = E \cdot e^{j0^\circ} \\ \dot{E}_B = E \cdot e^{-j120^\circ} \\ \dot{E}_C = E \cdot e^{j120^\circ} \end{cases} \text{ hoặc } \begin{cases} \dot{E}_A = E \cdot e^{j0^\circ} \\ \dot{E}_B = E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ \dot{E}_C = E \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} \end{cases} \quad (3.2)$$

Nguồn điện gồm 3 sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số, lệch nhau về pha góc $\frac{2\pi}{3}$ gọi là nguồn điện 3 pha đối xứng: $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$. Trong chương này chúng ta chỉ đề cập đến nguồn điện xoay chiều 3 pha đối xứng - nguồn điện 3 pha thông dụng nhất.

3.1.2. So sánh dòng điện 3 pha với dòng điện 1 pha

Việc truyền tải điện năng bằng dòng điện 3 pha tiết kiệm được dây dẫn hơn là dùng dòng điện 1 pha, do đó có thể giảm được vật liệu xây

dụng đường dây và cột điện, giảm được thời gian và công sức thi công. Dòng điện 3 pha triệt tiêu lẫn nhau ở dây trung tính nên dòng điện qua dây trung tính rất nhỏ và chỉ cần một dây rất nhỏ cho cả 3 pha. Như vậy mạng 3 pha tối đa có 4 dây với dây trung tính rất nhỏ, trong khi với mạng 1 pha thì dây trung tính phải to bằng dây pha và để truyền tải đủ 3 pha riêng lẻ ta phải dùng 6 dây.

Dòng điện 3 pha được dùng cấp điện cho động cơ điện 3 pha, loại động cơ điện 3 pha này có cấu tạo đơn giản và công suất lớn hơn, đặc tính tốt hơn động cơ điện 1 pha. Dòng điện 3 pha có thể tạo ra từ trường quay, trong khi dòng 1 pha để chạy động cơ cần phải có thêm cuộn phụ hoặc tụ điện mới chạy được.

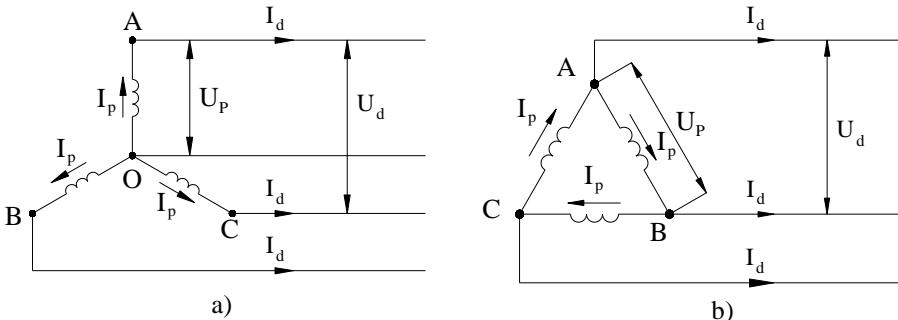
Tuy vậy, việc vận hành mạng điện và thiết bị 3 pha phức tạp hơn so với 1 pha. Phải vận hành sao cho tải trên 3 pha là đối xứng; thiết bị bảo vệ, tủ điện 3 pha phức tạp, đắt tiền hơn so với 1 pha. Sự mất cân bằng giữa 3 pha làm cho các động cơ 3 pha chạy ở nhiệt độ cao hơn so với giá trị định mức, làm giảm hiệu suất, hư lớp cách điện và gây nên các vấn đề liên quan khác. Sự mất cân bằng pha càng nhiều thì sự tăng nhiệt độ càng lớn.

3.1.3. Các thông số đặc trưng của mạch điện 3 pha

Điện áp pha là điện áp giữa điểm đầu và cuối của 1 pha, ký hiệu U_p . Chẳng hạn: U_{AO} , U_{BO} , U_{CO} (Hình 3.2a) hoặc U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (Hình 3.2b).

Điện áp dây là điện áp giữa hai điểm đầu của hai pha, ký hiệu là U_d . Chẳng hạn: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (Hình 3.2).

Dòng điện pha là dòng điện chạy trong mỗi pha, ký hiệu I_p . Chẳng hạn: I_{OA} , I_{OB} , I_{OC} (Hình 3.2a) hoặc I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} (Hình 3.2b).



Hình 3.2. Biểu diễn các thông số đặc trưng của mạch 3 pha

Dòng điện dây là dòng điện chạy trên dây pha nối từ nguồn đến tải, ký hiệu I_d .

Các thông số trên được biểu diễn trên Hình 3.2.

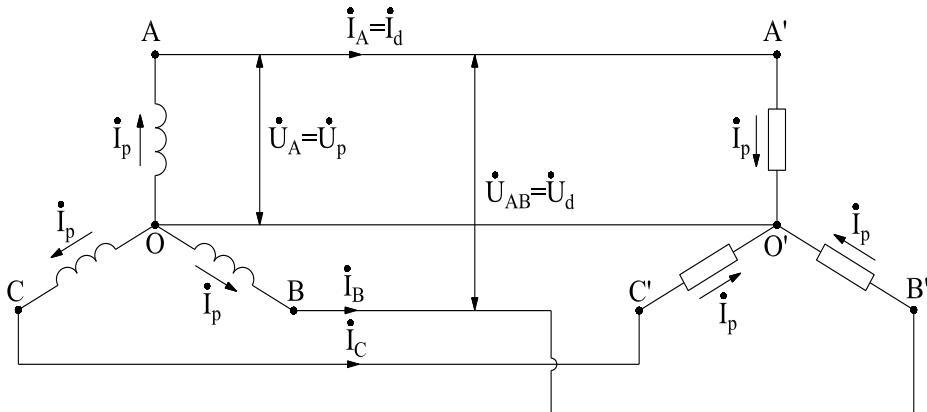
3.2. Cách nối dây trong mạch 3 pha

Trong mạch điện 3 pha, tùy thuộc vào yêu cầu về đặc tính hoạt động và khả năng đáp ứng của nguồn mà người ta xác định cách nối dây cho phù hợp. Có hai cách nối dây thông dụng là nối hình sao và nối hình tam giác.

3.2.1. Cách nối hình sao (Y)

Trong mạch điện ba pha nguồn nối hình sao, ba điểm cuối X, Y, Z của các pha nguồn AX, BY, CZ nối với nhau, tạo thành điểm trung tính O. Tương tự, trong mạch 3 pha tải nối hình sao, các điểm cuối của các pha tải X', Y', Z' nối với nhau thành điểm trung tính tải (O'). Dây OO' gọi là dây trung tính hay dây trung hoà. Các dây từ nguồn đến tải AA', BB', CC' gọi là các dây pha.

Mạch điện nối hình sao có dây trung tính gọi là mạch điện 3 pha 4 dây, mạch điện nối hình sao không có dây trung tính gọi là mạch điện 3 pha 3 dây. Các thông số về điện áp và dòng điện như U_d , U_p , I_d , I_p được biểu diễn trên Hình 3.3.

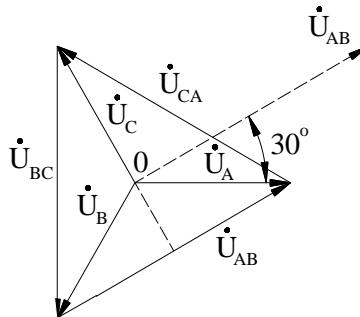


Hình 3.3. Mạch điện 3 pha nối hình sao

Trong mạch điện 3 pha nối hình sao thì dòng điện dây cũng chính là dòng điện pha:

$$I_d = I_p \text{ và } \dot{I}_d = \dot{I}_p \quad (3.3)$$

Trong mạch 3 pha nguồn nối hình sao đối xứng giữa điện áp dây và điện áp pha có mối quan hệ như trên Hình 3.4:



Hình 3.4. Quan hệ giữa các điện áp trong mạch 3 pha nối hình sao đối xứng

Cụ thể:

$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AO} + \dot{U}_{OB} = \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{BO} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$, trong đó \dot{U}_{AB} là điện áp giữa pha A và pha B; còn \dot{U}_A, \dot{U}_B lần lượt là điện áp pha A và pha B.

Tương tự như trên, ta có:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \text{ (điện áp giữa pha B và pha C)}$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \text{ (điện áp giữa pha C và pha A)}$$

Từ hình vẽ, ta thấy:

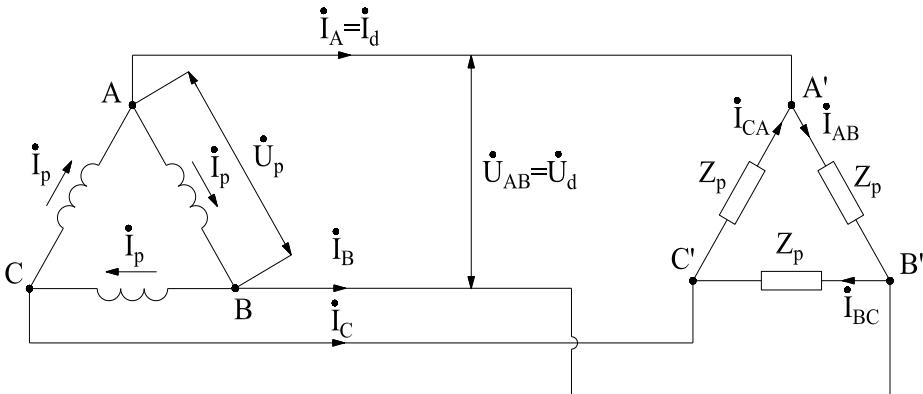
$$\begin{aligned} U_{AB} &= 2U_A \cos 30^\circ = 2U_A \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}U_A \text{ với } U_{AB} = U_d, U_A = U_p \\ \Rightarrow U_d &= \sqrt{3}U_p \end{aligned} \quad (3.4)$$

Từ hình vẽ ta cũng có thể suy ra \dot{U}_{AB} nhanh pha 30° so với \dot{U}_A , \dot{U}_{BC} nhanh pha 30° so với \dot{U}_B , \dot{U}_{CA} nhanh pha 30° so với \dot{U}_C .

3.2.2. Cách nối hình tam giác (Δ)

Mạch 3 pha mắc hình tam giác là mạch mà ở nguồn và tải người ta nối đầu pha này với cuối pha kia. Nguồn 3 pha nối hình tam giác có điểm cuối pha A nối vào đầu pha B, điểm cuối pha B nối vào đầu pha C

và điểm cuối pha C nối vào đầu pha A tạo một mạch vòng hình tam giác. Tương tự như vậy với tải 3 pha nối hình tam giác (Hình 3.5).

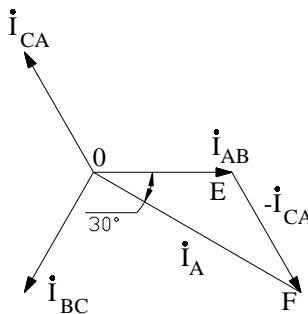


Hình 3.5. Mạch điện 3 pha nối hình tam giác

Đối với mạch điện 3 pha nối hình tam giác thì điện áp dây cũng chính là điện áp pha:

$$U_d = U_p \text{ và } \dot{U}_d = \dot{U}_p \quad (3.5)$$

Trong mạch 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng, giữa dòng điện dây và dòng điện pha có mối quan hệ như trên Hình 3.6:



Hình 3.6. Quan hệ giữa các dòng điện trong mạch pha nối hình tam giác

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại các nút, ta có:

$$\text{Tại nút A: } I_A + I_{CA} - I_{AB} = 0, \text{ suy ra } I_A = I_{AB} - I_{CA},$$

$$\text{tại nút B: } I_B = I_{BC} - I_{AB},$$

$$\text{tại nút C: } I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Xét tam giác OEF:

$$OF = 2 \cdot OE \cos 30^\circ = 2 \cdot OE \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}OE, \text{ với } OF = I_d, OE = I_p$$

$$\Rightarrow I_d = \sqrt{3}I_p \quad (3.6)$$

Từ hình vẽ ta cũng có thể suy ra \dot{I}_A chậm pha 30° so với \dot{I}_{AB} , \dot{I}_B chậm pha 30° so với \dot{I}_{BC} , \dot{I}_C chậm pha 30° so với \dot{I}_{CA} .

Ví dụ 3.1: Cho mạch điện 3 pha nối hình sao như Hình 3.3. Biết điện áp pha A có biểu thức $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ(V)$. Hãy viết biểu thức điện áp pha B, pha C, điện áp dây AB và điện áp dây BC.

Giải:

Theo bài ra $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ(V)$.

Suy ra: $\dot{U}_B = 220\angle -120^\circ(V); \dot{U}_C = 220\angle 120^\circ(V)$

Điện áp dây AB nhanh pha hơn điện áp pha A góc 30° và $U_d = \sqrt{3}U_p \Rightarrow U_{AB} = \sqrt{3}U_A$

$$\Rightarrow U_{AB} = \sqrt{3} \cdot 220 = 220\sqrt{3}(V). \text{ Do đó:}$$

$$\dot{U}_{AB} = 220\sqrt{3}\angle(0^\circ + 30^\circ) = 220\sqrt{3}\angle 30^\circ(V)$$

Tương tự, điện áp dây BC nhanh pha hơn điện áp pha B góc 30° và $U_{BC} = 220\sqrt{3}(V)$. Suy ra:

$$\dot{U}_{BC} = 220\sqrt{3}\angle(-120^\circ + 30^\circ) = 220\sqrt{3}\angle -90^\circ(V)$$

3.3. Công suất mạch điện 3 pha

3.3.1. Công suất tác dụng

Gọi P_A, P_B, P_C tương ứng là công suất tác dụng của pha A, B, C. Công suất tác dụng P của cả mạch 3 pha là:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_{pA} \cos \varphi_A + U_B I_{pB} \cos \varphi_B + U_C I_{pC} \cos \varphi_C \quad (3.7)$$

trong đó U_A, U_B, U_C là các điện áp pha, I_{pA}, I_{pB}, I_{pC} là các dòng điện pha, $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ là các góc lệch pha giữa dòng điện pha và điện áp pha tương ứng.

Khi mạch điện 3 pha đối xứng:

$U_A = U_B = U_C = U_p$; $I_{pA} = I_{pB} = I_{pC} = I_p$; $\cos\varphi_A = \cos\varphi_B = \cos\varphi_C = \cos\varphi$
suy ra:

$$P = 3U_p I_p \cos\varphi = 3R_p I_p^2 = \sqrt{3}U_d I_d \cos\varphi \quad (3.8)$$

trong đó R_p là điện trở của 1 pha trên tải 3 pha đối xứng.

3.3.2. Công suất phản kháng

Gọi Q_A, Q_B, Q_C tương ứng là công suất phản kháng của pha A, B, C.
Công suất phản kháng Q của cả mạch 3 pha là:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_{pA} \sin\varphi_A + U_B I_{pB} \sin\varphi_B + U_C I_{pC} \sin\varphi_C \quad (3.9)$$

Khi mạch điện 3 pha đối xứng:

$$U_A = U_B = U_C = U_p; I_{pA} = I_{pB} = I_{pC} = I_p; \sin\varphi_A = \sin\varphi_B = \sin\varphi_C = \sin\varphi$$

suy ra: $Q = 3U_p I_p \sin\varphi = 3X_p I_p^2 = \sqrt{3}I_d U_d \sin\varphi \quad (3.10)$

trong đó X_p là điện kháng của 1 pha trên tải 3 pha đối xứng.

3.3.3. Công suất toàn phần

Đối với mạch 3 pha không đối xứng:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.11)$$

Đối với mạch 3 pha đối xứng:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_p I_p = \sqrt{3}U_d I_d \quad (3.12)$$

Đơn vị đo công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q và công suất toàn phần S đã được trình bày ở chương 2.

3.4. Phân tích mạch điện 3 pha đối xứng

Mạch điện 3 pha gồm nguồn, tải và đường dây đối xứng gọi là mạch điện 3 pha đối xứng.

Nguồn điện gồm ba sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số, lệch pha nhau $\frac{2\pi}{3}$ gọi là nguồn 3 pha đối xứng. Đối với nguồn 3 pha đối xứng ta có:

$$e_A(t) + e_B(t) + e_C(t) = 0 \text{ hoặc } \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \quad (3.13)$$

Nếu tổng trở phức của các pha tải bằng nhau $\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C$ thì ta có tải đối xứng.

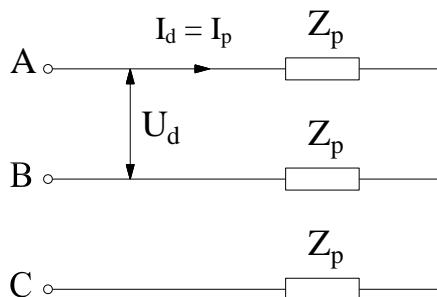
Đối với mạch điện 3 pha đối xứng, dòng điện, điện áp trên các pha có trị số bằng nhau và lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$. Vì vậy, khi phân tích mạch điện 3 pha đối xứng ta chỉ cần tách 1 pha ra để giải. Sau đó suy ra các kết quả đối với hai pha còn lại.

Nếu mạch điện 3 pha không thỏa mãn một trong các điều kiện đã nêu gọi là mạch điện 3 pha không đối xứng.

Trong giáo trình này chúng ta chỉ xem xét trường hợp nguồn 3 pha đối xứng và đường dây đối xứng. Khi đó, nếu tải 3 pha đối xứng thì ta nói mạch 3 pha đối xứng (mục 3.4), nếu tải 3 pha không đối xứng thì ta nói mạch 3 pha không đối xứng (mục 3.5).

3.4.1. Phân tích mạch điện 3 pha tải nối hình sao đối xứng

Giả sử có mạch điện 3 pha tải nối hình sao đối xứng như Hình 3.7 với $\dot{Z}_{pA} = \dot{Z}_{pB} = \dot{Z}_{pC} = \dot{Z}_p = R_p + jX_p$.



Hình 3.7. Mạch điện 3 pha tải nối hình sao đối xứng

Đối với mạch 3 pha đối xứng, chúng ta chỉ cần tính toán trên 1 pha rồi suy ra 2 pha còn lại.

Điện áp đặt lên mỗi pha của tải:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \quad (3.14)$$

Khi không xét tổng trở đường dây pha thì tổng trở mỗi pha tải là:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} \quad (3.15)$$

trong đó R_p , X_p lần lượt là điện trở, điện kháng mỗi pha tải.

Dòng điện trên mỗi pha của tải:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (3.16)$$

Góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha.

$$\varphi = \arctan \frac{X_p}{R_p} \quad (3.17)$$

Vì tải nối hình sao nên dòng điện dây bằng dòng điện pha

$$I_d = I_p \quad (3.18)$$

Trong một số bài toán yêu cầu viết biểu thức của dòng điện, điện áp trên tải khi biết biểu thức điện áp hoặc thông số pha của điện áp đặt vào. Khi đó, để thuận tiện, ta nên dùng các công thức phức để tính toán như trong chương 2. Một số công thức cần vận dụng là:

$$\dot{I}_{pA} = \frac{\dot{U}_{pA}}{\dot{Z}_{pA}}; \dot{I}_{pB} = \frac{\dot{U}_{pB}}{\dot{Z}_{pB}}; \dot{I}_{pC} = \frac{\dot{U}_{pC}}{\dot{Z}_{pC}} \quad (3.19)$$

trong đó $\dot{Z}_{pA} = \dot{Z}_{pB} = \dot{Z}_{pC} = \dot{Z}_p = R_p + jX_p$; các điện áp $\dot{U}_{pA}, \dot{U}_{pB}, \dot{U}_{pC}$ lệch nhau 120° .

Khi xét đến tổng trở đường dây pha thì tổng trở mỗi pha sẽ bao gồm tổng trở đường dây và tổng trở pha tải. Khi đó, trong các công thức trên cần phải bổ sung thành phần điện trở đường dây R_d và điện kháng đường dây X_d . Do vậy, tổng trở mỗi pha và dòng điện pha khi xét đến tổng trở đường dây là:

$$Z_p = \sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2} \quad (3.20)$$

$$I_p = \frac{U_d}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2}} \quad (3.21)$$

Ví dụ 3.2: Mạch điện 3 pha tải nối hình sao đối xứng, trở kháng và điện kháng của mỗi pha lần lượt là $R = 3 \Omega$, $X = 4 \Omega$, được nối với nguồn điện xoay chiều 3 pha có $U_d = 380 V$. Bỏ qua tổng trở đường dây đến tải.

a) Hãy tính I_p , I_d , ϕ , $P_{3\text{pha}}$, $Q_{3\text{pha}}$, $S_{3\text{pha}}$.

b) Biết biểu thức điện áp hai đầu pha A là: $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ(V)$. Viết biểu thức dòng điện qua mỗi pha.

Giải:

a) Điện áp pha:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \approx 220(V)$$

Tổng trở mỗi pha:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5(\Omega)$$

Dòng điện trên mỗi pha:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{220}{5} = 44(A) \Rightarrow I_d = 44(A)$$

Công suất 3 pha:

$$P_{3\text{pha}} = 3.R.I_p^2 = 3.3.44^2 = 17424(W)$$

$$Q_{3\text{pha}} = 3.X_p.I_p^2 = 3.4.44^2 = 23232(VAr)$$

$$S_{3p} = 3.U_p.I_p = 3.220.44 = 29040(VA)$$

b) Theo bài ra $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ(V)$

Suy ra: $\dot{U}_B = 220\angle -120^\circ(V); \dot{U}_C = 220\angle 120^\circ(V)$

Tổng trở phức mỗi pha:

$$\dot{Z}_p = 3 + j4(\Omega)$$

Khi đó:

$$\dot{I}_{pA} = \frac{\dot{U}_{pA}}{\dot{Z}_p} = \frac{220\angle 0^\circ}{3 + j4} = 44\angle -53^\circ(A)$$

$$\dot{I}_{pB} = \frac{\dot{U}_{pB}}{Z_p} = \frac{220\angle -120^\circ}{3 + j4} = 44\angle -173^\circ (A)$$

$$\dot{I}_{pC} = \frac{\dot{U}_{pC}}{Z_p} = \frac{220\angle 120^\circ}{3 + j4} = 44\angle 67^\circ (A)$$

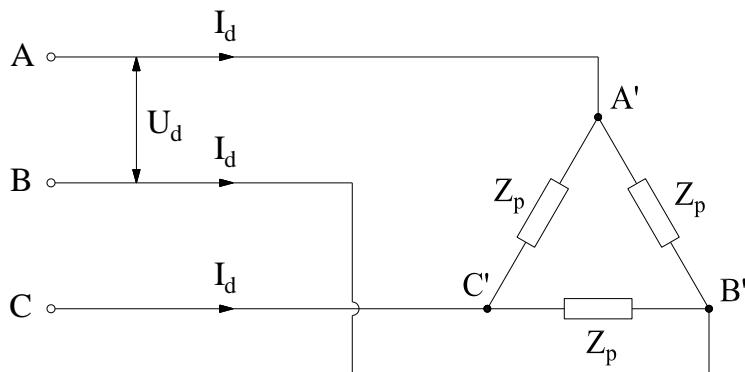
3.4.2. Phân tích mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng

a) Khi bỏ qua tổng trở đường dây

Giả sử có mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng như Hình 3.8 với $Z_{pA} = Z_{pB} = Z_{pC} = Z_p = R_p + jX_p$. Khi bỏ qua tổng trở đường dây, việc phân tích mạch trong 1 pha hoàn toàn tương tự như mạch điện 3 pha tải nối hình sao đối xứng. Chỉ cần lưu ý thêm rằng, trong mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng, điện áp và dòng điện trên dây và pha có quan hệ:

$$U_d = U_p \quad (3.22)$$

$$I_d = \sqrt{3} \cdot I_p \quad (3.23)$$



Hình 3.8. Mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng

Khi đó: $Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$ (3.24)

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (3.25)$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_p}{R_p} \quad (3.26)$$

$$\dot{I}_{pA} = \frac{\dot{U}_{pA}}{\dot{Z}_{pA}}; \dot{I}_{pB} = \frac{\dot{U}_{pB}}{\dot{Z}_{pB}}; \dot{I}_{pC} = \frac{\dot{U}_{pC}}{\dot{Z}_{pC}} \quad (3.27)$$

Ví dụ 3.3: Mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng như Hình 3.8, trở kháng và điện kháng của mỗi pha lần lượt là $R = 6 \Omega$, $X = 8 \Omega$, được nối với nguồn điện xoay chiều 3 pha có $U_d = 220 V$. Bỏ qua tổng trở đường dây đến tải.

a) Hãy tính I_p , I_d , $P_{3\text{pha}}$, $Q_{3\text{pha}}$, $S_{3\text{pha}}$.

b) Biết biểu thức điện áp hai đầu pha AB là: $\dot{U}_{AB} = 220\angle 0^\circ (V)$.

Viết biểu thức dòng điện qua mỗi pha.

Giải:

a) Tải nối hình tam giác nên điện áp trên mỗi pha:

$$U_p = U_d = 220 V$$

$$\text{Tổng trở mỗi pha: } Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 (\Omega)$$

$$\text{Đòng điện trên mỗi pha: } I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{220}{10} = 22 (A)$$

$$\text{Đòng điện trên dây: } I_d = \sqrt{3}I_p = \sqrt{3} \cdot 22 = 38,1 (A)$$

Công suất 3 pha:

$$P_{3\text{pha}} = 3 \cdot R \cdot I_p^2 = 3 \cdot 6 \cdot 22^2 = 8712 (W)$$

$$Q_{3\text{pha}} = 3 \cdot X_p \cdot I_p^2 = 3 \cdot 8 \cdot 22^2 = 11616 (VAr)$$

$$S_{3p} = 3 \cdot U_p \cdot I_p = 3 \cdot 220 \cdot 22 = 14520 (VA)$$

b) Theo bài ra $\dot{U}_{AB} = 220\angle 0^\circ (V)$

Suy ra điện áp trên các pha tải:

$$\dot{U}_{A'B'} = 220\angle 0^\circ (V); \dot{U}_{B'C'} = 220\angle -120^\circ (V); \dot{U}_{C'A'} = 220\angle 120^\circ (V)$$

Tổng trở phức mỗi pha:

$$\dot{Z}_p = 6 + j8(\Omega)$$

Khi đó:

$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_{A'B'}}{\dot{Z}_p} = \frac{220\angle 0^\circ}{6 + j8} = 22\angle -53^\circ (A)$$

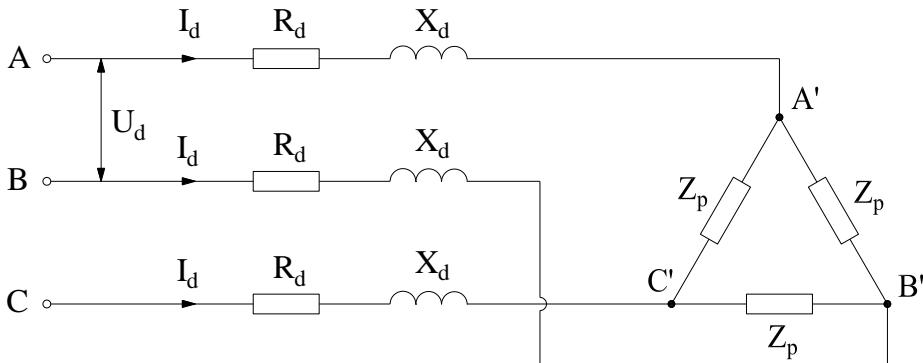
$$\dot{I}_{B'C'} = \frac{\dot{U}_{B'C'}}{\dot{Z}_p} = \frac{220\angle -120^\circ}{6 + j8} = 22\angle -173^\circ (A)$$

$$\dot{I}_{C'A'} = \frac{\dot{U}_{C'A'}}{\dot{Z}_p} = \frac{220\angle 120^\circ}{6 + j8} = 22\angle 67^\circ (A)$$

Lưu ý rằng từ những kết quả trên chúng ta hoàn toàn có thể vẽ giản đồ vector biểu diễn các điện áp pha và dòng điện pha khi bài toán yêu cầu.

b) Khi tính đến tổng trở đường dây

Giả sử có mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng và đường dây có tổng trở, đặc trưng bởi trở kháng R_d , điện kháng X_d (Hình 3.9).



Hình 3.9. Sơ đồ tải 3 pha nối hình tam giác và xét đến tổng trở đường dây

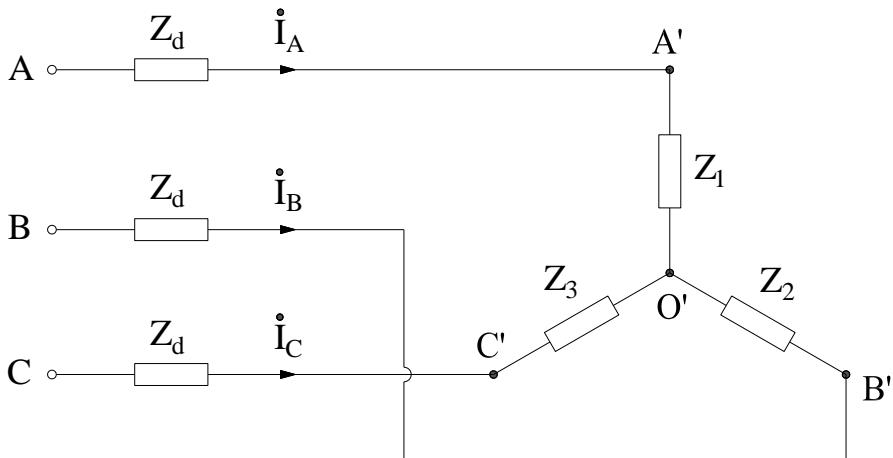
Để giải bài toán trong trường hợp này ta biến đổi tương đương tải nối hình tam giác thành hình sao:

$$\dot{Z}_Y = \dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3 = \frac{\dot{Z}_\Delta}{3} = \frac{R_p}{3} + j \frac{X_p}{3} \quad (3.28)$$

và được sơ đồ mới như trên Hình 3.10.

Khi đó, tổng trở các pha mới là:

$$\dot{Z}'_p = \dot{Z}'_1 = \dot{Z}'_2 = \dot{Z}'_3 = \dot{Z}_Y + \dot{Z}_d \quad (3.29)$$



Hình 3.10. Sơ đồ mạch sau khi biến đổi
tương đương tải nối hình tam giác thành hình sao

Dòng điện pha của tải:

$$I_p = I_A = I_B = I_C = \frac{U_{AO'}}{Z'_p} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}Z'_p} \quad (3.30)$$

Hoặc

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AO'}}{\dot{Z}'_p}; \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{BO'}}{\dot{Z}'_p}; \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{CO'}}{\dot{Z}'_p} \quad (3.31)$$

trong đó:

$$\dot{Z}'_p = (R_d + \frac{R_p}{3}) + j(X_d + \frac{X_p}{3}) \quad (3.32)$$

3.5. Phân tích mạch điện 3 pha không đối xứng

Mạch điện 3 pha không đối xứng là mạch 3 pha mà tải không thỏa mãn điều kiện $\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C$, tức là tổng trở ở một pha nào đó không giống hai pha còn lại. Khi đó dòng điện và điện áp trên các pha tải sẽ không đối xứng:

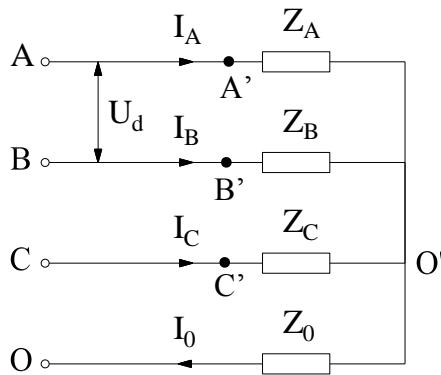
$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \neq 0 \quad (3.33)$$

Do vậy ta xem mạch điện 3 pha không đối xứng như một mạch phức tạp. Việc phân tích mạch này sẽ được xem xét trong từng trường hợp cụ thể.

3.5.1. Phân tích mạch điện 3 pha tải nối hình sao không đối xứng

a) Trường hợp tổng trở đường dây pha không đáng kể và dây trung tính có tổng trở Z_0

Giả sử có mạch 3 pha không đối xứng tải nối hình sao như Hình 3.11. Tổng trở đường dây pha không đáng kể và dây trung tính có tổng trở Z_0 . Các điểm đầu pha tải A' , B' , C' coi như trùng với ba điểm đầu pha nguồn A , B , C . Trường hợp này, toàn mạch bao gồm nguồn 3 pha nối hình sao và tải không đối xứng nối hình sao như một mạch điện có hai nút O , O' .



Hình 3.11. Mạch điện 3 pha tải nối hình sao không đối xứng

Sử dụng phương pháp điện áp hai nút:

$$\begin{aligned} U_{O'O} &= \frac{\dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_O} \\ &= \frac{\dot{U}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_O} \end{aligned} \quad (3.34)$$

Trong đó:

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{Z_A}, \dot{Y}_B = \frac{1}{Z_B}, \dot{Y}_C = \frac{1}{Z_C}, \dot{Y}_O = \frac{1}{Z_0} \quad (3.35)$$

lần lượt là tổng dẫn của các đoạn $OAA'O'$, $OBB'O'$, $OCC'O'$ và OO' .

Nguồn đối xứng gồm các sức điện động $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ lần lượt bằng điện áp của các đầu pha A, B, C so với điểm trung tính O và có biểu thức:

$$\dot{U}_A = U_p \cdot e^{j0^\circ}, \dot{U}_B = U_p \cdot e^{-j120^\circ}, \dot{U}_C = U_p \cdot e^{j120^\circ}$$

Suy ra điện áp trên mỗi pha tính từ điểm đầu pha nguồn đến điểm O' sẽ là:

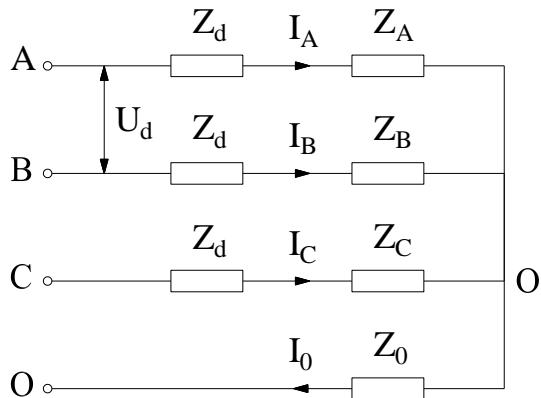
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{AO'} = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}'_A \Rightarrow \dot{I}_A = \frac{\dot{U}'_A}{\dot{Z}_A} \\ \dot{U}_{BO'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}'_B \Rightarrow \dot{I}_B = \frac{\dot{U}'_B}{\dot{Z}_B} \\ \dot{U}_{CO'} = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}'_C \Rightarrow \dot{I}_C = \frac{\dot{U}'_C}{\dot{Z}_C} \end{array} \right. \quad (3.36)$$

Dòng điện trên dây trung tính:

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_{O'O}}{\dot{Z}_0} \quad (3.37)$$

b) Trường hợp tính đến tổng trở đường dây pha và dây trung tính

Trong trường hợp này mạch có tổng trở đường dây pha và dây trung tính được thể hiện trên Hình 3.12:



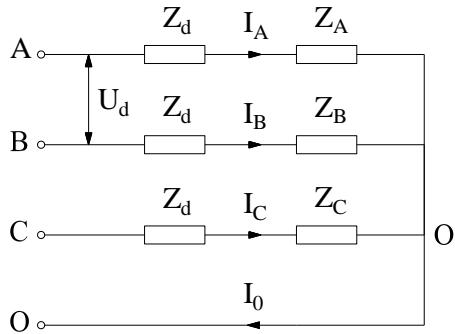
Hình 3.12. Mạch 3 pha tải hình sao không đối xứng
khi tính đến tổng trở đường dây

Tính toán tương tự trường hợp không xét đến tổng trở đường dây nhưng các biểu thức tính tổng dẫn của các đoạn OAA'O', OBB'O', OCC'O' cần bổ sung thêm tổng trở đường dây pha:

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_d}, \dot{Y}_B = \frac{1}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_d}, \dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{Z}_C + \dot{Z}_d} \quad (3.38)$$

c) Trường hợp tính đến tổng trở đường dây pha và dây trung tính có tổng trở không đáng kể

Trường hợp này có thể coi điểm trung tính O' trùng với O và điện áp trên các pha tải kèm dây dẫn bằng điện áp pha tương ứng của nguồn. Nhờ có dây trung tính mà điện áp pha trên tải vẫn đối xứng.



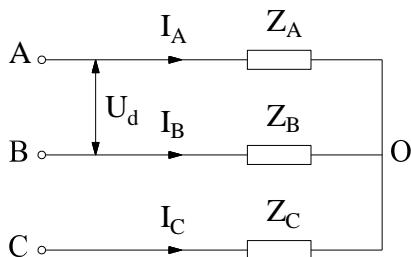
Hình 3.13. Mạch 3 pha nối hình sao khi dây trung tính có tổng trở bằng 0

Điện áp giữa hai điểm O' và O là $\dot{U}_{O'O} = 0$. Khi đó, dòng điện trên các pha:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}_A \Rightarrow \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A} \\ \dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}_B \Rightarrow \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} \\ \dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}_C \Rightarrow \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} \end{array} \right. \quad (3.39)$$

d) Trường hợp dây trung tính bị đứt hoặc không có dây trung tính

Trong trường hợp này chúng ta có thể coi $Z_O = \infty, Y_O = 0$.



Hình 3.14. Mạch 3 pha tải nối hình sao bị đứt hoặc không có dây trung tính

Khi đó biểu thức tính điện áp giữa hai điểm O' và O sẽ không có mặt tổng dẫn dây trung tính:

$$\begin{aligned} U_{O'O} &= \frac{\dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} \\ &= \frac{\dot{U}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} \end{aligned} \quad (3.40)$$

Suy ra điện áp và dòng điện trên các pha:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{AO'} = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}'_A \Rightarrow \dot{I}_A = \frac{\dot{U}'_A}{\dot{Z}_A} \\ \dot{U}_{BO'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}'_B \Rightarrow \dot{I}_B = \frac{\dot{U}'_B}{\dot{Z}_B} \\ \dot{U}_{CO'} = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = \dot{U}'_C \Rightarrow \dot{I}_C = \frac{\dot{U}'_C}{\dot{Z}_C} \end{array} \right. \quad (3.41)$$

Ví dụ 3.4: Mạch điện 3 pha 4 dây có tải các pha là $\dot{Z}_A = (4 + j3)\Omega$; $\dot{Z}_B = 5\Omega$; $\dot{Z}_C = (4 - j3)\Omega$. Biểu thức điện áp hai đầu pha A là $\dot{U}_A = 120\angle 0^\circ V$.

- a) Viết biểu thức dòng điện qua mỗi pha và qua dây trung hòa.
- b) Tính công suất tác dụng và công suất biểu kiến trong toàn mạch.
- c) Giả sử mạch bị đứt dây trung tính. Tính dòng điện qua mỗi pha khi đó.

Giải:

- a) Biểu thức dòng điện qua mỗi pha và dây trung hòa:

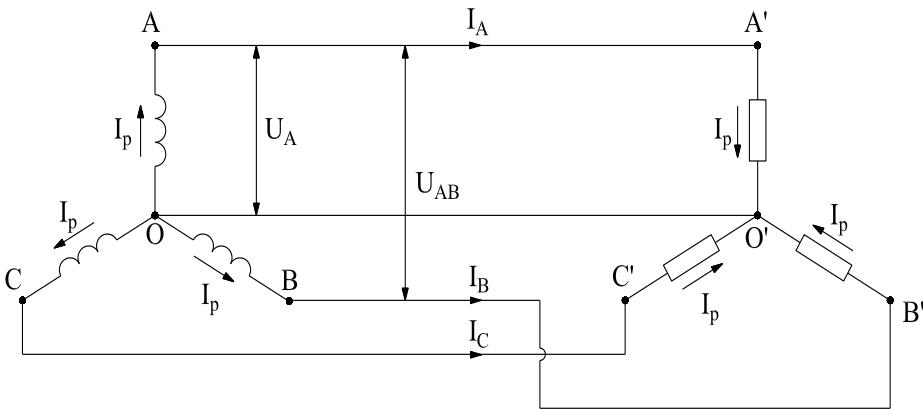
Trên Hình 3.15 các điện áp và dòng điện có biểu thức như sau:

$$\dot{U}_A = 120\angle 0^\circ V; \quad \dot{U}_B = 120\angle -120^\circ V; \quad \dot{U}_C = 120\angle 120^\circ V$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\dot{Z}_A} = \frac{120\angle 0^\circ}{4+j3} = 24\angle -36,9^\circ A$$

hay: $\dot{I}_A = 19,2 - j14,4 A$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\dot{Z}_B} = \frac{120\angle -120^\circ}{5} = 24\angle -120^\circ A$$



Hình 3.15. Mạch điện 3 pha 4 dây không đối xứng

hay: $\dot{I}_B = -12 - j20,79 \text{ (A)}$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{120 \angle 120^\circ}{4 - j3} = 24 \angle 156,9^\circ \text{ (A)}$$

hay: $\dot{I}_C = -22,07 + j9,43 \text{ (A)}$

$$\begin{aligned}\dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_C + \dot{I}_C = 24 \angle -36,9^\circ + 24 \angle -120^\circ + 24 \angle 156,9^\circ \\ &= 29,77 \angle -120^\circ \text{ (A)}\end{aligned}$$

hay $\dot{I}_0 = -14,88 - j25,78 \text{ (A)}$

b) Công suất trong toàn mạch:

Công suất tác dụng của toàn mạch:

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C$$

$$P = (24)^2 \cdot 4 + (24)^2 \cdot 5 + (24)^2 \cdot 4 = 7488 \text{ (W)}$$

Công suất phản kháng của toàn mạch:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 X_A + I_B^2 X_B + I_C^2 X_C$$

$$Q = (24)^2 \cdot 3 + (24)^2 \cdot 0 + (24)^2 \cdot (-3) = 0 \text{ (VAr)}$$

Công suất biểu kiến toàn mạch:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{7488^2 + 0^2} = 7488 \text{ (VA)}$$

c) Dòng điện qua mỗi pha khi bị đứt dây trung hòa:

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A} = \frac{1}{4+j3} = 0,2 \angle -36,87^0 \text{ (S)};$$

$$\dot{Y}_B = \frac{1}{\dot{Z}_B} = \frac{1}{5 \angle 0^0} = 0,2 \angle 0^0 \text{ (S)};$$

$$\dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{Z}_C} = \frac{1}{4-j3} = 0,2 \angle 36,87^0 \text{ (S)};$$

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C}$$

$$= \frac{(120 \angle 0^0) \cdot (0,2 \angle -36,87^0) + (120 \angle -120^0) \cdot (0,2 \angle 0^0) + (120 \angle 120^0) \cdot (0,2 \angle 36,87^0)}{(0,2 \angle -36,87^0) + (0,2 \angle 0^0) + (0,2 \angle 36,87^0)}$$

$$\Rightarrow \dot{U}_{O'O} = -28,6 - j49,53 = 57,2 \angle -120^0 \text{ (V)}$$

Điện áp trên các pha tải:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O} = 120 \angle 0^0 - 57,2 \angle -120^0 = 148,6 + j49,54 \\ = 156,64 \angle 18,44^0 \text{ (V)}$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = 120 \angle -120^0 - 57,2 \angle -120^0 = -31,4 - j54,39 \\ = 62,8 \angle -120^0 \text{ (V)}$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = 120 \angle 120^0 - 57,2 \angle -120^0 = -31,4 + j153,46 \\ = 156,64 \angle 101,56^0 \text{ (V)}$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\dot{Z}_A} = \dot{U}_A \cdot \dot{Y}_A = \frac{156,64 \angle 18,44^0}{4+j3} = 29,72 - j9,9 \\ = 31,33 \angle -18,43^0 \text{ (A)}$$

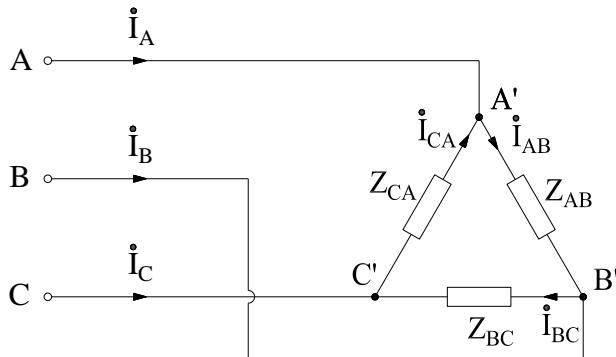
$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\dot{Z}_B} = \dot{U}_B \cdot \dot{Y}_B = \frac{62,8 \angle -120^0}{5} = -6,28 - j10,88 \\ = 12,56 \angle -120^0 \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\dot{Z}_C} = \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_C = \frac{156,64 \angle 101,56^0}{4-j3} = -23,44 + j20,78 \\ = 31,33 \angle 138,43^0 \text{ (A)}$$

3.5.2. Phân tích mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác không đối xứng

a) Trường hợp tổng trở đường dây không đáng kể

Giả sử có mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác không đối xứng với các tổng trở ở các pha không giống nhau như Hình 3.16:



Hình 3.16. Mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác không đối xứng

Khi đó điện áp đặt lên các pha của tải là điện áp nguồn và các dòng điện pha được xác định như sau:

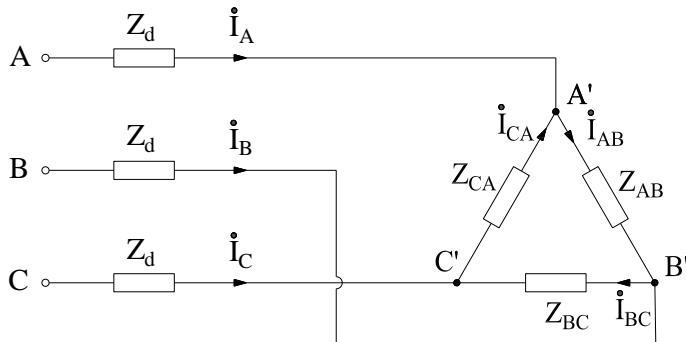
$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}}; \quad \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}} \quad (3.42)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 để tìm các dòng điện theo các biểu thức sau:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \quad (3.43)$$

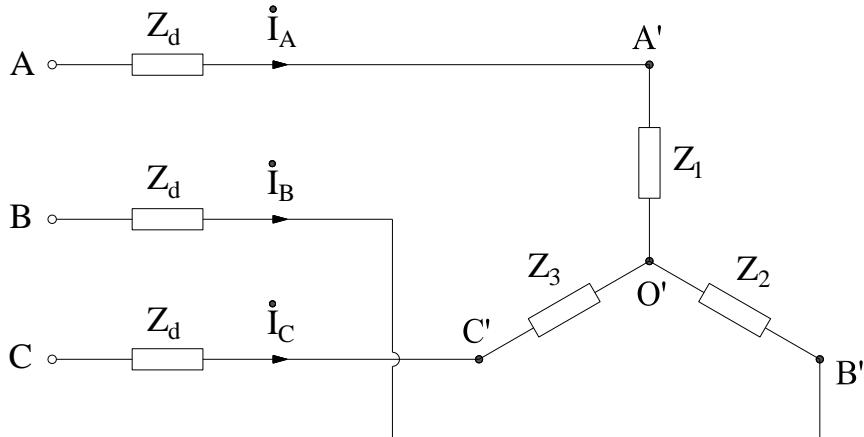
b) Trường hợp tính đến tổng trở đường dây

Giả sử có mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác không đối xứng và tổng trở đường dây là đáng kể như Hình 3.17.



Hình 3.17. Mạch 3 pha tải nối hình tam giác không đối xứng tính đến tổng trở đường dây

Trong trường hợp này, để giải bài toán ta cần biến đổi tương đương tải nối hình tam giác thành hình sao:



Hình 3.18. Biến đổi tương đương tải nối hình tam giác thành hình sao

Khi đó, tổng trở tương đương các pha tải:

$$\begin{aligned}\dot{Z}_1 &= \frac{\dot{Z}_{AB} \dot{Z}_{CA}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{CA}}; \\ \dot{Z}_2 &= \frac{\dot{Z}_{AB} \dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{CA}}; \\ \dot{Z}_3 &= \frac{\dot{Z}_{BC} \dot{Z}_{CA}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{CA}}\end{aligned}\quad (3.44)$$

Suy ra tổng trở các pha:

$$\begin{cases} \dot{Z}_1 = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_d \\ \dot{Z}_2 = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_d \\ \dot{Z}_3 = \dot{Z}_3 + \dot{Z}_d \end{cases} \quad (3.45)$$

Sau khi biến đổi tương đương tải nối hình tam giác thành nối hình sao thì mạch điện cả nguồn và tải như một mạch có hai nút. Áp dụng công thức điện áp hai nút ta suy ra điện áp giữa điểm trung tính nguồn và tải:

$$\dot{U}_{O'0} = \frac{\dot{U}_A \dot{Y}_1 + \dot{U}_B \dot{Y}_2 + \dot{U}_C \dot{Y}_3}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3} \quad (3.46)$$

Dòng điện trên các pha:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_{AO'}}{\dot{Z}_1} = \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_{O'0}}{\dot{Z}_1} \\ \dot{I}_B &= \frac{\dot{U}_{BO'}}{\dot{Z}_2} = \frac{\dot{U}_B - \dot{U}_{O'0}}{\dot{Z}_2} \\ \dot{I}_C &= \frac{\dot{U}_{CO'}}{\dot{Z}_3} = \frac{\dot{U}_C - \dot{U}_{O'0}}{\dot{Z}_3} \end{aligned} \quad (3.47)$$

Ví dụ 3.5: Nguồn điện 3 pha có điện áp hiệu dụng 200V đầu vào mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác với tổng trở các pha lần lượt là $\dot{Z}_{AB} = (10 + j5)\Omega$, $\dot{Z}_{BC} = 5\Omega$, $\dot{Z}_{CA} = (10 - j5)\Omega$. Chọn pha ban đầu của điện áp trên tải AB bằng không.

- a) Bỏ qua tổng trở các đường dây. Xác định cường độ dòng điện qua các pha và các dây.
- b) Tính công suất tác dụng và công suất biểu kiến của toàn mạch.
- c) Tính dòng điện qua dây B khi tổng trở đường dây là 2Ω và nguồn 3 pha nối hình sao.

Giải:

- a) Bỏ qua tổng trở đường dây:

Khi tổng trở các dây bằng 0, điện áp pha nguồn cũng chính là điện áp pha tải và $U_d = U_p$. Chọn pha ban đầu của điện áp trên tải AB bằng 0, ta có:

$$\dot{U}_{AB} = 200 \angle 0^\circ (V); \quad \dot{U}_{BC} = 200 \angle -120^\circ (V); \quad \dot{U}_{CA} = 200 \angle 120^\circ (V)$$

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}} = \frac{200 \angle 0^\circ}{10 + j5} = 16 - j8 = 17,89 \angle -26,6^\circ (A)$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{Z}_{BC}} = \frac{200 \angle -120^\circ}{5} = 40 \angle -120^\circ = -20 - j34,64 (A)$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\dot{Z}_{CA}} = \frac{200 \angle 120^\circ}{10 - j5} = 17,89 \angle 146,6^\circ = -14,93 + j9,86 (A)$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,89 \angle -26,6^\circ - 17,89 \angle 146,6^\circ = 35,72 \angle -30^\circ (A) \\ &= 30,93 - j17,86 (A)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 40 \angle -120^\circ - 17,89 \angle -26,6^\circ = 44,78 \angle -143,5^\circ (A) \\ &= -36 - j26,63 (A)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17,89 \angle 146,6^\circ - 40 \angle -120^\circ = 44,78 \angle 83,5^\circ (A) \\ &= 5,06 + j44,49 (A)\end{aligned}$$

b) Tính công suất toàn mạch khi bỏ qua tổng trở đường dây:

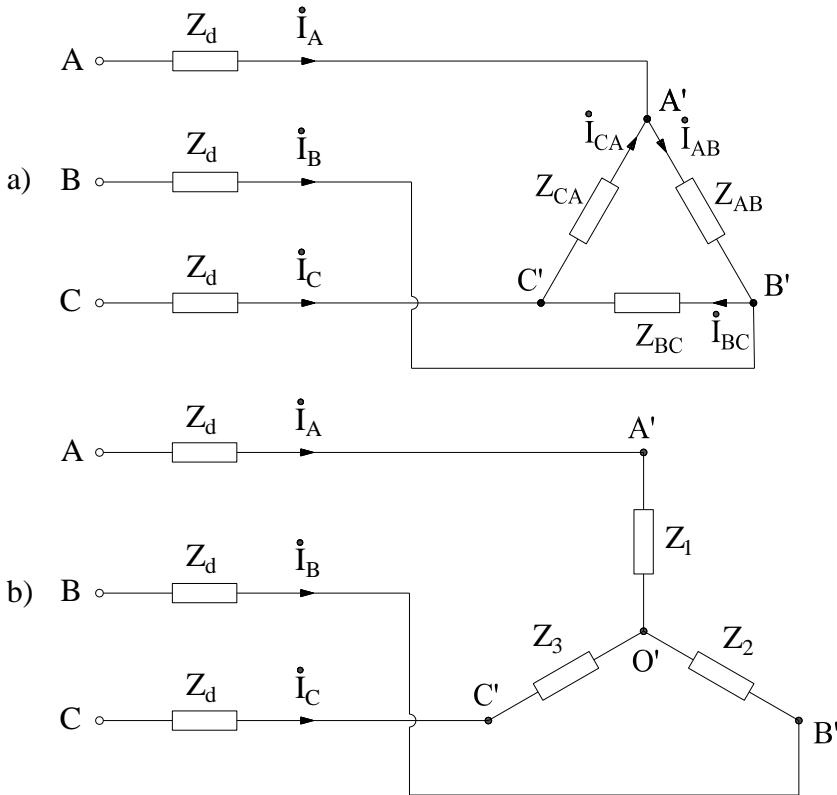
$$\begin{aligned}P &= P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 R_{AB} + I_{BC}^2 R_{BC} + I_{CA}^2 R_{CA} \\ \Rightarrow P &= (17,89)^2 \cdot 10 + (40)^2 \cdot 5 + (17,89)^2 \cdot 10 = 14401 (W)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 X_{AB} + I_{BC}^2 X_{BC} + I_{CA}^2 X_{CA} \\ \Rightarrow Q &= (17,89)^2 \cdot 5 + (40)^2 \cdot 0 + (17,89)^2 \cdot (-5) = 0 (\text{Var})\end{aligned}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14401^2 + 0^2} = 14401 (\text{VA})$$

c) Khi tổng trở đường dây là 2Ω :

Để giải bài toán trong trường hợp này ta biến đổi tương đương tải nối hình tam giác thành hình sao như Hình 3.19.



Hình 3.19. Mạch 3 pha biến đổi tương đương từ nối hình tam giác (a)
thành nối hình sao (b)

Trong đó các tổng trở trên tải sau khi biến đổi tương đương sẽ là:

$$\dot{Z}_1 = \frac{\dot{Z}_{AB} \dot{Z}_{CA}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{CA}} = \frac{(10 + j5)(10 - j5)}{10 + j5 + 5 + 10 - j5} = 5(\Omega)$$

$$\dot{Z}_2 = \frac{\dot{Z}_{AB} \dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{CA}} = \frac{(10 + j5).5}{10 + j5 + 5 + 10 - j5} = 2 + j(\Omega)$$

$$\dot{Z}_3 = \frac{\dot{Z}_{BC} \dot{Z}_{CA}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{CA}} = \frac{5.(10 - j5)}{10 + j5 + 5 + 10 - j5} = 2 - j(\Omega)$$

Tổng trở các pha:

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_d = 5 + 2 = 7(\Omega)$$

$$\dot{Z}_2 = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_d = 2 + j + 2 = 4 + j(\Omega)$$

$$\dot{Z}_3 = \dot{Z}_3 + \dot{Z}_d = 2 - j + 2 = 4 - j(\Omega)$$

Theo đề bài, $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 220$ V. Vì nguồn 3 pha nối hình sao nên:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \Rightarrow U_A = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} (\text{V})$$

Mặt khác, \dot{U}_{AB} sớm pha hơn \dot{U}_A một góc 30° và $\dot{U}_{AB} = 200\angle 0^\circ$ (V) nên ta suy ra biểu thức của điện áp pha \dot{U}_A trên nguồn nối hình sao:

$$\dot{U}_A = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle (0^\circ - 30^\circ) = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ (\text{V})$$

Tương tự:

$$\dot{U}_B = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle (-120^\circ - 30^\circ) = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle -150^\circ (\text{V})$$

$$\dot{U}_C = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle (120^\circ - 30^\circ) = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle 90^\circ (\text{V})$$

Sử dụng công thức điện áp hai nút:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{O'O} &= \frac{\dot{U}_A \cdot \dot{Y}_1 + \dot{U}_B \cdot \dot{Y}_2 + \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_3}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3} \\ &= \frac{\left(\frac{200}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ\right) \cdot \frac{1}{7} + \left(\frac{200}{\sqrt{3}} \angle -150^\circ\right) \cdot \frac{1}{4+j} + \left(\frac{200}{\sqrt{3}} \angle 90^\circ\right) \cdot \frac{1}{4-j}}{\frac{1}{7} + \frac{1}{4+j} + \frac{1}{4-j}} \\ &= 36,58 \angle 150^\circ = -31,68 + j18,29 (\text{V}) \end{aligned}$$

Điện áp trên pha B:

$$\begin{aligned} \dot{U}'_B &= \dot{U}_{BO'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = \frac{200}{\sqrt{3}} \angle -150^\circ - 36,58 \angle 150^\circ \\ &= -68,32 - j76,03 = 102,21 \angle -132^\circ (\text{V}) \end{aligned}$$

Suy ra dòng điện qua dây B:

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}'_B}{Z_2} = \frac{102,21 \angle -132^\circ}{4+j} = -20,56 - j13,85 = 24,79 \angle -146^\circ (\text{A})$$

Tóm tắt nội dung chương 3

1. Dòng điện xoay chiều 3 pha là hệ thống ba dòng điện xoay chiều 1 pha được nối với nhau thành một hệ thống năng lượng điện từ chung. Dòng điện xoay chiều 3 pha được tạo ra bởi nguồn điện 3 pha, trong đó sức điện động ở mỗi pha đều có dạng hình sin, cùng tần số, lệch nhau một phần ba chu kỳ.

2. Các thông số đặc trưng của mạch điện 3 pha: Điện áp dây U_d , điện áp pha U_p , dòng điện dây I_d , dòng điện pha I_p .

3. Sơ đồ đấu dây trong mạng 3 pha có thể dạng hình sao hoặc hình tam giác.

4. Mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp trong mạch điện 3 pha tải đấu hình sao:

$$\begin{cases} U_d = \sqrt{3}U_p \\ I_d = I_p; \dot{I}_d = \dot{I}_p \end{cases}$$

5. Mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp trong mạch điện 3 pha tải đấu hình tam giác:

$$\begin{cases} U_d = U_p; \dot{U}_d = \dot{U}_p \\ I_d = \sqrt{3}I_p \end{cases}$$

6. Công suất mạch điện 3 pha:

$$\begin{cases} P = P_A + P_B + P_C = U_A I_{pA} \cos \varphi_A + U_B I_{pB} \cos \varphi_B + U_C I_{pC} \cos \varphi_C \\ Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_{pA} \sin \varphi_A + U_B I_{pB} \sin \varphi_B + U_C I_{pC} \sin \varphi_C \\ S = \sqrt{P^2 + Q^2} \end{cases}$$

Khi 3 pha đối xứng:

$$\begin{cases} P = 3U_p I_p \cos \varphi = 3R_p I_p^2 = \sqrt{3}U_d I_d \cos \varphi \\ Q = 3U_p I_p \sin \varphi = 3X_p I_p^2 = \sqrt{3}I_d U_d \sin \varphi \\ S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_p I_p = \sqrt{3}U_d I_d \end{cases}$$

7. Tính toán mạch điện 3 pha đối xứng bằng phương pháp tách 1 pha ra để giải sau đó tổng hợp kết quả cho 3 pha.

8. Tính toán mạch điện 3 pha không đối xứng cần xét các trường hợp: tải nối hình sao, tải nối hình tam giác, đường dây có tổng trở và đường dây không có tổng trở. Khi tính toán mạch điện 3 pha không đối xứng có thể cần sử dụng phương pháp điện áp hai nút và kết hợp với biến đổi tương đương tải hình tam giác sang hình sao.

Câu hỏi và bài tập chương 3

3.1. Giải thích những ưu điểm, nhược điểm của mạch điện 3 pha so với mạch điện 1 pha.

3.2. Trình bày các khái niệm điện áp pha, điện áp dây; dòng điện pha, dòng điện dây và quan hệ của chúng khi nối hình sao và nối hình tam giác.

3.3. Trình bày các đặc điểm của mạch điện 3 pha đối xứng.

3.4. Một mạch 3 pha đối xứng nối hình tam giác phải thỏa mãn các điều kiện gì về nguồn và tải, cho một số ví dụ.

3.5. Một mạch 3 pha đối xứng nối hình sao phải thỏa mãn các điều kiện gì về nguồn và tải, cho một số ví dụ.

3.6. Chứng minh rằng đối với một mạch 3 pha đối xứng nối hình sao thì dây trung tính không ảnh hưởng đến sự phân bố dòng điện trong các nhánh.

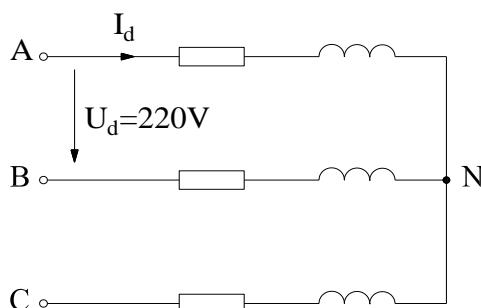
3.7. Trình bày những đặc điểm của mạch 3 pha không đối xứng, cho một ví dụ.

3.8. Hãy trình bày vai trò của dây trung tính trong mạch điện 3 pha tải không đối xứng.

3.9. Viết các biểu thức tính công suất P, Q, S trong mạch điện 3 pha tải đối xứng và cho biết ý nghĩa của các công suất này.

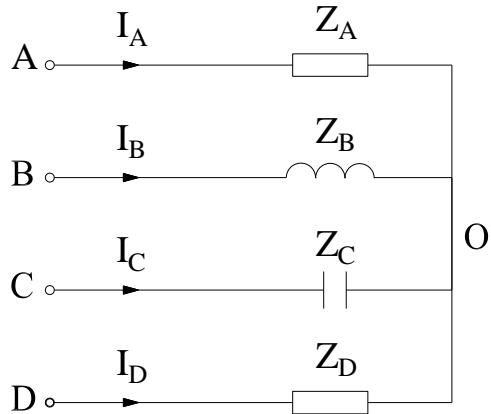
3.10. Phân biệt các biểu thức tính công suất P, Q, S trong mạch điện 3 pha tải không đối xứng.

3.11. Cho mạch điện 3 pha đối xứng có $U_d = 220 \text{ V}$, tải 3 pha đối xứng nối Y có $\dot{Z} = (6 + j8) \Omega$ như Hình 3.20. Biết điện áp nguồn U_A có pha bằng không. Hãy viết biểu thức dòng điện qua các pha tải.



Hình 3.20

3.12. Cho mạch điện 3 pha nguồn đối xứng có $U_d = 220V$ như Hình 3.21. Biết tổng trở trên các pha tải và dây trung tính $\dot{Z}_A = 2\Omega$, $\dot{Z}_B = j2\Omega$, $\dot{Z}_C = -j2\Omega$, $\dot{Z}_D = 2\Omega$. Tính giá trị dòng điện I_A .



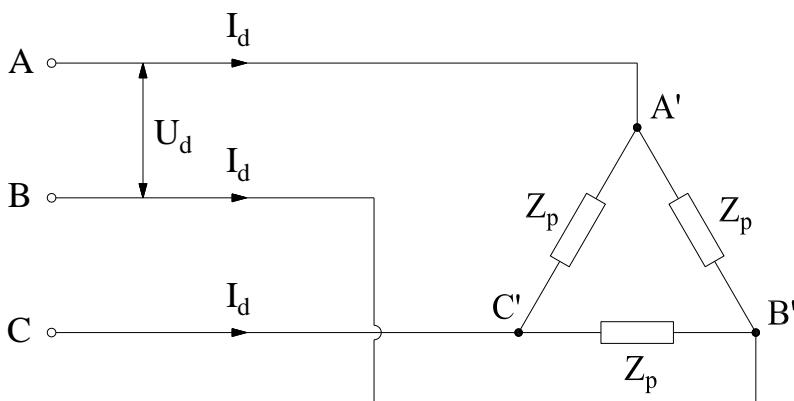
Hình 3.21

3.13. Cho mạch điện 3 pha tải nối hình tam giác đối xứng như Hình 3.22. Tổng trở các pha là $R = 3 \Omega$, $X = 4 \Omega$, được nối với nguồn điện xoay chiều 3 pha có $U_d = 220 V$. Bỏ qua tổng trở đường dây đến tải.

a) Hãy tính I_p , I_d , $P_{3\text{pha}}$, $Q_{3\text{pha}}$, $S_{3\text{pha}}$.

b) Biết biểu thức điện áp hai đầu pha AB là: $\dot{U}_{AB} = 220\angle 0^\circ(V)$.

Viết biểu thức dòng điện qua mỗi pha và biểu diễn chúng cùng với các điện áp pha trên cùng một giản đồ vector.

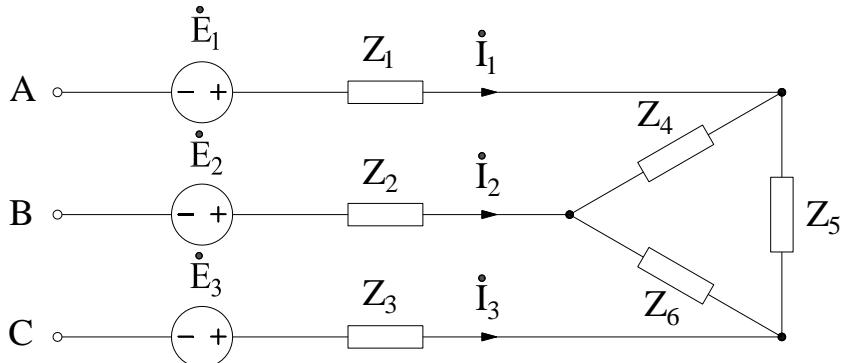


Hình 3.22

3.14. Cho mạch điện như Hình 3.23. Biết:

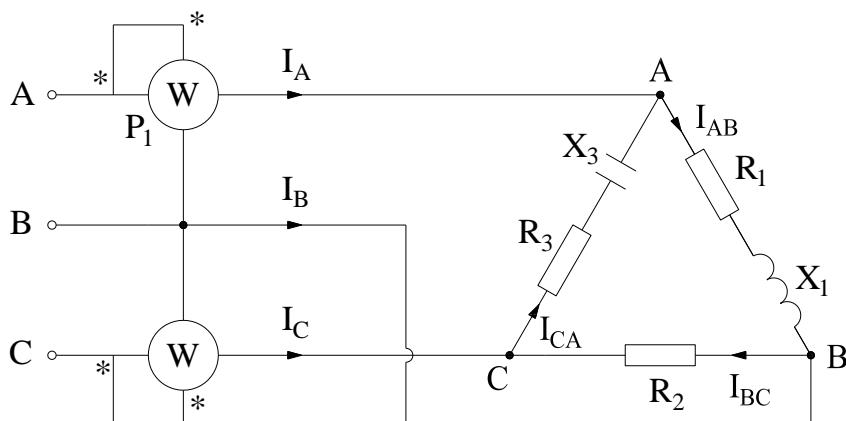
$$\begin{aligned}\dot{Z}_1 &= \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3 = (1+j2)\Omega; \quad \dot{Z}_4 = \dot{Z}_5 = (12+j9)\Omega; \\ \dot{E}_1 &= 120\angle 0^\circ V; \quad \dot{E}_2 = 120\angle -120^\circ V; \quad \dot{E}_3 = 120\angle 120^\circ V\end{aligned}$$

Hãy viết biểu thức dòng điện \dot{I}_1 .



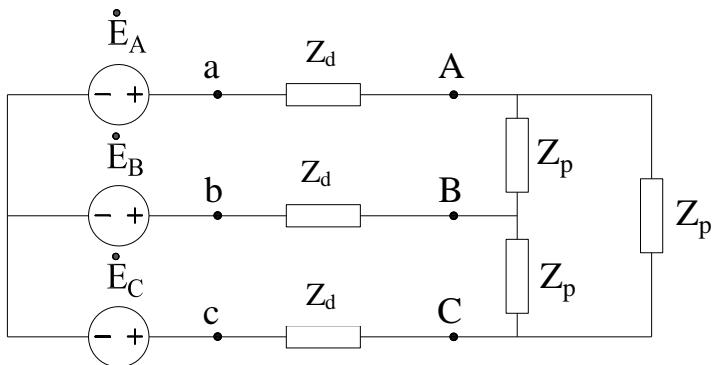
Hình 3.23

3.15*. Cho mạch điện 3 pha nối hình tam giác như Hình 3.24. Biết $R_1 = 4 \Omega$, $X_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $X_3 = 4 \Omega$, $U_d = 220$ V. Hãy tìm số chỉ của Watt-kế P_1 .



Hình 3.24

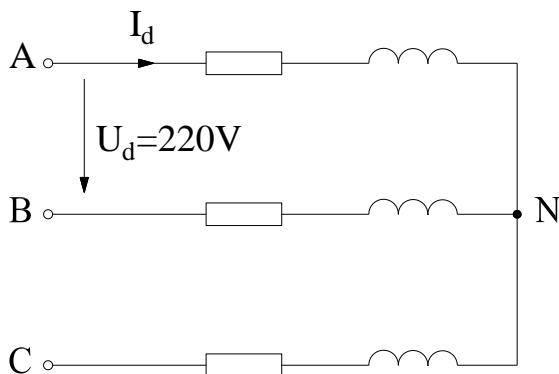
3.16. Cho mạch điện 3 pha đối xứng như Hình 3.25. Biết rằng $U_p = 120$ V, $\dot{Z}_d = (1+j0,2)\Omega$, $\dot{Z}_p = (18+j12)\Omega$. Tính giá trị của dòng điện dây I_A .



Hình 3.25

3.17. Cho mạch điện 3 pha đối xứng có $U_d = 220$ V, tải 3 pha đối xứng nối Y có $\dot{Z} = (3 + j4)\Omega$ như Hình 3.26. Hãy tìm giá trị dòng điện pha B.

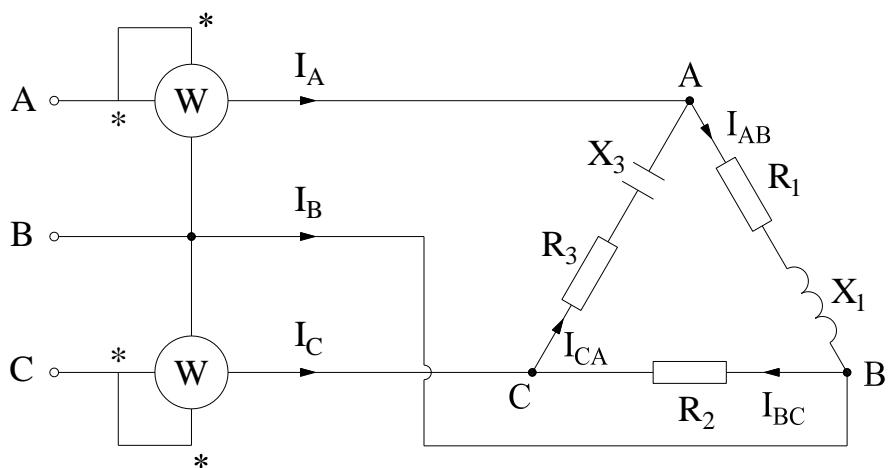
- a) Khi đứt dây pha A
- b) Ngắn mạch pha A



Hình 3.26

3.18. Cho mạch điện 3 pha đối xứng có $U_d = 220$ V, tải 3 pha đối xứng nối hình tam giác biết $R_1 = 4 \Omega$, $X_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $X_3 = 4 \Omega$ như Hình 3.27. Hãy tìm giá trị dòng điện pha B.

- a) Khi đứt dây pha tải BC.
- b) Khi đứt dây pha A từ nguồn tới.



Hình 3.27

Tài liệu đọc thêm chương 3

1. Lê Văn Bảng, *Giáo trình lý thuyết mạch điện*, Nxb Giáo dục Việt Nam, 2011.
2. Phạm Thị Cư, Lê Minh Cường, Trương Trọng Tuấn Mỹ, *Mạch điện 1*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
3. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Kỹ thuật điện*, Nxb Khoa học & kỹ thuật, 2007.
4. Trần Tùng Giang, Lê Thị Thanh Hoàng, *Mạch điện*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
5. Charles K. Alexander, Matthew N.O. Sadiku, *Fundamentals of Electric Circuits*, 5th Edition, Mc Graw Hill, 2012.
6. James A. Svoboda, Richard C. Dorf, *Introduction to electric Circuits*, 9th Edition, Wiley, 2013.

Phần II

MÁY ĐIỆN VÀ KHÍ CỤ ĐIỆN

Chương 4

MÁY ĐIỆN

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 4

Sau khi học xong Chương 4, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được cái khái niệm về máy điện, cách phân loại máy điện;
- Trình bày được cấu tạo, nguyên lý hoạt động của các loại máy điện: Máy biến áp, máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ, máy điện một chiều;
- Vận dụng được các định luật điện từ để giải thích cấu tạo, nguyên lý hoạt động của một số loại máy điện thông dụng;
- Tính toán được các thông số của máy điện.

4.1. Những vấn đề cơ bản về máy điện

4.1.1. Khái niệm về máy điện

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Về cấu tạo gồm mạch từ (lõi thép) và mạch điện (các dây quấn), dùng để biến đổi dạng năng lượng như cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc ngược lại biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện), hoặc dùng biến đổi các thông số của mạch điện như biến đổi điện áp, dòng điện, tần số, số pha, v.v...

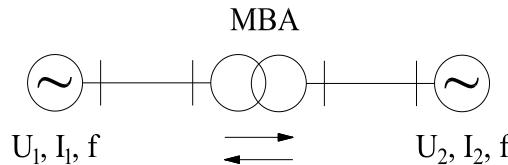


Hình 4.1. Một vài máy điện trong đời sống

4.1.2. Phân loại máy điện

Máy điện có nhiều loại và có nhiều cách phân loại, ví dụ như phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng dòng điện (xoay chiều, một chiều), theo nguyên lý làm việc và phân loại theo nguyên lý biến đổi điện năng. Nếu phân loại theo nguyên lý biến đổi điện năng, ta có hai loại máy điện sau:

a. Máy điện tĩnh

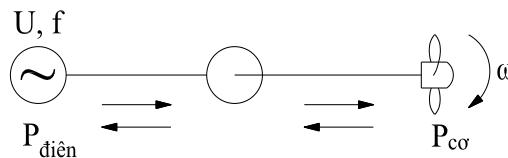


Hình 4.2. Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy điện tĩnh

Máy điện tĩnh làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, do sự biến thiên từ thông giữa các cuộn dây không có chuyển động tương đối với nhau.

b. Máy điện quay

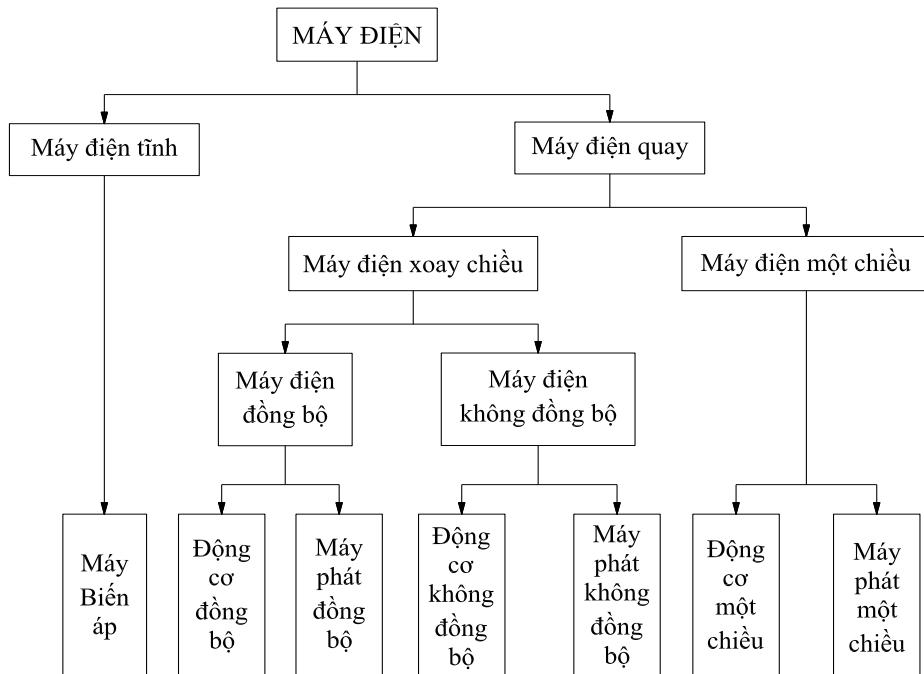
Nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ do từ trường và dòng điện của các cuộn dây có chuyển động tương đối với nhau gây ra.



Hình 4.3. Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy điện quay

Loại máy điện này dùng để biến đổi năng lượng, ví dụ biến đổi điện năng sang cơ năng (động cơ điện) hoặc biến đổi cơ năng sang điện năng (máy phát điện) quá trình biến đổi có tính thuận nghịch, nghĩa là máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

Trên Hình 4.4 vẽ sơ đồ phân loại máy điện thông dụng thường gặp.

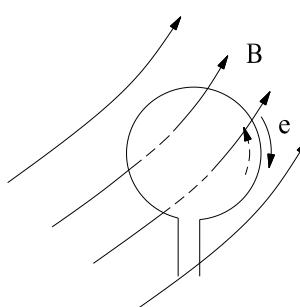


Hình 4.4. Phân loại máy điện

4.1.3. Các định luật điện từ cơ bản dùng trong máy điện

a) Định luật cảm ứng điện từ

Khi từ thông $\Phi = \Phi(t)$ xuyên qua vòng dây biến thiên, trong vòng dây sẽ cảm ứng sức điện động $e(t)$. Sức điện động đó có chiều sao cho dòng điện do nó sinh ra tạo ra từ thông chống lại sự biến thiên của từ thông sinh ra nó (Hình 4.5).



Hình 4.5. Sức điện động cảm ứng xuất hiện khi từ thông biến thiên qua vòng dây

Chiều dương sức điện động cảm ứng phù hợp với chiều biến thiên từ thông $\Phi(t)$ theo quy tắc vặn nút chai.

Sức điện động cảm ứng trong một vòng dây được tính theo công thức:

$$e(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (4.1)$$

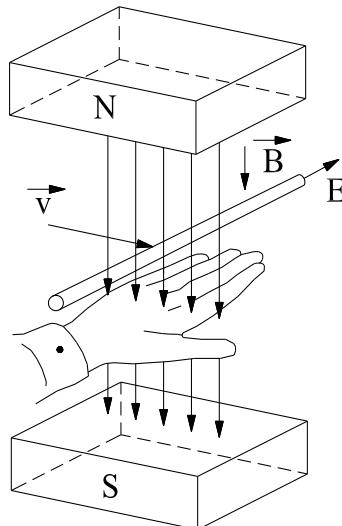
Nếu cuộn dây có N vòng, sức điện động cảm ứng là:

$$e(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} = -\frac{d\Psi(t)}{dt} \quad (4.2)$$

Trong đó: $\Psi(t) = N\Phi(t)$ (4.3)

Với $\Psi(t)$ gọi là từ thông móc vòng của cuộn dây, đơn vị là weber (Wb).

Trường hợp thanh dẫn chuyên động trong từ trường:



Hình 4.6. Sức điện động cảm ứng xuất hiện khi thanh dẫn chuyên động trong từ trường

Khi thanh dẫn chuyên động vuông góc với đường sức từ trường (đây là trường hợp thường thấy nhất trong máy điện), trong thanh dẫn cảm ứng sức điện động E có giá trị là:

$$E = B\ell v \quad (4.4)$$

Trong đó:

B là cảm ứng từ [T].

ℓ là chiều dài tác dụng của thanh dẫn [m].

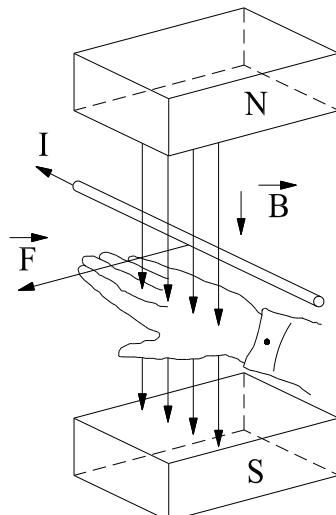
v là vận tốc dài thanh dẫn [m/s].

Còn chiều sức điện động cảm ứng xác định theo qui tắc bàn tay phải (Hình 4.6).

b) *Định luật lực từ*

Khi thanh dẫn mang dòng điện đặt vuông góc với đường sức từ trường, thanh dẫn sẽ chịu một lực từ tác dụng có trị số là:

$$F = BI\ell \quad (4.5)$$



Hình 4.7. Xác định lực từ theo quy tắc bàn tay trái

Trong đó:

B là cảm ứng từ [T].

I là dòng điện chạy trong thanh dẫn [A].

ℓ là chiều dài thanh dẫn [m].

F là lực từ [N].

Chiều của lực từ \vec{F} được xác định theo quy tắc bàn tay trái (Hình 4.7).

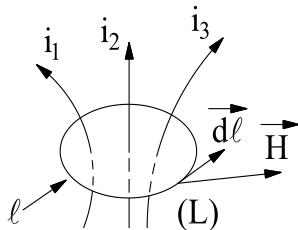
c) *Định luật mạch từ*

Lõi thép của máy điện là mạch từ, mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông. Định luật mạch từ là định luật dòng điện toàn phần áp dụng vào mạch từ. Nội dung của các định luật dòng điện toàn phần như sau:

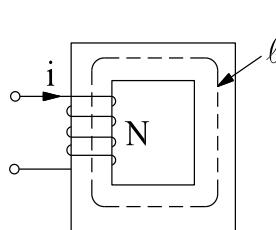
Nếu \vec{H} là véc tơ cường độ từ trường do một tập hợp dòng điện $i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n$ tạo ra và nếu L là một đường cong kín bao quanh thì:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{\ell} = \sum i_k \quad (4.6)$$

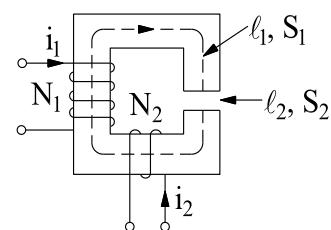
Với $d\vec{\ell}$ là độ dài vi phân trên (L) (Hình 4.8). Dấu của i_k xác định theo qui tắc vặn nút chai: Quay cái vặn nút chai theo chiều $d\vec{\ell}$, chiều tiến của vặn nút chai trùng với chiều dòng điện i_k thì dòng điện i_k mang dấu dương, còn ngược lại lấy dấu âm.



Hình 4.8. Minh họa định luật dòng điện toàn phần



Hình 4.9. Mạch từ đồng nhất của một cuộn dây



Hình 4.10. Mạch từ có khe hở không khí và hai cuộn dây

Đối với mạch từ đồng nhất có một cuộn dây như Hình 4.9, định luật dòng điện toàn phần được áp dụng như sau:

$$H\ell = Ni$$

Với $BS = \Phi$ ta có:

$$H\ell = \frac{B}{\mu} \ell = \frac{1}{\mu} \frac{\ell}{S} \Phi = R_\mu \Phi$$

Vậy:

$$H\ell = R_\mu \Phi = Ni \quad (4.7)$$

Trong đó:

H là cường độ từ trường trong mạch từ [A/m].

$B = \mu H$ là cảm ứng từ [T].

μ là độ từ thẩm tuyệt đối của mạch từ [H/m].

ℓ là chiều dài trung bình của mạch từ [m].

N là số vòng dây của cuộn dây.

i là cường độ dòng điện [A].

S là tiết diện ngang của mạch từ [m^2].

R_μ là từ trở của mạch từ [Av/Wb].

Đối với mạch từ có khe hở như Hình 4.10, định luật dòng điện toàn phần được áp dụng vào mạch từ gồm hai đoạn có chiều dài ℓ_1, ℓ_2 , tiết diện S_1, S_2 như sau:

$$H_1\ell_1 + H_2\ell_2 = N_1i_1 - N_2i_2 \quad (4.8)$$

Trong đó:

H_1, H_2 lần lượt là cường độ từ trường tương ứng trong đoạn mạch 1, 2.

ℓ_1, ℓ_2 lần lượt là chiều dài trung bình của đoạn mạch từ 1, 2.

Một cách tổng quát, đối với mạch từ gồm n đoạn và m cuộn dây, định luật mạch từ được viết:

$$\sum_{j=1}^n H_j\ell_j = \sum_{k=1}^m N_k i_k \quad (4.9)$$

4.1.4. Các vật liệu chế tạo máy điện

a) Vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện để chế tạo máy điện thông dụng nhất là đồng vì chúng không đắt lǎm và có điện trở suất nhỏ. Ngoài ra, người ta còn dùng nhôm và các hợp kim khác như đồng thau, đồng phốtpho.. Dây đồng hoặc dây nhôm được chế tạo theo tiết diện tròn hoặc tiết diện chữ nhật có bọc cách điện. Với những máy có công suất nhỏ và trung bình, điện áp dưới 1000 V thường dùng dây dẫn bọc êmay vì lớp cách điện của nó mỏng và đạt độ bền yêu cầu.

b) Vật liệu dẫn từ

Vật liệu dẫn từ trong máy điện là vật liệu sắt từ như thép kỹ thuật điện, gang, thép đúc, thép rèn, v.v...

Ở các phần dẫn từ có từ thông biến đổi với tần số 50Hz thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày $0,35 \div 0,5$ mm trong thành phần thép có từ $2 \div 5\%$ silic để tăng điện trở của thép, giảm dòng điện xoáy.

Thép kỹ thuật điện được chế tạo bằng phương pháp cán nóng hoặc cán nguội.

c) Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện trong máy điện phải có cường độ cách điện cao, chịu nhiệt tốt, chống ẩm và bền về cơ học. Cách điện bọc dây dẫn chịu được nhiệt độ cao thì nhiệt độ cho phép của dây dẫn chịu được dòng tải lớn.

Chất cách điện của máy điện phần lớn ở thẻ rắn và gồm 4 nhóm: Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy lụa; Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thủy tinh; Các chất tổng hợp; Các loại men và sơn cách điện.

Chất cách điện tốt nhất là mica nhưng đắt. Giấy, vải, sợi,... rẻ nhưng dẫn nhiệt và cách điện kém, dễ bị ẩm. Vì vậy chúng phải được sấy để cách điện tốt hơn.

Ngoài ra còn có chất cách điện ở thể khí (không khí) và thể lỏng (dầu biến áp).

4.2. Máy biến áp

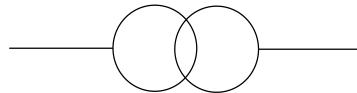
4.2.1. Khái niệm chung về máy biến áp

a) Khái niệm máy biến áp

Máy biến áp (MBA) là thiết bị điện từ tĩnh, làm việc dựa theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành một hệ thống dòng điện xoay chiều ở một điện áp khác nhưng giữ nguyên tần số.

b) Ký hiệu máy biến áp

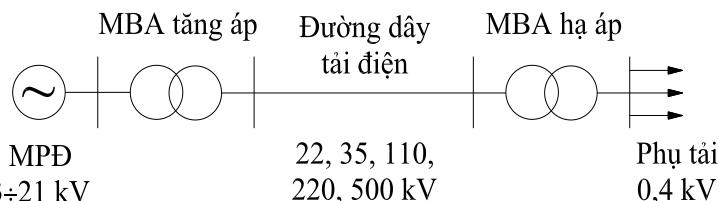
Trên các sơ đồ mạch điện, hệ thống điện, máy biến áp được ký hiệu như trên Hình 4.11:



Hình 4.11. Ký hiệu máy biến áp

c) Công dụng của máy biến áp

Một công dụng rất quan trọng của MBA là sử dụng để truyền tải và phân phối điện năng:



Hình 4.12. Máy biến áp trong việc truyền tải và phân phối điện năng

Cùng công suất S , nếu tăng điện áp truyền tải trên đường dây (tăng điện áp dây U_d) thì dòng điện trên dây dẫn sẽ giảm (dòng điện $I_d \downarrow$) dẫn đến:

- Trọng lượng, tiết diện, chi phí làm dây dẫn giảm.
- Tốn thát điện áp giảm vì $\Delta U_d = Z_d \cdot I_d \downarrow$ (khi $I_d \downarrow$).
- Tốn thát trên đường dây giảm vì $\Delta P_d = R_d \cdot I_d^2 \downarrow$ và $\Delta Q_d = X_d \cdot I_d^2 \downarrow$ (khi $I_d \downarrow$).

Ngoài ra, MBA còn được sử dụng trong các thiết bị chuyên dụng như:

- Lò nung: MBA lò.
- Hàn điện: MBA hàn.
- Thí nghiệm: MBA thí nghiệm.
- Đo lường: Máy biến điện áp, máy biến dòng điện...

d) Các đại lượng định mức máy biến áp

Các đại lượng định mức của MBA qui định điều kiện kỹ thuật của máy. Các đại lượng này do nhà máy chế tạo qui định và ghi trên nhãn của MBA. Thông thường có các đại lượng định mức sau đây:

Điện áp định mức: Với MBA 1 pha là điện áp pha, MBA 3 pha là điện áp dây.

Điện áp dây sơ cấp định mức U_{1dm} (V hay kV).

Điện áp dây thứ cấp định mức U_{2dm} (V hay kV).

Dòng điện định mức: Là dòng điện đã quy định cho dây quấn MBA tương ứng với công suất và điện áp định mức.

Dòng điện dây sơ cấp định mức I_{1dm} (A hay kA).

Dòng điện dây thứ cấp định mức I_{2dm} (A hay kA).

Công suất định mức: Là công suất toàn phần hay biểu kiến đưa ra ở dây quấn thứ cấp của MBA.

Với MBA 1 pha: $S_{dm} = I_{2dm} U_{2dm}$ (4.10)

Với MBA 3 pha: $S_{dm} = \sqrt{3} I_{2dm} U_{2dm}$ (4.11)

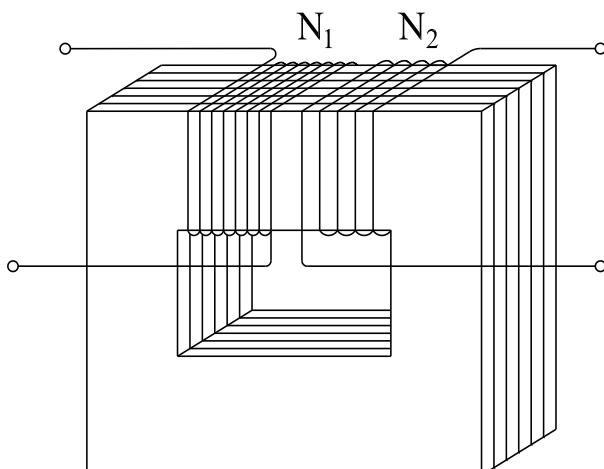
Ngoài ra trên nhãn MBA còn ghi các số liệu khác như: Tần số, số pha, sơ đồ và tổ nối dây, điện áp ngắn mạch, v.v...

4.2.2. Cấu tạo của máy biến áp

Máy biến áp bao gồm hai bộ phận chính là lõi thép, dây quấn. Ngoài ra còn có vỏ máy, bộ phận làm mát, sứ cách điện, v.v...

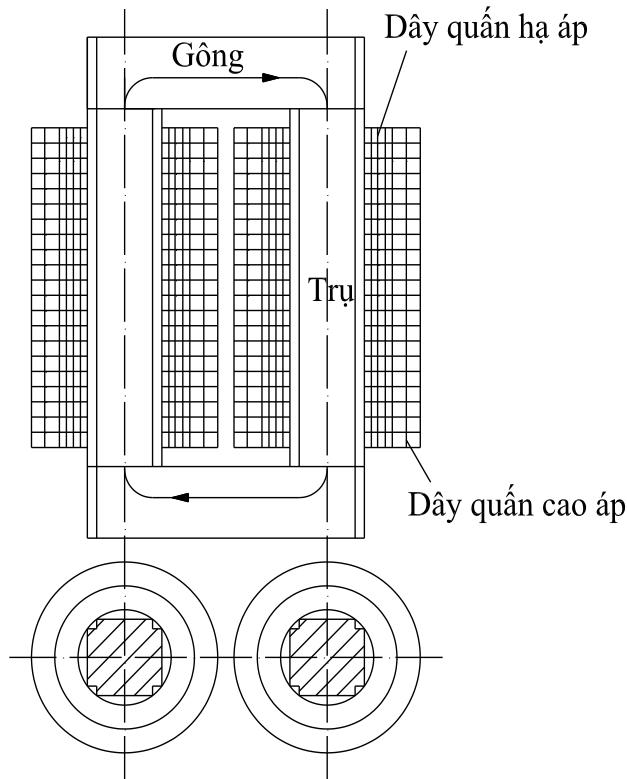
a) Lõi thép:

Lõi thép gồm trụ và gông được ghép bằng những lá thép kỹ thuật điện thành mạch từ kín để dẫn từ thông, đồng thời làm khung để quấn dây. Lá thép kỹ thuật điện có bề dày từ $0,35 \div 0,5\text{mm}$, mặt ngoài các lá thép có sơn cách điện rồi ghép lại với nhau thành lõi thép (Hình 4.13). Việc sơn cách điện ở bề mặt các lá thép kỹ thuật điện nhằm giảm tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy.



Hình 4.13. Cấu tạo lõi thép máy biến áp

b) Dây quấn: Thường làm bằng dây đồng (có thể làm bằng dây nhôm), có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.



Hình 4.14. Dây quấn máy biến áp

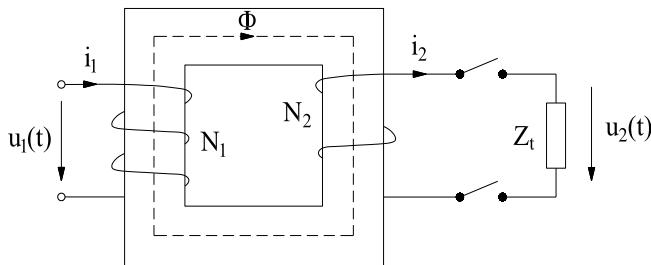
Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ lõi thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn có cách điện với nhau và các dây quấn có cách điện với lõi thép. Máy biến áp thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi các dây quấn đặt trên cùng một trụ, thì dây quấn hạ áp thường đặt sát trụ thép, dây quấn cao áp đặt lồng ra ngoài, mục đích làm như vậy là để giảm vật liệu cách điện (Hình 4.14).

c) *Vỏ máy*: Vỏ MBA làm bằng thép gồm hai bộ phận thùng và nắp thùng.

Trong thùng MBA đặt lõi thép, dây quấn và dầu biến áp. Dầu biến áp làm nhiệm vụ tăng cường cách điện và tản nhiệt.

Nắp thùng MBA dùng để đậy trên thùng và trên đó có các bộ phận quan trọng như: Sứ ra của dây quấn cao áp và dây quấn hạ áp, bình dẫn dầu, ống bảo hiểm, v.v...

4.2.3. Nguyên lý làm việc của máy biến áp



Hình 4.15. Sơ đồ nguyên lý của MBA một pha hai dây quấn

Hình 4.15 vẽ sơ đồ nguyên lý của MBA một pha hai dây quấn. Dây quấn 1 có N_1 vòng dây được nối với nguồn điện áp xoay chiều u_1 , gọi là dây quấn sơ cấp. Dây quấn 2 có N_2 vòng dây cung cấp điện cho phụ tải Z_t , gọi là dây quấn thứ cấp.

Đặt điện áp xoay chiều $u_1(t)$ vào dây quấn sơ cấp, trong dây quấn sơ cấp sẽ có dòng điện $i_1(t)$. Trong lõi thép sẽ có từ thông $\Phi(t)$ móc vòng với cả hai dây quấn gọi là từ thông chính, từ thông chính cảm ứng trong dây quấn sơ cấp sức điện động $e_1(t)$ và trong dây quấn thứ cấp sức điện động $e_2(t)$. Khi máy biến áp có tải, trong dây quấn thứ cấp sẽ có dòng điện $i_2(t)$ đưa ra tải với điện áp là $u_2(t)$.

Giả sử điện áp $u_1(t)$ hình sin, thì từ thông $\Phi(t)$ cũng biến thiên hình sin và có dạng:

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$$

Sức điện động cảm ứng $e_1(t)$, $e_2(t)$ sinh ra trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp MBA là:

$$e_1(t) = -N_1 \frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$e_2(t) = -N_2 \frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega N_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - 90^\circ)$$

E_1 , E_2 lần lượt là trị số hiệu dụng của sức điện động sơ cấp và thứ cấp cho bởi:

$$E_1 = \frac{\omega N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_1 \Phi_m \quad (4.12)$$

$$E_2 = \frac{\omega N_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_2 \Phi_m \quad (4.13)$$

Tỷ số biến áp k của máy biến áp:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.14)$$

Nếu bỏ qua sụt áp gây ra do điện trở và từ thông tản của dây quấn thì $E_1 \approx U_1$, $E_2 \approx U_2$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (4.15)$$

Máy biến áp tăng áp nếu $k < 1$: $U_2 > U_1$; $N_2 > N_1$.

Máy biến áp giảm áp nếu $k > 1$: $U_2 < U_1$; $N_2 < N_1$.

Ví dụ 4.1: Một máy biến áp 1 pha lý tưởng có tỉ số máy biến áp $k = 3$, tần số nguồn điện 50Hz. Biết điện áp thứ cấp 220V. Tính điện áp sơ cấp.

Giải:

Máy biến áp lý tưởng ta có:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx k \Rightarrow U_1 = k U_2 = 3 \cdot 220 = 660 \text{ (V)}$$

Ví dụ 4.2: Máy biến áp 1 pha lý tưởng có $S_{dm} = 700 \text{ kVA}$, $U_{1dm} = 35 \text{ kV}$, $U_{2dm} = 0,4 \text{ kV}$. Tính dòng điện định mức trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Giải:

Dòng điện định mức trong dây quấn sơ cấp:

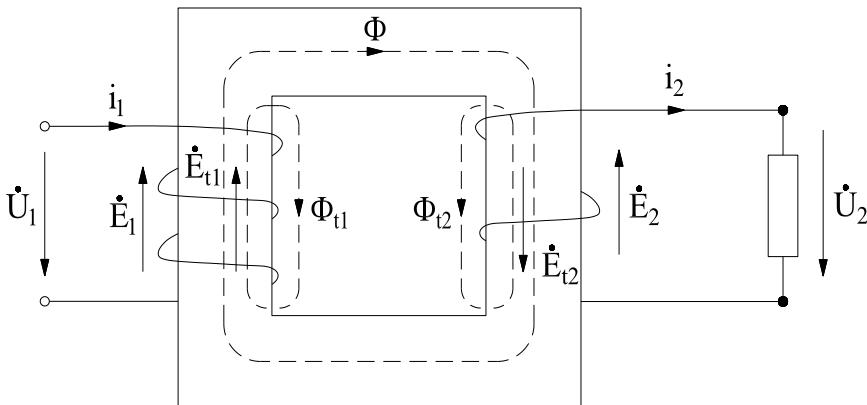
$$S_{dm} = U_{1dm} \cdot I_{1dm} \Rightarrow I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} = \frac{700}{35} = 20 \text{ (A)}$$

Máy biến áp lý tưởng nên $U_{1dm} I_{1dm} \approx U_{2dm} I_{2dm}$

$$\Rightarrow I_{2dm} = \frac{U_{1dm} I_{1dm}}{U_{2dm}} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} = \frac{700}{0,4} = 1750 \text{ (A)}$$

4.2.4. Quan hệ điện từ trong máy biến áp

a) Phương trình cân bằng điện áp dây quấn sơ cấp và thứ cấp



Hình 4.16. Sơ đồ nguyên lý quá trình điện từ trong MBA

Ngoài từ thông $\Phi(t)$ chính chạy trong lõi thép, trong MBA các sức từ động $i_1(t)N_1$ và $i_2(t)N_2$ còn sinh ra từ thông tản $\Phi_{t1}(t)$ và $\Phi_{t2}(t)$. Từ thông tản không chạy trong lõi thép mà móc vòng với không gian không phải vật liệu sắt từ như dầu MBA, vật liệu cách điện... Vật liệu này có độ từ thẩm bé, do đó từ thông tản nhỏ hơn rất nhiều so với từ thông chính và từ thông tản móc vòng với dây quấn sinh ra nó. Các từ thông tản $\Phi_{t1}(t)$ và $\Phi_{t2}(t)$ biến thiên theo thời gian nên cũng cảm ứng trong dây quấn sơ cấp sức điện động tản $e_{t1}(t)$ và thứ cấp $e_{t2}(t)$, mà trị số tức thời là:

$$e_{t1}(t) = -N_1 \frac{d\Phi_{t1}(t)}{dt} = -\frac{d\Psi_{t1}(t)}{dt};$$

$$e_{t2}(t) = -N_2 \frac{d\Phi_{t2}(t)}{dt} = -\frac{d\Psi_{t2}(t)}{dt}$$

Trong đó:

$\Psi_{t1}(t) = N_1\Phi_{t1}(t)$ là từ thông tản móc vòng với dây quấn sơ cấp;

$\Psi_{t2}(t) = N_2\Phi_{t2}(t)$ là từ thông tản móc vòng với dây quấn thứ cấp;

Do từ thông tản móc vòng thì tỷ lệ với dòng điện sinh ra nó:

$$\Psi_{t1}(t) = L_{t1}i_1(t); \quad \Psi_{t2}(t) = L_{t2}i_2(t)$$

Trong đó:

L_{t1} và L_{t2} là độ tự cảm tản của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Ta có sức điện động tản sau khi thay thế từ thông móc vòng vào:

$$e_{t1}(t) = -L_{t1} \frac{di_1(t)}{dt}; \quad e_{t2}(t) = -L_{t2} \frac{di_2(t)}{dt}$$

Biểu diễn sức điện động tản dưới dạng phức số (không xét chiều):

$$\dot{E}_{t1} = j\omega L_{t1} \dot{I}_1 = jX_1 \dot{I}_1 \quad (4.16)$$

$$\dot{E}_{t2} = j\omega L_{t2} \dot{I}_2 = jX_2 \dot{I}_2 \quad (4.17)$$

Trong đó:

$X_1 = \omega L_{t1}$ là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp.

$X_2 = \omega L_{t2}$ là điện kháng tản của dây quấn thứ cấp.

Xét mạch điện sơ cấp gồm nguồn điện áp $u_1(t)$, sức điện động $e_1(t)$, điện trở dây quấn sơ cấp R_1 , sức điện động tản sơ cấp $e_{t1}(t)$. Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động $e_2(t)$, điện trở dây quấn thứ cấp R_2 , sức điện động tản thứ cấp $e_{t2}(t)$, điện áp ở hai đầu của dây quấn thứ cấp là $u_2(t)$. Áp dụng định luật Kirchhoff 2 ta có phương trình điện áp sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_1(t) - e_1(t) - e_{t1}(t) - R_1 i_1(t) = 0 \quad (4.18)$$

$$u_2(t) - e_2(t) + e_{t2}(t) + R_2 i_2(t) = 0 \quad (4.19)$$

Biểu diễn dưới dạng số phức và thay sức điện động tản (4.16) và (4.17) vào các phương trình (4.18) và (4.19), ta có:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{t1} + R_1 \dot{I}_1 = \dot{E}_1 + jX_1 \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1 = \dot{E}_1 + (jX_1 + R_1) \dot{I}_1 \quad (4.20)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{E}_{t2} - R_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - jX_2 \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - (jX_2 + R_2) \dot{I}_2 \quad (4.21)$$

Vậy phương trình điện áp sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng phức là:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \quad (4.22)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (4.23)$$

Trong đó:

$\dot{Z}_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở phức của dây quấn sơ cấp.

$\dot{Z}_2 = R_2 + jX_2$ là tổng trở phức của dây quấn thứ cấp.

$\dot{Z}_1 \dot{I}_1$ là điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp.

$\dot{Z}_2 \dot{I}_2$ là điện áp rơi trên dây quấn thứ cấp.

b) Phương trình cân bằng sức từ động

Áp dụng định luật mạch từ cho mạch Hình 4.16 ta có:

$$N_1 i_1(t) - N_2 i_2(t) = R_\mu \Phi(t) \quad (4.24)$$

Trong đó: R_μ là từ trở của mạch từ [Av/Wb].

Ta có $\dot{Z}_1 \dot{I}_1 \ll \dot{E}_1$ nên từ (4.22) ta có $E_1 \approx U_1$. Kết hợp với (4.12) ta có từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\Phi_m = \frac{U_1}{\pi \sqrt{2f} N_1}$$

Ở đây $U_1 = U_{1dm}$, tức là U_1 không đổi, vậy từ thông Φ_m cũng không đổi. Đặc biệt trong chế độ không tải, dòng điện $i_2(t) = 0$ và $i_1(t) = i_0(t)$ là dòng điện không tải sơ cấp. Ta suy ra:

$$N_1 i_1(t) - N_2 i_2(t) = N_1 i_0(t)$$

Hay:

$$N_1 \dot{I}_1 - N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0 \quad (4.25)$$

Chia hai vế (4.25) cho N_1 và chuyển vế, ta có:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1} = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \frac{k}{k}$$

Hay:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \quad (4.26)$$

Trong đó: $\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2}{k}$ là dòng điện thứ cấp qui đổi về phía sơ cấp.

c) Sơ đồ thay thế MBA

Từ các biểu thức (4.22), (4.23) và (4.26) ta có mô hình toán của máy biến áp như sau:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{Z}_2 \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \end{cases}$$

Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp

Từ phương trình điện áp thứ cấp $\dot{U}_2 = \dot{Z}_t \dot{I}_2$, nhân phương trình (4.23) với k, ta có:

$$k\dot{U}_2 = k\dot{E}_2 - (k^2 \dot{Z}_2) \frac{\dot{I}_2}{k} = (k^2 \dot{Z}_t) \frac{\dot{I}_2}{k}$$

Đặt: $\begin{cases} \dot{E}'_2 = k\dot{E}_2; \quad \dot{U}'_2 = k\dot{U}_2; \quad \dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / k \\ \dot{Z}'_2 = k^2 \dot{Z}_2; \quad R'_2 = k^2 R_2; \quad X'_2 = k^2 X_2 \\ \dot{Z}'_t = k^2 \dot{Z}_t; \quad R'_t = k^2 R_t; \quad X'_t = k^2 X_t \end{cases}$

Phương trình (4.23) viết lại:

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{Z}'_2 \dot{I}'_2 = \dot{Z}'_t \dot{I}'_2$$

Trong đó: \dot{E}'_2 , \dot{U}'_2 , \dot{I}'_2 , \dot{Z}'_2 , \dot{Z}'_t tương ứng là súc điện động, điện áp, dòng điện, tổng trở dây quán và tổng trở tải thứ cấp qui đổi về sơ cấp. Mô hình toán học của máy biến áp sau khi qui đổi như sau:

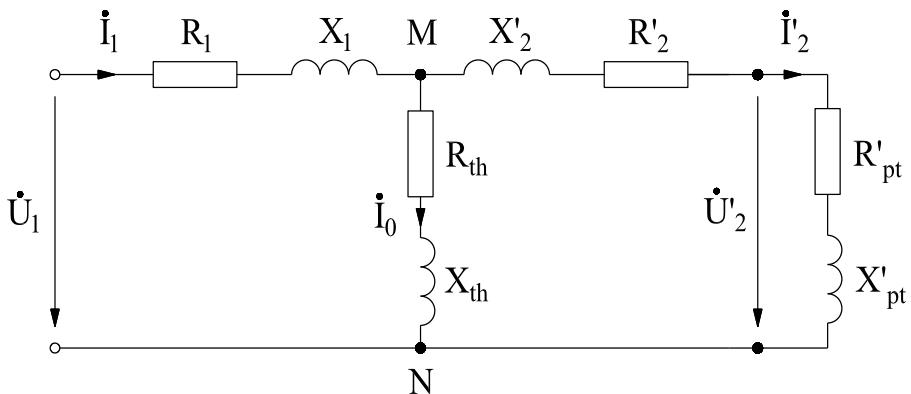
$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \quad (4.27)$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{Z}'_2 \dot{I}'_2 = \dot{Z}'_t \dot{I}'_2 \quad (4.28)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \quad (4.29)$$

Với $\dot{E}'_2 = \dot{E}_1$ điện áp thứ cấp qui đổi về sơ cấp.

Dựa vào hệ phương trình qui đổi, ta suy ra một mạch điện thay thế của MBA (Hình 4.17).



Hình 4.17. Mạch điện thay thế máy biến áp

Trong sơ đồ mạch điện thay thế MBA:

R_1, X_1 lần lượt là điện trở dây quấn sơ cấp, điện kháng tản sơ cấp.

R'_2, X'_2 lần lượt là điện trở dây quấn thứ cấp, điện kháng tản thứ cấp đã qui đổi về sơ cấp.

R_{th}, X_{th} lần lượt là điện trở, điện kháng từ hóa.

R'_{pt}, X'_{pt} lần lượt là điện trở, điện kháng của tải đã qui đổi về sơ cấp.

Sức điện động \dot{E}_1 là điện áp rơi trên tổng trở \dot{Z}_{th} , đặc trưng cho từ thông chính và tổn hao sắt từ. Từ thông chính do dòng điện không tải sinh ra, do đó ta có thể viết:

$$\dot{E}_1 = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 = \dot{Z}_{th}\dot{I}_0 \quad (4.30)$$

Trong đó:

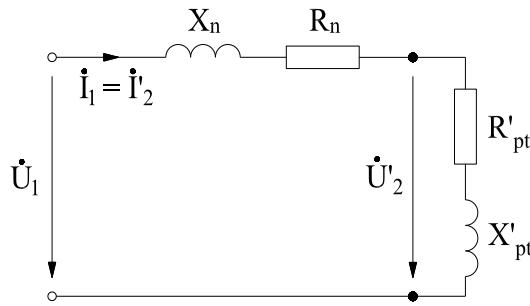
$\dot{Z}_{th} = R_{th} + jX_{th}$ là tổng trở từ hóa đặc trưng cho mạch từ.

R_{th} là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt từ.

X_{th} là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính Φ .

Mạch điện thay thế đơn giản của MBA:

Thông thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn ($\dot{Z}_{th} \gg \dot{Z}_1, \dot{Z}_2$), do đó có thể bỏ qua nhánh từ hóa ($\dot{Z}_{th} = \infty$) và thành lập lại sơ đồ thay thế gàn đúng (Hình 4.18).



Hình 4.18. Mạch điện thay thế đơn giản của MBA

Khi bỏ qua tổng trổ nhánh từ hóa, ta có:

$$\dot{Z}_n = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 = R_n + jX_n \quad (4.31)$$

Trong đó: $\dot{Z}_n = R_n + jX_n$ là tổng trổ ngắn mạch của MBA.

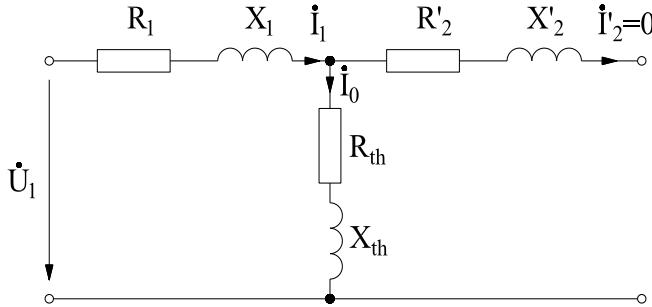
$R_n = R_1 + R_2$ là điện trổ ngắn mạch của MBA.

$X_n = X_1 + X_2$ là điện kháng ngắn mạch của MBA.

4.2.5. Chế độ hoạt động của máy biến áp

a) Chế độ không tải máy biến áp

Chế độ không tải MBA là chế độ mà thứ cấp hở mạch ($I_2 = 0$), còn sơ cấp được cung cấp bởi một điện áp U_1 .



Hình 4.19. Sơ đồ thay thế MBA khi không tải

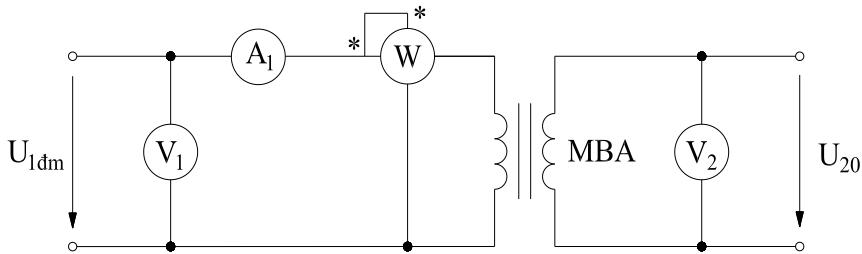
Khi không tải (Hình 4.19) dòng điện thứ cấp $I_2 = 0$, ta có phương trình MBA khi không tải:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 + \dot{Z}_1 \dot{I}_0 \\ \Rightarrow \dot{U}_1 &= (\dot{Z}_{th} + \dot{Z}_1) \dot{I}_0 = \dot{I}_0 \dot{Z}_0 \end{aligned} \quad (4.32)$$

Trong đó: $\dot{Z}_0 = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_{th} = R_0 + jX_0$ là tổng trở không tải của MBA.

Thí nghiệm không tải của MBA:

Thí nghiệm không tải là để xác định hệ số biến áp k, tổn hao sắt từ trong lõi thép ΔP_{Fe} , và các thông số của MBA ở chế độ không tải. Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải Hình 4.20.



Hình 4.20. Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải

Đặt điện áp $U_1 = U_{1dm}$ vào dây quấn sơ cấp, thứ cấp hở mạch, các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau: P_0 là công suất tổn hao không tải, I_0 là dòng điện không tải, U_{1dm} và U_{20} là điện áp sơ cấp và thứ cấp. Từ đó ta tính được:

Hệ số biến áp:

$$k = \frac{U_{1dm}}{U_{20}} \quad (4.33)$$

Dòng điện không tải phần trăm:

$$\frac{I_0}{I_{1dm}} \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100\% = 1\% \div 10\% \quad (4.34)$$

Tổn hao trong lõi thép:

$$\Delta P_{Fe} = P_0 - R_1 I_0^2 \approx P_0$$

Điện trở không tải:

$$R_0 = R_1 + R_{th} = \frac{P_0}{I_0^2}$$

Do $R_{th} \gg R_1$ nên gần đúng lấy bằng:

$$R_{th} \approx R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \quad (4.35)$$

Tổng trở không tải:

$$Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0} \quad (4.36)$$

Điện kháng không tải:

$$X_0 = X_1 + X_{th} = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

Điện kháng từ hóa $X_{th} \gg X_1$ nên lấy gần đúng bằng:

$$X_{th} \approx X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \quad (4.37)$$

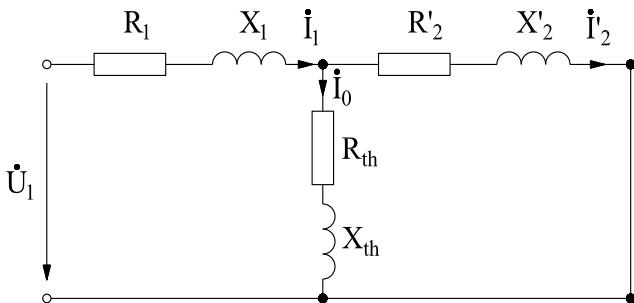
Hệ số công suất không tải:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1dm} I_0} \quad (4.38)$$

b) Chế độ ngắn mạch MBA

Chế độ ngắn mạch MBA là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt, sơ cấp đặt vào một điện áp. Trong vận hành, nhiều nguyên nhân làm MBA bị ngắn mạch như hai dây dẫn phía thứ cấp chập vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng tảng trơ rất nhỏ. Đây là tình trạng sự cố.

Khi MBA ngắn mạch $U_2 = 0$, mạch điện thay thế MBA vẽ trên Hình 4.21. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch $\dot{I}_1 = \dot{I}_n$.

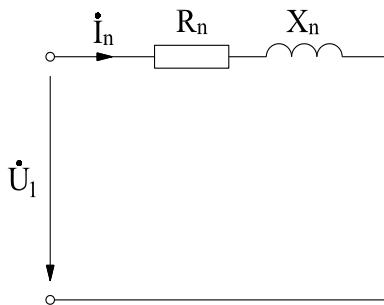


Hình 4.21. Sơ đồ thay thế MBA khi ngắn mạch

Do $R_{th} \gg R_1$ nên coi gần đúng có thể bỏ qua nhánh từ hóa, điện trở và điện kháng của MBA khi ngắn mạch là:

$$\begin{cases} \dot{Z}_n \approx (R_1 + R'_2) + j(X_1 + X'_2) \\ R_n \approx R_1 + R'_2; X_n \approx X_1 + X'_2 \end{cases} \quad (4.39)$$

Sơ đồ thay thế của MBA khi ngắn mạch như Hình 4.22.



Hình 4.22. Sơ đồ thay thế gần đúng MBA khi ngắn mạch

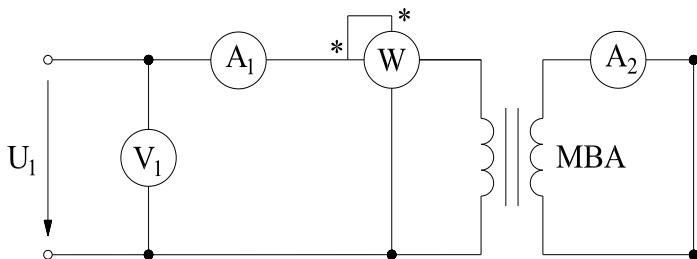
Phương trình điện áp của MBA ngắn mạch:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n (R_n + jX_n) = \dot{I}_n \dot{Z}_n \quad (4.40)$$

Thí nghiệm ngắn mạch:

Thí nghiệm ngắn mạch để xác định điện áp ngắn mạch phần trăm $U_n\%$, tổn hao ngắn mạch ΔP_n , hệ số công suất $\cos\phi_n$, điện trở ngắn mạch R_n và điện kháng ngắn mạch X_n của sơ đồ thay thế MBA. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch trên Hình 4.23.

Tiến hành thí nghiệm như sau: Dây quấn thứ cấp nối ngắn mạch, dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp. Ta điều chỉnh điện áp vào dây quấn sơ cấp bằng U_n sao cho dòng điện trong các dây quấn bằng định mức. Điện áp U_n gọi là điện áp ngắn mạch. Lúc đó các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau: U_n là điện áp ngắn mạch, $I_{1\text{dm}}$ và $I_{2\text{dm}}$ là dòng điện sơ cấp và thứ cấp định mức.



Hình 4.23. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch MBA

Trong thí nghiệm ngắn mạch, điện áp ngắn mạch U_n nhỏ nên từ thông Φ nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí

nghiệm ngắn mạch P_n chính là tổn hao công suất trên điện trở hai dây quấn khi MBA làm việc ở chế độ định mức. Ta có:

$$\Delta P_n = R_1 I_{ldm}^2 + R_2 I_{2dm}^2 = R_n I_n^2 \quad (4.41)$$

Tổng trở ngắn mạch: $Z_n = \frac{U_n}{I_{ldm}}$ (4.42)

Điện trở ngắn mạch: $R_n = R_1 + R_2 = \frac{P_n}{I_{ldm}^2}$ (4.43)

Điện kháng ngắn mạch: $X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2}$ (4.44)

Hệ số công suất ngắn mạch: $\cos\varphi_n = \frac{P_n}{U_{dm} I_{ldm}}$ (4.45)

Điện áp ngắn mạch phần trăm:

$$U_n \% = \frac{Z_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = \frac{U_n}{U_{ldm}} 100\% \quad (4.46)$$

c) Chế độ có tải MBA

Chế độ có tải MBA là chế độ mà dây quấn sơ cấp nối với nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải, ta so sánh chế độ có tải MBA với chế độ tải định mức MBA và định nghĩa hệ số tải k_t :

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{ldm}} = \frac{P_2}{P_{2dm}} = \frac{S_2}{S_{2dm}} \quad (4.47)$$

Khi $k_t = 1$: máy có tải định mức;

$k_t < 1$: máy non tải;

$k_t > 1$: máy quá tải.

d) Hiệu suất máy biến áp

Hiệu suất η của MBA:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\sum \Delta P}{P_2 + \sum \Delta P} \quad (4.48)$$

Với: $\sum \Delta P = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{Fe}$

Trong đó:

ΔP_{Cu1} là tổn hao công suất trên điện trở dây quấn sơ cấp.

ΔP_{Cu2} là tổn hao công suất trên điện trở dây quấn thứ cấp.

ΔP_{Fe} là tổn hao sắt từ trong lõi thép.

Ta có: $\Delta P_{Fe} \approx P_0$

$$\begin{aligned}\Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} &= R_1 I_1^2 + R'_2 I_2'^2 = R_1 I_1^2 + R'_2 I_1^2 \\ &= (R_1 + R'_2) I_1^2 = R_n I_1^2 = R_n I_{ldm}^2 k_t^2 = \Delta P_n k_t^2\end{aligned}\quad (4.49)$$

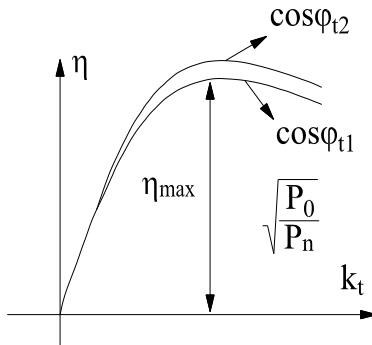
$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_t = U_{2dm} I_{2dm} \frac{I_2}{I_{2dm}} \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t \quad (4.50)$$

Thay (4.49) và (4.50) vào (4.48), ta có:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + k_t^2 \Delta P_n}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 \Delta P_n}$$

Hay: $\eta = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_t}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 \Delta P_n} \quad (4.51)$

Ta thấy hiệu suất MBA là một hàm của hệ số tải và hệ số công suất $\eta = f(k_t, \cos \varphi_t)$. Sự phụ thuộc này được mô tả trên Hình 4.24:



Hình 4.24. Quan hệ $\eta = f(k_t) |_{\cos \varphi_t = \text{const}}$

Khi $\cos \varphi_t = \text{const}$, hiệu suất của MBA đạt cực đại η_{\max} được xác định bằng cách đạo hàm biểu thức của nó theo hệ số tải k_t và cho bằng không, ta có:

$$\frac{d\eta}{dk_t} = 0$$

Sau khi tính đạo hàm, tìm được:

$$k_t^2 P_n = P_0$$

Như vậy hiệu suất MBA cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ:

$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \quad (4.52)$$

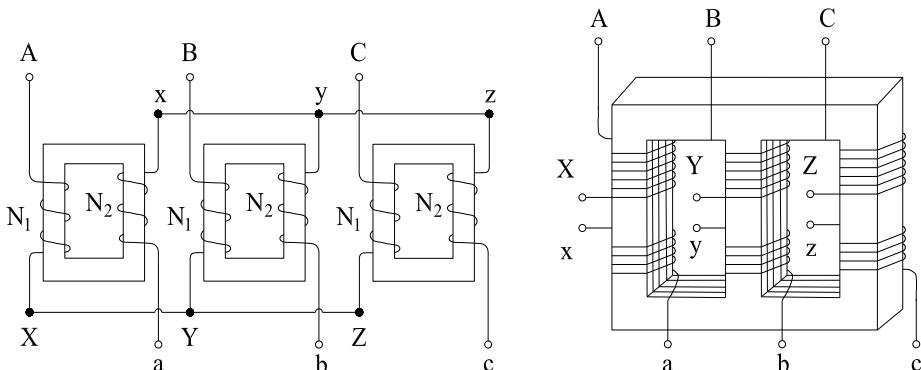
Đối với MBA có công suất trung bình và lớn, thường được thiết kế chế tạo đạt hiệu suất cực đại: $P_0 / P_n = 0,2 \div 0,25$

Vậy: $k_t = 0,45 \div 0,5$.

4.2.6. Máy biến áp ba pha

a) Khái niệm

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng 3 MBA 1 pha hoặc dùng 1 MBA 3 pha (Hình 4.25). MBA 3 pha là một máy điện tĩnh có thể biến đổi hệ thống dòng điện 3 pha từ điện áp này thành điện áp khác mà không làm thay đổi tần số của nó.

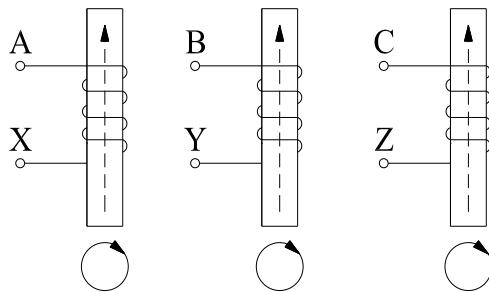


Hình 4.25. Ba MBA 1 pha và một MBA 3 pha

Về cấu tạo lõi thép của MBA 3 pha gồm ba trụ. Dây quấn sơ cấp ký hiệu bằng chữ cái in hoa: Pha A kí hiệu là AX, pha B kí hiệu là BY, pha C kí hiệu là CZ. Dây quấn thứ cấp ký hiệu bằng chữ cái thường: Pha A kí hiệu là ax, pha B kí hiệu là by, pha C kí hiệu là cz.

b) Tổ nối dây máy biến áp

Cách ký hiệu các đầu dây:



Hình 4.26. Đánh dấu đầu dây MBA

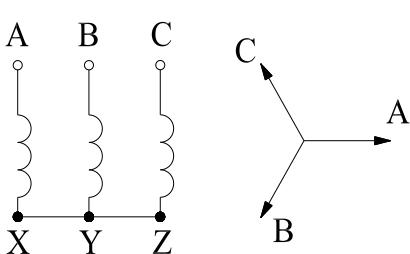
Một cuộn dây có hai đầu tận cùng: Một đầu gọi là **đầu đầu**; còn đầu kia gọi là **đầu cuối**.

Đối với dây quấn MBA một pha: Đầu đầu hoặc đầu cuối chọn tùy ý.

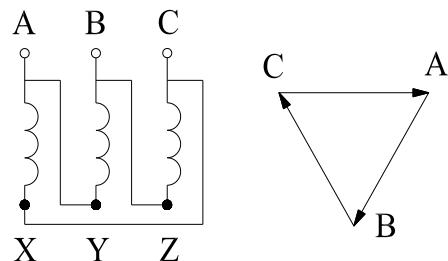
Đối với dây quấn MBA ba pha: Các đầu đầu và đầu cuối chọn một cách thống nhất theo một chiều nhất định (Hình 4.26).

Các kiểu đấu dây quấn:

Đầu hình sao (Y): Đầu ba điểm cuối X, Y, Z lại với nhau (Hình 4.27).



Hình 4.27. Đấu hình sao



Hình 4.28. Đấu hình tam giác

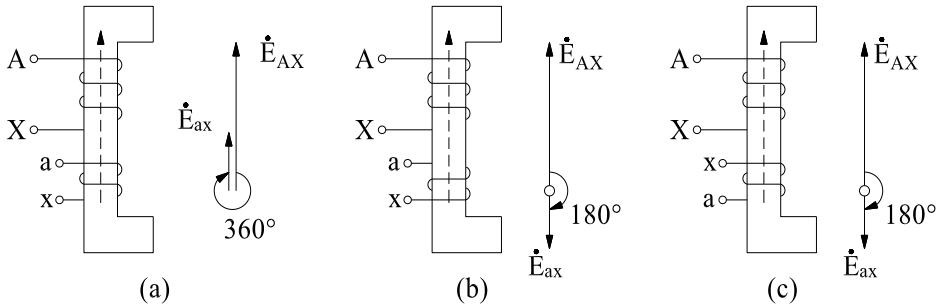
Đầu hình tam giác (Δ): Đầu điểm đầu của pha này với điểm cuối của pha kia (Hình 4.28)

Tổ nối dây của MBA:

Tổ nối dây MBA được hình thành do sự phối hợp kiểu dây quấn sơ cấp so với kiểu dây quấn thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa sức điện động dây của dây quấn sơ cấp và sức điện động dây của dây quấn thứ cấp và góc lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Chiều quấn dây;
- Cách ký hiệu các đầu dây ra;
- Kiểu đấu dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Xét MBA một pha có hai dây quấn (Hình 4.29): Sơ cấp: AX; Thứ cấp: ax.



Hình 4.29. Sự lệch pha của các súc điện động trên một pha của MBA

Các trường hợp xảy ra như sau:

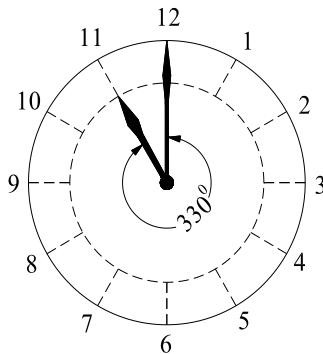
- Hai dây quấn cùng chiều và ký hiệu tương ứng (Hình 4.29a).
- Hai dây quấn ngược chiều (Hình 4.29b).
- Đổi chiều ký hiệu trong hai dây quấn (Hình 4.29c).

Tổ nối dây của MBA một pha: Kể từ véc-tơ súc điện động sơ cấp đến véc-tơ súc điện động thứ cấp theo chiều kim đồng hồ: Trường hợp a: Lệch pha 360° ; Trường hợp b, c: Lệch pha 180° .

Đối với MBA ba pha, do nối Y và Δ với những thứ tự khác nhau mà góc lệch pha giữa súc điện động dây sơ cấp và súc điện động dây thứ cấp là $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, \dots, 360^\circ$

Thực tế không dùng độ để chỉ góc lệch pha mà dùng kim đồng hồ (Hình 4.30) để biểu thị và gọi tên là tổ nối dây MBA, cách biểu thị như sau:

- Kim dài cố định ở con số 12, chỉ súc điện động sơ cấp.
- Kim ngắn chỉ 1, 2, ..., 12 ứng $30^\circ, 60^\circ, \dots, 360^\circ$ chỉ súc điện động thứ cấp.

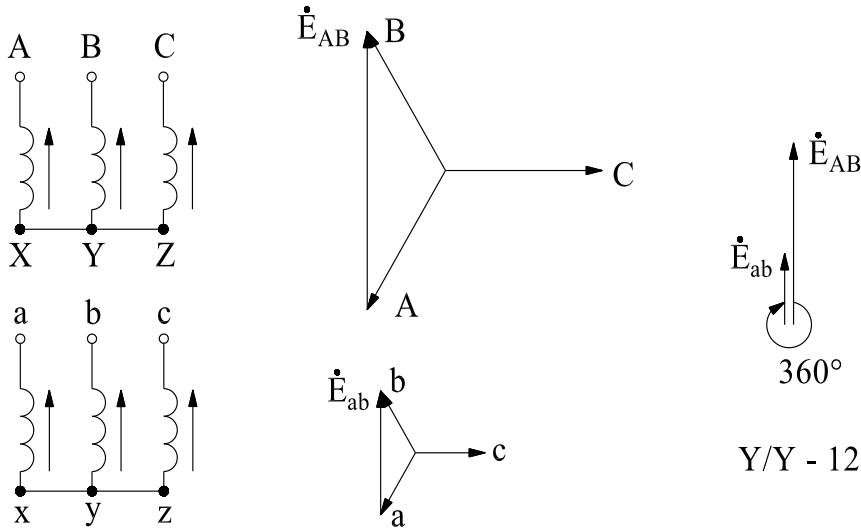


Hình 4.30. Kim đồng hồ tần số dây MBA

MBA ba pha nối Y/Y:

Ví dụ 4.3: Một MBA ba pha có dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp nối hình sao, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu các đầu dây (Hình 4.31).

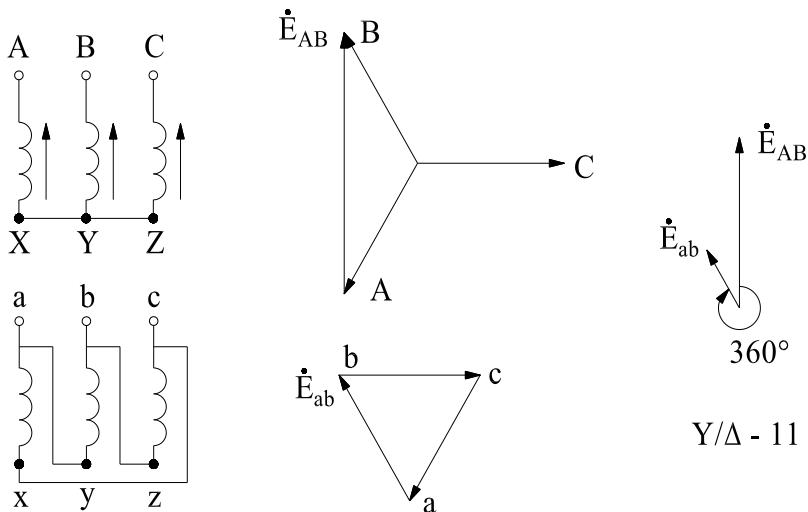
Véc-tơ sức điện động pha giữa hai dây quấn hoàn toàn trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng 360° hay 0° . Ta nói MBA thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12. Để nguyên dây quấn sơ cấp, dịch ký hiệu dây quấn thứ cấp $a \rightarrow b$, $b \rightarrow c$, $c \rightarrow a$ ta có tổ đấu dây Y/Y-4, dịch tiếp một lần nữa ta có tổ đấu dây Y/Y-8. Nếu đổi chiều dây quấn thứ cấp ta có tổ đấu dây Y/Y-6,10,2. Như vậy MBA khi nối Y/Y, ta có tổ nối dây là số chẵn.



Hình 4.31. Tổ nối dây MBA Y/Y-12

MBA ba pha nối Y/Δ:

Ví dụ 4.4: MBA ba pha có dây quấn sơ cấp nối hình sao và dây quấn thứ cấp nối hình tam giác, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu các đầu dây (Hình 4.32).



Hình 4.32. Tổ nối dây MBA Y/Δ-11

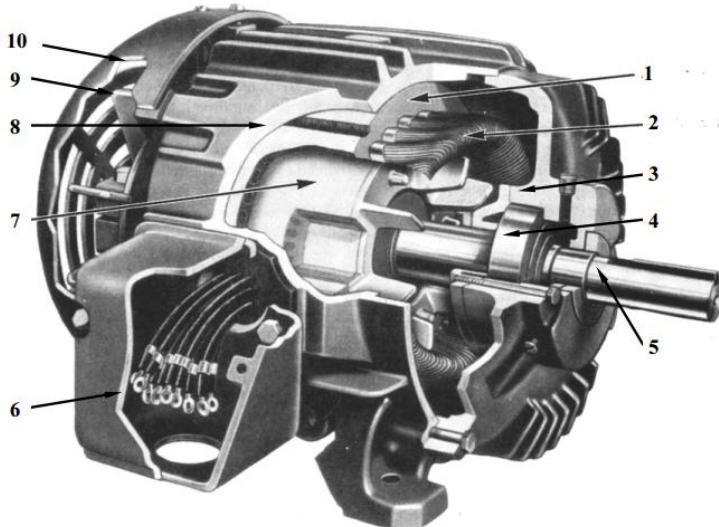
Véc-tơ sức điện động pha giữa hai dây quấn lệch pha nhau một góc 330° . Ta nói MBA thuộc tổ nối dây 11 và ký hiệu là Y/Δ-11. Để nguyên dây quấn sơ cấp, dịch ký hiệu dây quấn thứ cấp $a \rightarrow b$, $b \rightarrow c$, $c \rightarrow a$ thì ta có tổ đấu dây Y/Δ-3, dịch tiếp một lần nữa ta có tổ đấu dây Y/Δ-7. Nếu đổi chiều dây quấn thứ cấp ta có tổ đấu dây Y/Δ-5,9,1. Như vậy MBA khi nối Y/Δ, ta có tổ nối dây là số lẻ.

4.3. Máy điện không đồng bộ

4.3.1. Khái niệm và cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto n khác với tốc độ quay của từ trường n_1 .

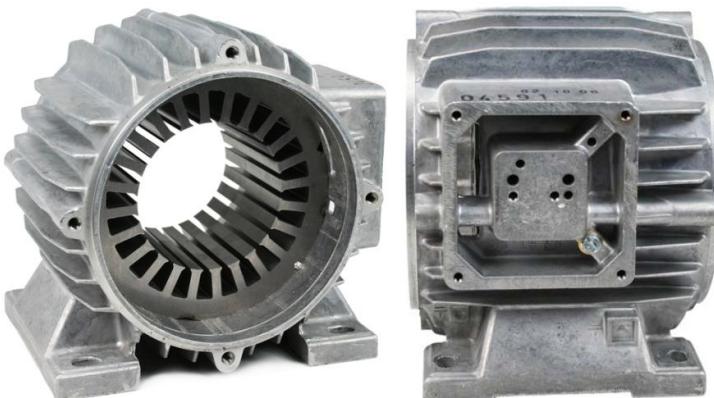
Máy điện không đồng bộ có cấu tạo gồm 2 bộ phận chính là stator và rôto, ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy.



Hình 4.33. Cấu tạo máy điện không đồng bộ ba pha⁽¹⁾

- 1. Lõi thép stato;
- 2. Dây quấn stato;
- 3. Nắp máy;
- 4. Ồ bi;
- 5. Trục máy;
- 6. Hộp đầu cực;
- 7. Lõi thép rôto;
- 8. Thân máy;
- 9. Quạt làm mát;
- 10. Hộp quạt

a) *Stato (phản tĩnh)*: Gồm lõi thép và dây quấn.



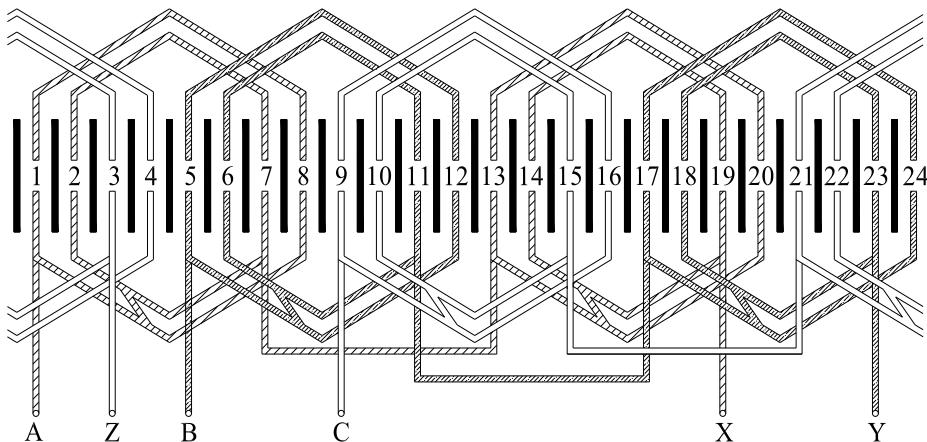
Hình 4.34. Cấu tạo stato⁽²⁾

⁽¹⁾ Bùi Tấn Lợi, *Máy điện 1*, Đại học Bách khoa Đà Nẵng, 2005

⁽²⁾ Marijan Naglić, *Tài liệu hướng dẫn sử dụng EMW 20*, Lucas-Nülle GmbH

Lõi thép statô hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục, lõi thép được ép vào trong vỏ máy (Hình 4.34).

Dây quấn statô bằng dây dẫn bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép.

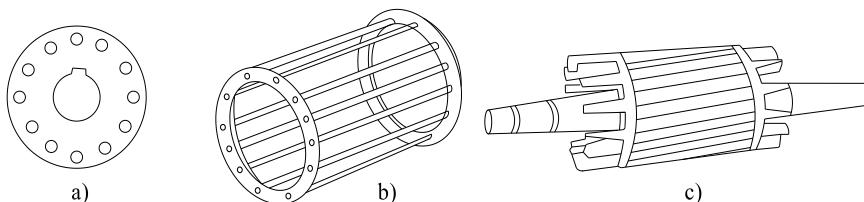


Hình 4.35. Cấu tạo dây quấn statô

Dây quấn gồm các dây quấn pha AX, BY, CZ các đầu dây được đưa ra hộp đấu nối (Hình 4.35).

b) Rôto: Gồm lõi thép, dây quấn và trực máy.

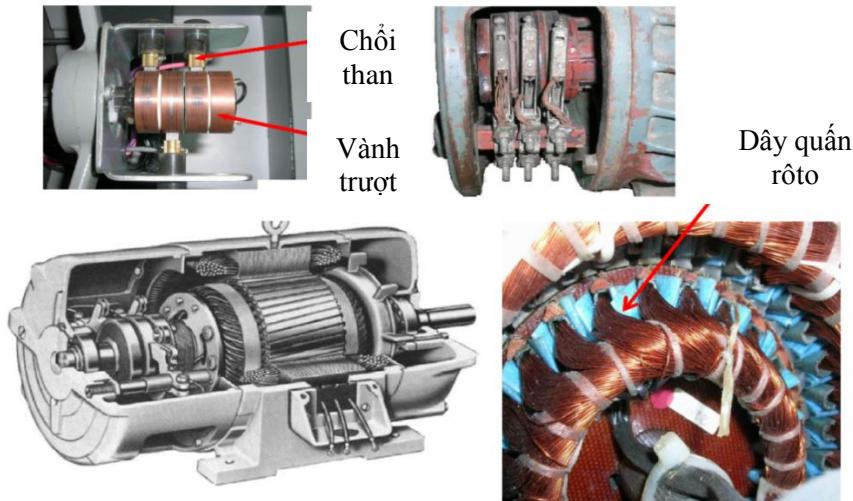
Lõi thép gồm các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh ở mặt ngoài ghép (Hình 4.36a) lại tạo thành các rãnh theo hướng trục, giữa lá thép có lỗ để ghép trục.



Hình 4.36. Cấu tạo Rôto động cơ không đồng bộ

Dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ có 2 kiểu: Rôto ngắn mạch (còn gọi rôto lồng sóc) và rôto dây quấn.

Rôto lồng sóc các rãnh của lõi thép rôto đặt các thanh đồng, hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng tạo thành lồng sóc (Hình 4.36b). Đối với động cơ công suất nhỏ, lồng sóc được chế tạo bằng các thanh nhôm, hai đầu đúc vòng ngắn mạch và cánh quạt làm mát (Hình 4.36c).



Hình 4.37. Rôto dây quấn động cơ không đồng bộ⁽¹⁾

Đối với rôto dây quấn, trong các rãnh của lõi thép rôto, ta đặt dây quấn 3 pha. Dây quấn rôto thường nối hình sao, 3 đầu nối ra ngoài với 3 vòng tiếp xúc bằng đồng được đặt cố định trên trực và được cách điện với trực. Ba chổi than tỳ sát lên 3 vòng tiếp xúc để nói với 3 điện trở, dùng để mở máy hoặc để điều chỉnh tốc độ (Hình 4.37). Động cơ có kiểu rôto này gọi là động cơ không đồng bộ rôto dây quấn.

Động cơ lồng sóc là loại rất phổ biến. Động cơ rôto dây quấn ít gấp hơn, có ưu điểm là mở máy và điều chỉnh tốc độ, song giá thành đắt và vận hành kém tin cậy, nên nó chỉ được dùng khi động cơ rôto lồng sóc không đáp ứng được các yêu cầu về truyền động.

c) Vỏ máy và nắp máy

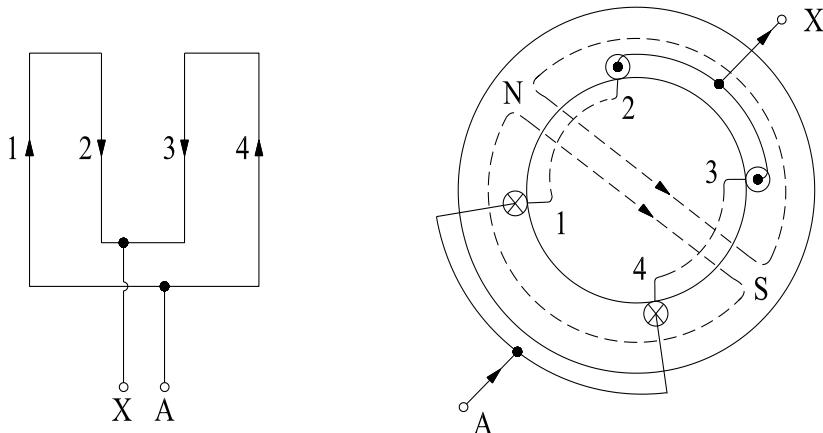
Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép và cố định máy trên bệ. Hai đầu vỏ có nắp máy, ô đõ trực. Vỏ máy và nắp máy còn dùng để bảo vệ máy.

⁽¹⁾ Ngô Văn Quyền, *Kỹ thuật điện*, Đại học Bách khoa Hà Nội

4.3.2. Từ trường quay

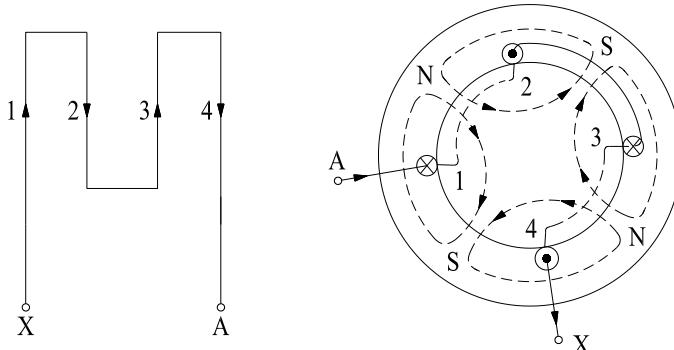
a) Từ trường đập mạch của dây quấn 1 pha

Từ trường của dây quấn một pha có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian được gọi là từ trường đập mạch.



Hình 4.38. Từ trường đập mạch dây quấn 1 pha $2p = 2$

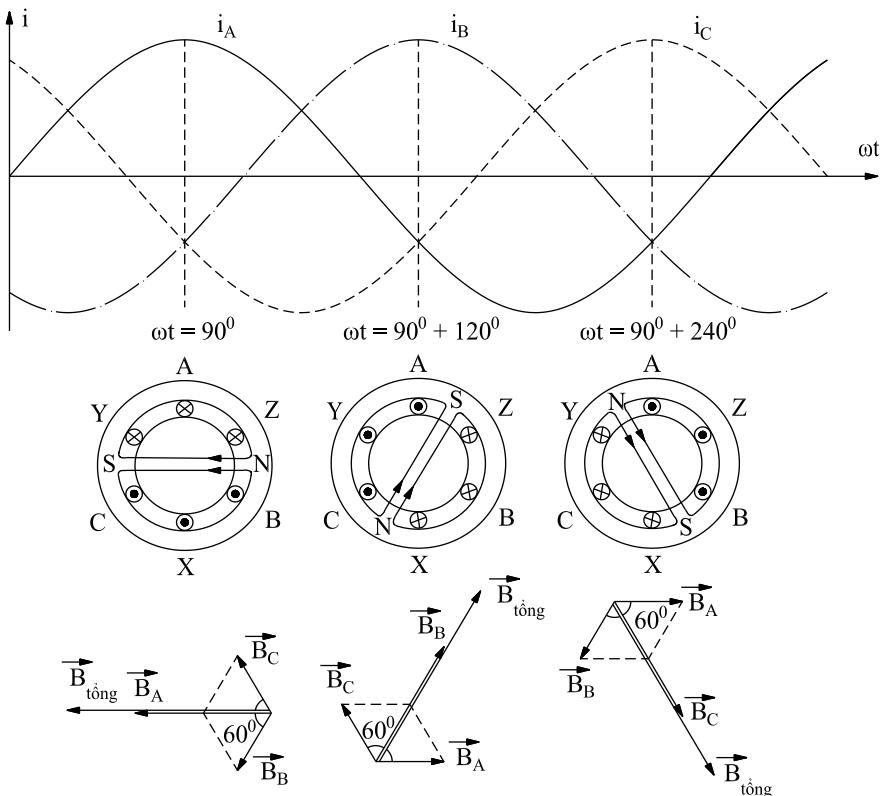
Gọi p là số đôi cực, ta có thể cấu tạo dây quấn để tạo ra từ trường một, hai hoặc p đôi cực. Chiều từ trường theo quy tắc vặn nút chìa



Hình 4.39. Từ trường đập mạch dây quấn 1 pha $2p = 4$

b) Từ trường quay của dây quấn 3 pha

Từ trường quay là từ trường có phương thay đổi trong không gian theo thời gian.



Hình 4.40. Sự hình thành từ trường quay

Giả thiết stator của động cơ không đồng bộ có ba dây quấn AX, BY, CZ đặt trong sáu rãnh, trong dây quấn stator có ba dòng điện ba pha đối xứng:

$$i_A(t) = I_{\max} \cdot \sin \omega t$$

$$i_B(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (4.53)$$

$$i_C(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

Từ trường do ba cuộn dây tạo ra theo thời gian là một từ trường quay như sau:

Tại các thời điểm $\omega t = 90^\circ$, $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$, $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$ ta có các véc tơ cảm ứng từ tổng hợp có độ lớn bằng nhau và quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (4.54)$$

4.3.3. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ

Khi ta cho dòng điện ba pha tần số f vào dây статор, sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ là $n_1 = 60f/p$, từ trường này cắt các thanh dẫn của dây quấn rotor, cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rotor nối ngắn mạch, nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện trong các thanh dẫn rotor. Lực từ tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rotor (xác định theo quy tắc bàn tay trái), kéo rotor quay cùng chiều từ trường với tốc độ n .

Tốc độ n của động cơ nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 vì nếu tốc độ bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối, trong dây quấn rotor không có sức điện động và dòng điện cảm ứng, lực từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ động cơ gọi là tốc độ trượt n_2 :

$$n_2 = n_1 - n \quad (4.55)$$

Hệ số trượt của tốc độ là:

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (4.56)$$

Hệ số trượt s có thể xác định khi biết tần số dòng điện rotor f_r và tần số dòng điện ba pha f :

$$s = \frac{f_r}{f} \quad (4.57)$$

Khi rotor đứng yên ($n = 0$), hệ số trượt $s = 1$; Khi rotor quay định mức $s = 0,02 \div 0,06$. Tốc độ động cơ là:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s) \quad (4.58)$$

4.3.4. Nguyên lý làm việc của máy phát điện không đồng bộ

Nếu статор vẫn nối với lưới điện nhưng trực rotor không nối với tải, mà nối với một động cơ sơ cấp. Dùng động cơ sơ cấp kéo rotor quay cùng chiều với n_1 và với tốc độ n lớn hơn tốc độ từ trường quay n_1 . Lúc này, chiều dòng điện rotor I_2 ngược lại với chiều chế độ động cơ và lực điện từ đổi chiều. Lực điện từ tác dụng lên rotor ngược chiều với chiều

quay, gây ra mômen hãm cân bằng với mômen quay của động cơ. Máy điện làm việc ở chế độ máy phát điện. Hệ số trượt là:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0 \quad (4.59)$$

Nhờ từ trường quay, cơ năng động cơ sơ cấp đưa vào rôto được biến thành điện năng ở stato. Để tạo từ trường quay, lưới điện phải cung cấp cho máy phát điện không đồng bộ công suất phản kháng Q , vì thế làm cho hệ số công suất của lưới điện thấp đi. Nếu khi máy làm việc riêng rẽ, ta phải dùng tụ điện nối vào đầu cực máy để kích từ cho máy. Đó là nhược điểm của máy phát điện không đồng bộ, **vì thế người ta ít sử dụng máy phát điện không đồng bộ.**

4.3.5. Đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ

Ở chế độ làm việc định mức, động cơ điện không đồng bộ có các chế độ định mức sau: Công suất cơ hữu ích trên trực P_{dm} , điện áp dây định mức U_{dm} , dòng điện dây định mức I_{dm} , tốc độ quay định mức n_{dm} , hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm}$, hiệu suất định mức η_{dm} . Song các đại lượng này chưa thể hiện đầy đủ các đặc tính làm việc của động cơ khi có tải khác định mức, do vậy cần biết các đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ, đó là các quan hệ giữa tốc độ quay rôto n , hệ số $\cos\varphi$, hiệu suất η , mômen M , dòng điện I_1 với công suất cơ hữu ích trên trên trực P_2 , khi U và f không đổi.

a) Tốc độ quay $n = f(P_2)$

Từ công thức (4.58), ta thấy khi tải tăng, công xuất P_2 trên trực động cơ tăng, mômen cần tăng lên, hệ số trượt s tăng lên, tốc độ động cơ giảm xuống.

b) Hiệu suất $\eta = f(P_2)$

Hiệu suất động cơ được xác định:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

P_2 là công suất cơ hữu ích trên trực.

P_1 là công suất điện động cơ tiêu thụ từ lưới:

$$P_1 = 3.U_1.I_1.\cos\varphi_1 \quad (4.60)$$

ΔP là tổng các tổn hao trong máy:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{cf} \quad (4.61)$$

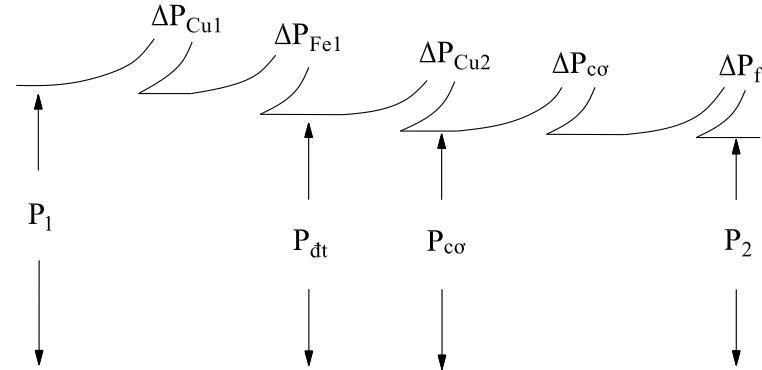
ΔP_{Fe1} là tổn hao sắt từ trong statô do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra.

ΔP_{Cu1} là tổn hao trong dây quấn trên statô.

ΔP_{Cu2} là tổn hao đồng trên dây quấn rôto.

ΔP_{cf} là tổn hao cơ do ma sát ở ống trực quạt gió và tổn hao phụ.

$$\Delta P_{cf} = \Delta P_{co} + \Delta P_f \quad (4.62)$$



Hình 4.41. Giản đồ năng lượng của động cơ không đồng bộ

Thông thường người ta xác định gần đúng hiệu suất như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + k_t^2 \cdot P_n} \quad (4.63)$$

$k_t = \frac{I_1}{I_{1dm}}$ là hệ số tải.

$P_0 = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{cf}$ là tổn hao không tải.

P_n là tổng tổn hao trên dây quấn statô và dây quấn rôto.

Thông thường: $\eta_{dm} = 0,75 \div 0,95$

c) Hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (4.64)$$

Trong đó:

P_1 là công suất tác dụng (công suất điện) động cơ tiêu thụ để biến đổi sang công suất cơ P_2 .

Q_1 là công suất phản kháng, động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường cho máy.

Khi máy quay không tải (không kéo tải), công suất P_1 nhỏ, do đó $\cos\varphi_0$ thấp, bằng từ $0,2 \div 0,3$. Tải tăng $P_1 \uparrow$, $\cos\varphi \uparrow$ đạt đến định mức $\cos\varphi_{dm} = 0,8 \div 0,9$.

Khi quá tải, dòng điện vượt định mức, từ thông tần tăng, $Q_1 \uparrow$, $\cos\varphi \downarrow$. Vậy không nên cho máy làm việc không tải hoặc non tải.

Ví dụ 4.5: Một máy điện không đồng bộ có số đôi cực $p = 2$, $f = 50\text{Hz}$. Tính tốc độ đồng bộ và tốc độ quay của động cơ (vòng/phút) khi hệ số trượt $s = 0,02$?

Giải:

Tốc độ đồng bộ hay tốc độ của từ trường:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ (vòng / phút)}$$

Tốc độ quay của động cơ:

$$n = n_1(1-s) = 1500 \cdot (1 - 0,02) = 1470 \text{ (vòng / phút)}$$

Ví dụ 4.6: Động cơ không đồng bộ có $f = 50 \text{ Hz}$; $\cos\varphi_{dm} = 0,88$; công suất trên trục là 90 kW , hiệu suất của động cơ là 80% . Biết điện áp dây của mạng là $380V$, Hãy tìm công suất động cơ tiêu thụ và dòng điện định mức của động cơ?

Giải:

Công suất động cơ tiêu thụ:

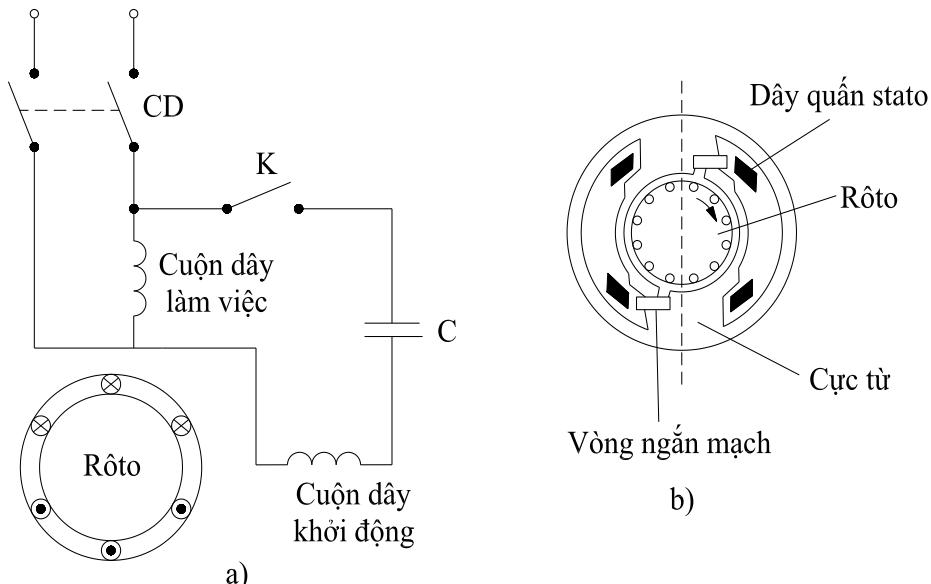
$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{P_{tr}}{\eta} = \frac{90}{0,8} = 112,5 \text{ (kW)}$$

Dòng điện định mức của động cơ:

$$\begin{aligned} P_1 &= \sqrt{3}U_{dm}I_{dm} \cos\varphi_{dm} \\ \Rightarrow I_{dm} &= \frac{P_1}{\sqrt{3}U_{dm} \cos\varphi_{dm}} = \frac{112,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88} = 194,23 \text{ (A)} \end{aligned}$$

4.3.6. Động cơ điện không đồng bộ một pha

Về cấu tạo stator chỉ có dây quấn 1 pha, rôto thường là loại lồng sóc, dây quấn stator nối với lưới điện xoay chiều một pha.



Hình 4.42. Mở máy động cơ không đồng bộ

Dòng điện xoay chiều 1 pha đi vào dây quấn không tạo từ trường quay. Mà tạo ra từ trường có phuơng và độ lớn không đổi còn chiều thay đổi gọi là từ trường đập mạch.

Vì vậy khi cho dòng điện vào stator động cơ không tự quay được. Muốn động cơ quay ta phải quay rôto theo chiều nào đó và rôto quay theo chiều ấy và động cơ sẽ làm việc theo chiều đó.

Với động cơ điện không đồng bộ 1 pha, ta cần phải có biện pháp mở máy nghĩa là phải tạo cho động cơ một pha mômen mở máy. Ta có thể mở máy bằng cách dùng dây quấn phụ mở máy (Hình 4.42a) hoặc sử dụng vòng ngắn mạch ở cực từ (Hình 4.42b).

Ưu điểm của động cơ 1 pha là cấu tạo đơn giản, sử dụng lưới điện 1 pha nên sử dụng nhiều trong kỹ thuật và đời sống.

Nhược điểm của động cơ 1 pha là $\cos\phi$ thấp, hiệu suất thấp vì tổn hao rôto lớn, mômen nhỏ làm việc kém ổn định, khả năng quá tải kém.

4.4. Máy điện đồng bộ

4.4.1. Khái niệm, công dụng và cấu tạo của máy điện đồng bộ

a) Khái niệm

Máy điện đồng bộ là máy điện xoay chiều có tốc độ rôto n bằng tốc độ từ trường quay trong máy n_1 . Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay của rôto luôn không đổi.

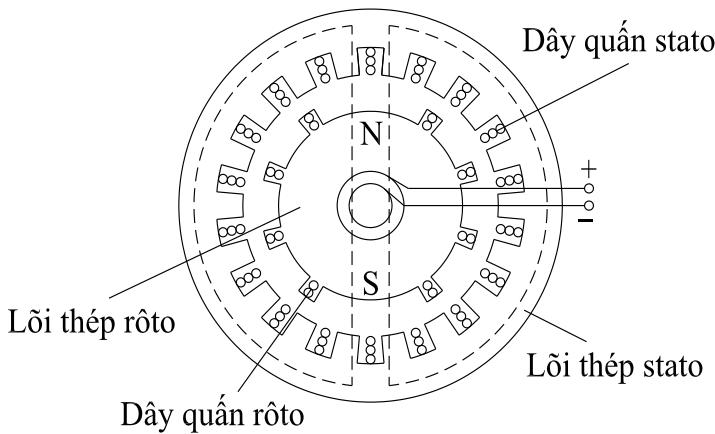
b) Công dụng

Chủ yếu dùng làm máy phát, ngày nay các máy phát điện công suất lớn có công suất vài trăm MVA với nguồn cơ năng dùng thủy lực, hình thành các nhà máy thủy điện cung cấp cho khu vực hay quốc gia.

c) Cấu tạo

Cấu tạo của máy điện đồng bộ gồm hai bộ phận chính là stator và rôto.

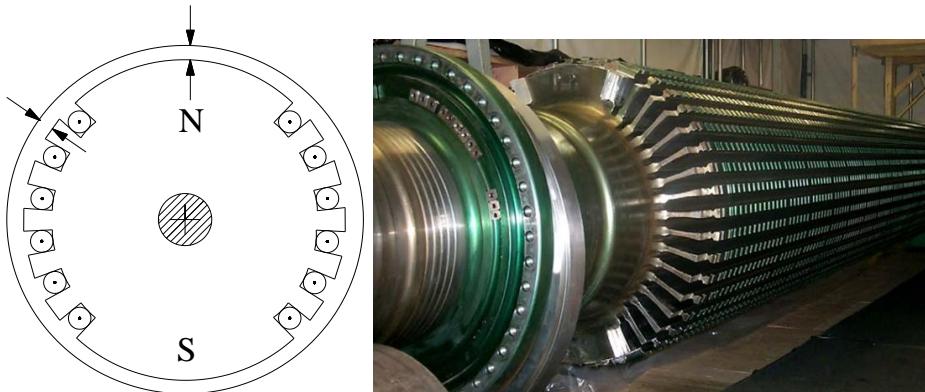
Stator của máy điện đồng bộ giống như stator của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stator và dây cuốn ba pha stator. Lõi thép stator được làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày cỡ 0,5 mm, hai mặt có phủ cách điện. Lõi thép stator được đặt cố định trong thân máy. Dây cuốn stator còn gọi là dây cuốn phần ứng.



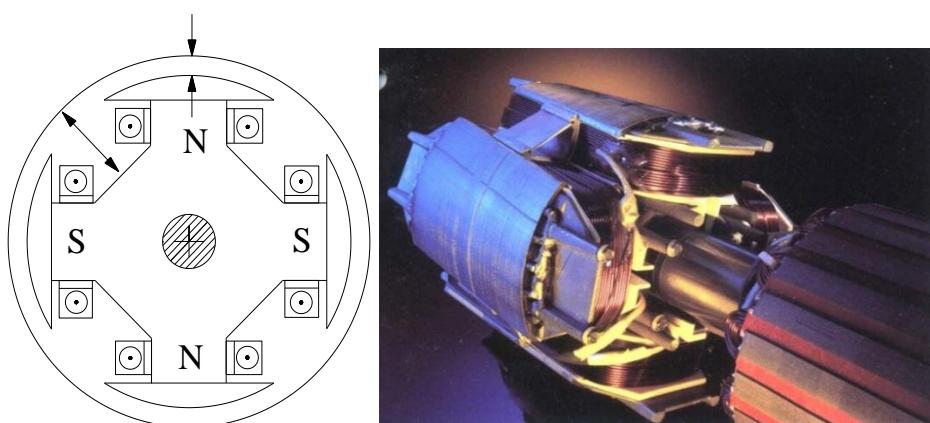
Hình 4.43. Mặt cắt ngang lõi thép của máy điện đồng bộ

Rôto của máy điện đồng bộ là nam châm điện gồm có lõi thép và dây cuốn kích từ. Dòng điện đưa vào dây cuốn kích từ là dòng điện một

chiều. Rôto của máy điện đồng bộ có hai kiểu là rôto cực lồi và rôto cực ẩn (Hình 4.44 và Hình 4.45)



Hình 4.44. Rôto cực ẩn máy điện đồng bộ⁽¹⁾



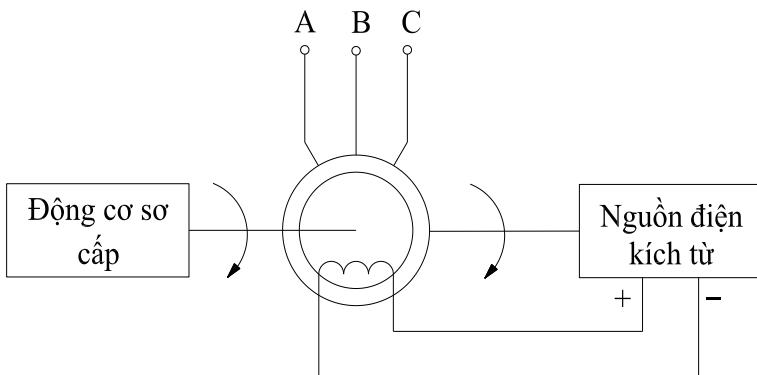
Hình 4.45. Rôto cực lồi máy điện đồng bộ⁽²⁾

4.4.2. Nguyên lý hoạt động của máy phát điện đồng bộ

Cho dòng điện kích từ (dòng điện không đổi), vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto.

⁽¹⁾ Khoa điện-điện tử, *Bài giảng kỹ thuật điện điện tử*, Đại học Bách khoa thành phố Hồ Chí Minh

⁽²⁾ Khoa điện-điện tử, *Bài giảng kỹ thuật điện điện tử*, Đại học Bách khoa thành phố Hồ Chí Minh



Hình 4.46. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy phát điện đồng bộ

Khi rôto quay bằng động cơ sơ cấp từ trường của rôto cắt dây quấn phần ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin, có giá trị hiệu dụng là:

$$E = \frac{2\pi f N_1 k_{dq} \Phi_0}{\sqrt{2}} \quad (4.65)$$

Trong đó: E , N_1 , k_{dq} , Φ_0 lần lượt là sức điện động pha, số vòng dây 1 pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rôto.

Nếu rôto có p đôi cực, khi rôto quay được một vòng, sức điện động phần ứng sẽ biến thiên p chu kỳ, do đó nếu tốc độ của rôto là n (vòng/phút), tần số của sức điện động là:

$$f = \frac{pn}{60} \quad (4.66)$$

Dây quấn ba pha stato có trục lệch nhau trong không gian một góc là 120° điện, cho nên sức điện động các pha lệch nhau góc pha 120° .

Dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện ba pha. Giống như ở máy điện không đồng bộ, dòng điện ba pha trong dây quấn sẽ tạo nên từ trường quay, với tốc độ là $n_1 = 60f/p$, đúng bằng tốc độ n của rôto. Do đó kiểu máy điện này gọi là máy điện đồng bộ.

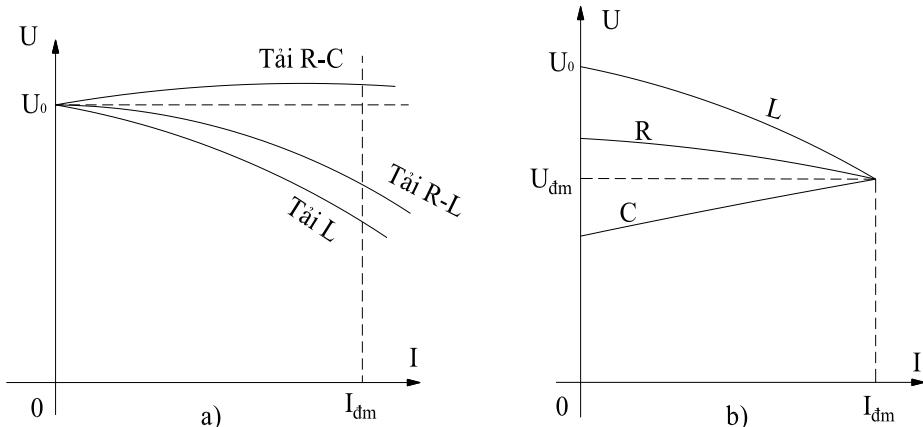
4.4.3. Đặc tính làm việc của máy phát điện đồng bộ

a) Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính ngoài của máy phát điện là quan hệ điện áp U trên cực của

máy phát điện và dòng điện tải I khi tính chất tải không đổi ($\cos\varphi_t = \text{const}$), tần số và dòng điện kích từ là không đổi.

Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ như Hình 4.47.



Hình 4.47. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Khi tải tăng, đối với tải cảm và trở điện áp giảm (tải cảm điện áp giảm nhiều hơn), đối với tải điện dung điện áp tăng. Bằng đồ thị Hình 4.47a ta nhận thấy điện áp phụ thuộc vào dòng điện và đặc tính của tải.

Khi tải có tính chất điện cảm, phản ứng phản ứng pha trước khử từ làm cho từ thông tổng giảm do đó đặc tính ngoài dốc hơn tải điện trở (Hình 4.47b) để giữ điện áp U bằng định mức, phải thay đổi U_0 bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ.

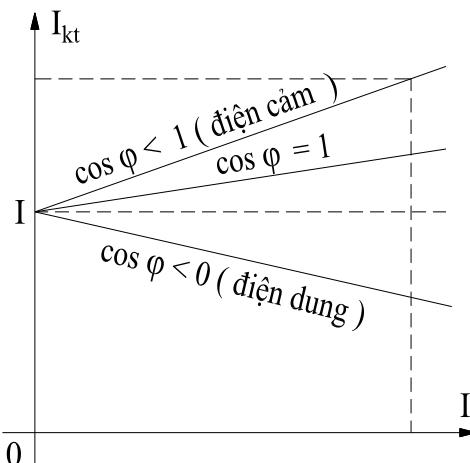
Độ thay đổi điện áp ở đầu cực của máy phát khi làm việc định mức so với lúc không tải được xác định như sau:

$$\Delta U \% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100\% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100\% \quad (4.67)$$

b) Đặc tính điều chỉnh

Đặc tính điều chỉnh là quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng điện tải $I_{kt} = f(I)$ khi điện áp U không đổi (Hình 4.48).

Khi điện áp U không đổi và bằng giá trị định mức, $\cos\varphi = \text{const}$, $f = f_{dm}$, nó cho biết chiều hướng điều chỉnh dòng điện I_{kt} của máy phát để giữ cho điện áp U ở đầu máy không đổi.



Hình 4.48. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ

Khi tải cảm tăng, tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng cũng tăng làm cho U bị giảm. Để giữ cho U không đổi phải tăng dòng điện kích từ I_{kt} , ngược lại tải điện dung khi tăng I , muốn giữ U không đổi phải giảm I_{kt} .

4.4.4. Động cơ điện đồng bộ

a) Nguyên lý hoạt động của động cơ điện đồng bộ

Khi ta cho dòng điện xoay chiều ba pha i_A, i_B, i_C vào dây quấn stato, tương tự như động cơ điện không đồng bộ, dòng điện 3 pha sẽ tạo ra từ trường quay với tốc độ $n_1 = \frac{60f}{p}$.

Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto, rôto biến thành nam châm điện. Tác dụng tương hỗ giữa từ trường stato và từ trường rôto sẽ có tác dụng lên rôto. Khi từ trường stato quay với tốc độ n_1 , lực từ tác dụng sẽ kéo rôto quay với tốc độ $n = n_1$.

b) Mở máy động cơ đồng bộ

Muốn động cơ đồng bộ làm việc, phải tạo nên mômen mở máy để quay rôto đồng bộ với từ trường quay stato, giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều.

Để tạo ra mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôto người ta đặt các thanh dẫn nối ngắn mạch như rôto lồng sóc ở động cơ không đồng bộ.

Trong quá trình mở máy dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phỏng điện có giá trị bằng $6 \div 10$ lần điện trở dây quấn kích từ. Khi rôto quay đến tốc độ gần bằng tốc độ đồng bộ n_1 , đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ.

c) Máy bù đồng bộ

Máy bù đồng bộ thực chất là động cơ đồng bộ làm việc không tải với dòng điện kích từ được điều chỉnh để phát hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, duy trì được điện áp quy định của lưới điện ở khu vực tập trung hộ dùng điện.

Để phát ra công suất phản kháng cho máy bù làm việc ở chế độ quá kích từ, còn để tiêu thụ công xuất phản kháng từ lưới điện cho máy bù làm việc ở chế độ thiểu kích từ.

Ví dụ 4.7: Một động cơ đồng bộ 3 pha có số đôi cực $p = 2$, được cấp điện từ nguồn có tần số 50Hz. Tính tốc độ đồng bộ?

Giải:

$$\text{Tốc độ đồng bộ: } n = n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ (vòng / phút)}$$

Ví dụ 4.8: Một máy phát điện đồng bộ 3 pha cực ẩn phát ra công suất tác dụng $P=35000\text{kW}$; $U = 10,5\text{kV}$; $\cos\varphi = 0,7$. Hãy tìm dòng điện máy phát, công suất phản kháng Q và công suất biểu kiến S ?

Giải:

$$\text{Dòng điện máy phát: } I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,7} = 2749,3 \text{ (A)}$$

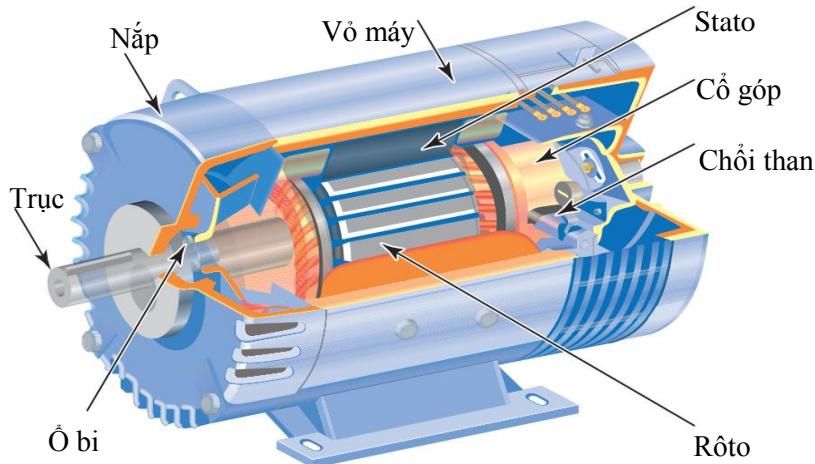
$$\text{Công suất phản kháng: } Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi = 35707,1 \text{ (kVAr)}$$

$$\text{Công suất biểu kiến: } S = \frac{P}{\cos\varphi} = 50000 \text{ (kVA)}.$$

4.5. Máy điện một chiều

4.5.1. Cấu tạo của máy điện một chiều

Gồm các phần chính: Stato, rôto, dây quấn, cỗ góp và chổi than (xem Hình 4.49).



Hình 4.49. Các bộ phận chính của máy điện một chiều⁽¹⁾

a) *Stato*

Stato còn gọi là phần cảm, gồm lõi thép bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy. Các cực từ chính có dây quấn kích từ.

b) *Rôto*

Rôto của máy điện một chiều gọi là phần ứng, gồm lõi thép và dây quấn phản ứng.

Lõi thép hình trụ được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện dày cỡ 0,5mm, phủ sơn cách điện. Các lá thép được dập, có lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn.

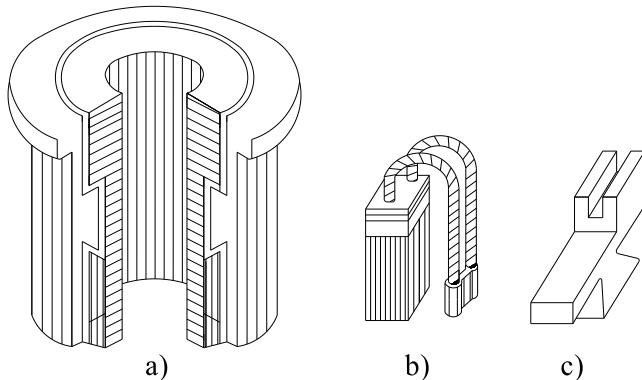
Dây quấn phản ứng được ghép từ các phần tử (khung dây) nối tiếp nhau, các phần tử chia thành các mạch nhánh song song.

c) *Cỗ gót và chổi than*

Cỗ gót Hình 4.50a gồm nhiều phiến góp Hình 4.50c ghép lại có cách điện, có dạng hình trụ, gắn ở đầu trục rôto.

Chổi than Hình 4.50b làm bằng than graphit. Các chổi than tỳ sát lên cỗ gót nhờ lò xo và chổi than gắn trên nắp máy.

⁽¹⁾ Frank D. Petruzzella, *Electric motors and control systems*, McGraw-Hill, 2009

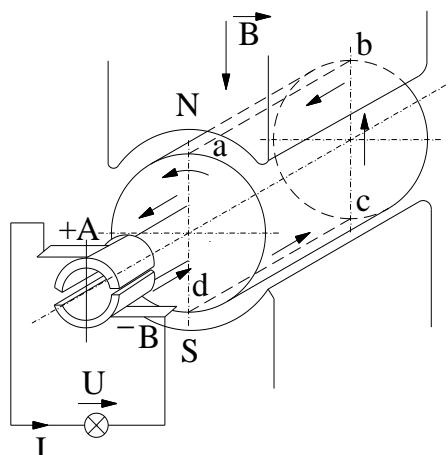


Hình 4.50. Cỗ góp và chổi than máy điện một chiều

4.5.2. Nguyên lý hoạt động của máy điện một chiều

a) Máy phát điện một chiều

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sức điện động cảm ứng xác định theo quy tắc bàn tay phải. Trên Hình 4.51, từ trường hướng từ cực N đến cực S (từ trên xuống dưới), chiều quay phần ứng ngược chiều kim đồng hồ, ở thanh dẫn phía trên, sức điện động có chiều từ b đến a, ở thanh dẫn phía dưới, sức điện động có chiều từ d đến c. Sức điện động phản từ bằng hai lần sức điện động thanh dẫn. Nếu nối hai chổi than A và B với tải, trên tải có dòng điện, điện áp máy phát có cực dương ở chổi than A và cực âm ở chổi than B.



Hình 4.51. Nguyên lý hoạt động của máy phát điện một chiều

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh ab ở cực S, thanh cd ở cực N, sức điện động thanh vẫn đổi chiều. Nhờ có chổi điện đứng yên, chổi điện A vẫn nối phiên góp phía trên, chổi than B nối phiên góp phía dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi. Ta có máy phát điện một chiều với cực dương chổi than A, cực âm chổi than B.

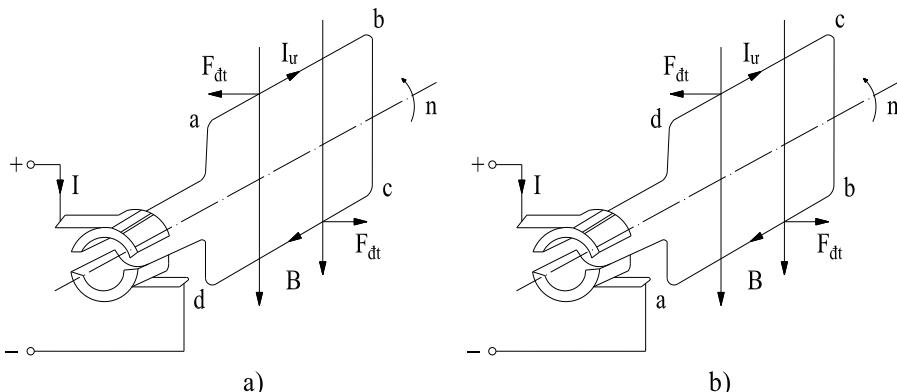
Để điện áp lớn và ít đập mạch, dây cuốn phải có nhiều phần tử, nhiều phiên đổi chiều.

Ở chế độ máy phát điện dòng điện phần ứng I_u cùng chiều với sức điện động phần ứng E_u .

Phương trình cân bằng điện áp trên hai cực của máy phát sẽ là:

$$U = E_u - I_u R_u \quad (4.68)$$

b) Động cơ điện một chiều



Hình 4.52. Nguyên lý hoạt động của động cơ điện một chiều

Khi cho điện áp U vào chổi than A và B, trong dây cuốn phần ứng có dòng điện. Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện nằm trong từ trường, sẽ chịu lực tác dụng làm cho rôto quay. Chiều lực từ xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi vị trí cho nhau, do có phiên góp, đổi chiều dòng điện, giữ cho lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều không đổi.

Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường, sẽ cảm ứng sức điện động E_u . Chiều sức điện động xác định theo quy tắc bàn tay phải. Ở chế

độ động cơ điện, chiều sức điện động E_u ngược chiều với dòng điện I_u , nên E_u còn gọi là sức phản điện.

Phương trình cân bằng điện áp sẽ là:

$$U = E_u + R_u I_u \quad (4.69)$$

4.5.3. Quan hệ điện từ trong máy điện một chiều

a) Sức điện động phần ứng

Khi quay rôto, các thanh dẫn của dây cuốn phần ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động là:

$$E_{td} = B\ell v \quad (4.70)$$

Trong đó:

B là cảm ứng từ nơi thanh dẫn quét qua.

ℓ là chiều dài dây dẫn nằm trong từ trường.

v là tốc độ dài của thanh dẫn.

E_{td} là sức điện động thanh dẫn.

Dây cuốn phần ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau thành mạch vòng kín. Các chồi than chia dây cuốn thành nhiều nhánh song song. Sức điện động phần ứng bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một mạch nhánh. Nếu số thanh dẫn của dây cuốn là N , số mạch nhánh song song là $2a$ (a là số đôi nhánh), số thanh dẫn của một nhánh là: $\frac{N}{2a}$, sức điện động phần ứng E_u là:

$$E_u = E_{td} \frac{N}{2a} \quad (4.71)$$

Tốc độ dài v được xác định theo tốc độ quay n (vòng/phút):

$$v = \frac{\pi D n}{60} \quad (4.72)$$

Với D là bề rộng của khung dây phần ứng.

Nếu từ thông của mỗi cực từ là Φ , số cực từ là $2p$, diện tích mặt ngoài phần ứng là S thì trung bình của mật độ từ thông dưới mỗi cực từ (hay cảm ứng từ trung bình) sẽ là:

$$B = \frac{\Phi 2p}{S} = \frac{\Phi 2p}{\pi D \ell} \quad (4.73)$$

Thay (4.70), (4.72) và (4.73) vào (4.71) ta được:

$$E_u = \frac{N}{2a} \frac{\Phi 2p}{\pi D \ell} \ell \frac{\pi D n}{60} = \frac{pN}{60a} \Phi n$$

Ký hiệu $k_E = \frac{pN}{60a}$ là hệ số phụ thuộc vào cấu tạo phần ứng. Ta có:

$$E_u = k_E \Phi n \quad (4.74)$$

b) Công suất điện từ, mômen điện từ của máy điện một chiều

Công suất điện từ của máy điện một chiều:

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (4.75)$$

Thay giá trị E_u từ (4.74) vào (4.75) ta có:

$$P_{dt} = \frac{pN}{60a} n \Phi I_u \quad (4.76)$$

Mômen điện từ là:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_r} \quad (4.77)$$

ω_r là tần số góc quay của rôto, được tính theo biểu thức:

$$\omega_r = \frac{2\pi n}{60} \quad (4.78)$$

Thay (4.76) và (4.78) vào (4.77), ta có biểu thức mômen điện từ:

$$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi = k_M I_u \Phi \quad (4.79)$$

Trong đó $k_M = \frac{pN}{2\pi a}$ là hệ số phụ thuộc vào kết cấu của dây quấn.

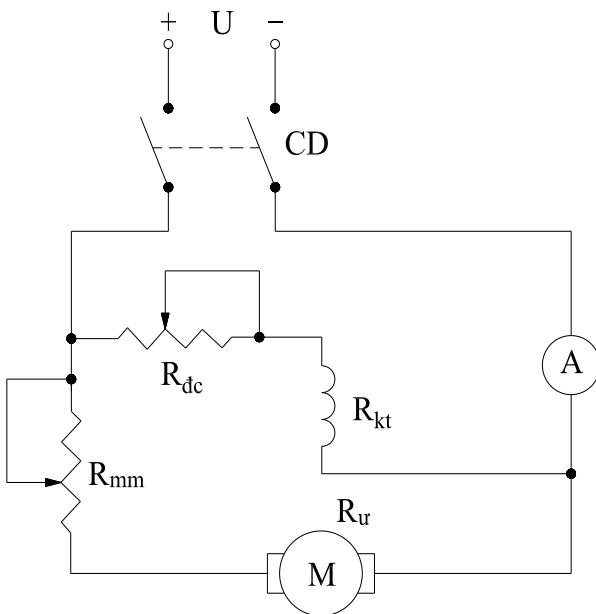
4.5.4. Động cơ điện một chiều

a) Mở máy động cơ điện một chiều

Phương trình cân bằng điện áp ở mạch phần ứng là:

$$U = E_u + R_u I_u$$

Khi mở máy, tốc độ $n = 0$, sức điện động phần ứng $E_u = k_E n \Phi = 0$



Hình 4.53. Mở máy động cơ điện một chiều

Dòng điện phần ứng lúc mở máy là:

$$I_{u_{mm}} = \frac{U}{R_u} \quad (4.80)$$

Vì R_u rất nhỏ nên $I_{u_{mm}}$ rất lớn khoảng $(20 \div 30)$ lần I_{dm} dễ làm hỏng cỗ gòp, chổi than và ảnh hưởng đến lưới điện. Để giảm dòng mở máy, đặt $I_{mm} = (1,5 \div 2).I_{dm}$, ta dùng các biện pháp sau:

Dùng điện trở mở máy: Khi mắc điện trở vào phần ứng tốc độ giảm. Vì dòng toàn phần lớn nên tốn hao công suất lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng cho các động cơ công suất nhỏ.

$$I_{u_{mm}} = \frac{U}{R_u + R_{mm}} \quad (4.81)$$

Giảm điện áp phần ứng: Dùng nguồn điện áp điều chỉnh được để cấp điện cho động cơ. Phương pháp này được sử dụng nhiều.

Thay đổi từ thông: Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng kích từ.

Khi điều chỉnh tốc độ động cơ ta kết hợp các phương pháp trên, chẳng hạn phương pháp thay đổi từ thông kết hợp với phương pháp thay

đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh rất rộng. Đây là ưu điểm lớn của động cơ điện một chiều.

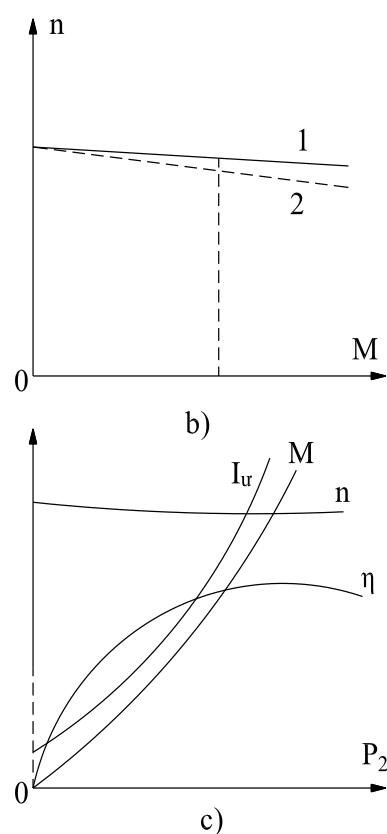
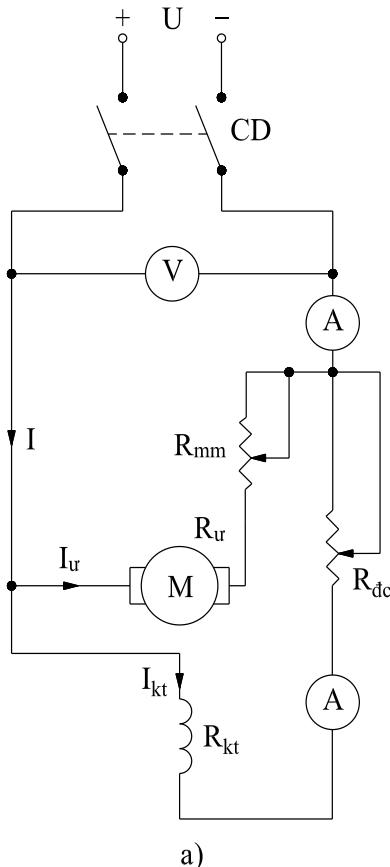
b) Động cơ điện một chiều kích từ song song

Sơ đồ nối dây động cơ điện một chiều kích từ song song như Hình 4.54a.

Để mở máy ta dùng biến trở mở máy R_{mm} . Để điều chỉnh tốc độ động cơ ta dùng biến trở điều chỉnh R_{dc} điều chỉnh dòng kích từ I_{kt} .

Đường đặc tính $n = f(M)$

Biểu diễn quan hệ giữa tốc độ quay n và mômen quay M khi điện áp $U = \text{const}$, điện trở mạch phần ứng $R_u = \text{const}$, điện trở mạch kích từ $R_{kt} = \text{const}$.



Hình 4.54. Động cơ điện một chiều kích từ song song

Từ phương trình (4.74) và (4.69) ta có:

$$\begin{aligned} U &= E_u + R_u I_u = k_E \Phi n + R_u I_u \\ \Rightarrow n &= \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u}{k_E \Phi} I_u \end{aligned} \quad (4.82)$$

Thay I_u từ (4.79) vào (4.82) ta có:

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u}{k_E k_M \Phi^2} M \quad (4.83)$$

Nếu phần ứng được mắc thêm điện trở phụ R_{uf} khi đó (4.83) trở thành:

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u + R_{uf}}{k_E k_M \Phi^2} M \quad (4.84)$$

Quan hệ $n = f(M)$ vẽ trên Hình 4.54b trong đó đường 1 là đường đặc tính cơ tự nhiên ($R_{uf} = 0$), còn đường 2 với $R_{uf} \neq 0$.

Đặc tính làm việc:

Đường đặc tính làm việc được xác định khi điện áp và dòng điện kích từ không đổi khi kích từ song song. Đó là các đường biểu diễn quan hệ giữa tốc độ n , mômen M , dòng điện phần ứng I_u , và hiệu suất η theo công suất trên trục P_2 (Hình 4.54c).

Ta nhận thấy rằng động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng, và tốc độ hầu như không thay đổi khi công suất trên trục P_2 thay đổi. Chúng được sử dụng nhiều trong các máy kim loại, các máy công cụ, v.v... Khi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ người ta sử dụng máy điện kích từ nối tiếp.

c) *Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp*

Sơ đồ nối dây động cơ điện kích từ nối tiếp trên Hình 4.55a.

Để mở máy ta dùng biến trở R_{mm} . Để điều chỉnh tốc độ ta dùng các phương pháp đã trình bày ở trên, song cần chú ý rằng để điều chỉnh từ thông, ta mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.

Đường đặc tính cơ:

Giả sử dòng điện phần ứng I_u và từ thông Φ tỉ lệ với nhau, nghĩa là:

$$I_u = k_I \Phi \quad (4.85)$$

$$\text{Do đó: } M = k_M I_u \Phi = k_M k_I \Phi^2 = k^2 \Phi^2$$

Hay:

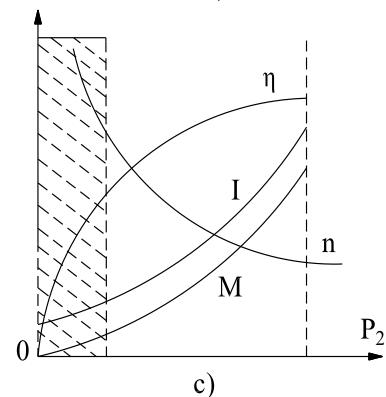
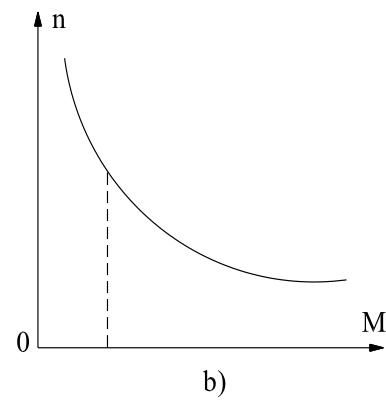
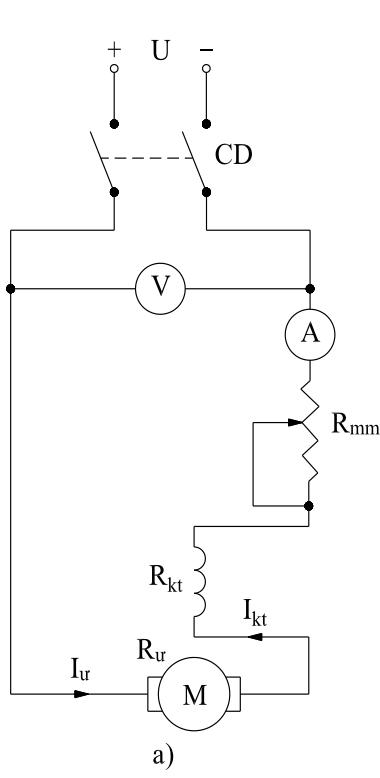
$$\Phi = \frac{\sqrt{M}}{k} \quad (4.86)$$

$$\text{Trong đó: } k = \sqrt{k_M k_I}$$

Thay (4.85) và (4.86) vào (4.82) ta có:

$$n = \frac{kU}{k_E \sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E} = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u \quad (4.87)$$

Trong đó $a = k/k_E$ và $b = k_I/k_E$.



Hình 4.55. Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Từ (4.87) ta thấy rằng đường đặc tính cơ có dạng hyperbol (Hình 4.55b). Đường đặc tính cơ mềm, mômen tăng thì tốc độ động cơ giảm. Khi không tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng có thể gây ra hỏng động cơ về mặt cơ khí, vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp chạy không tải hoặc tải nhỏ.

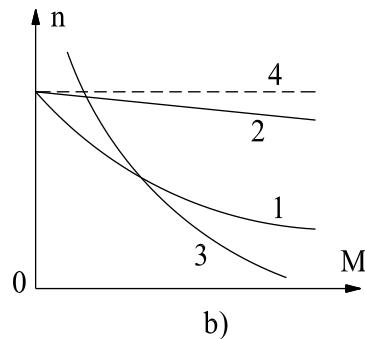
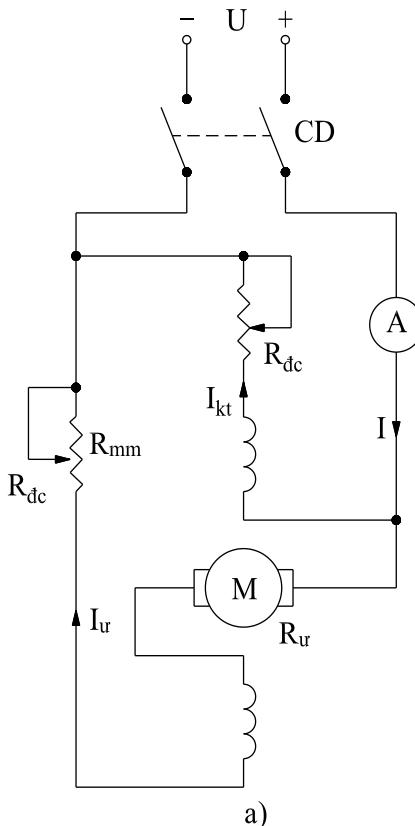
Đường đặc tính làm việc:

Trên Hình 4.55c vẽ các đường đặc tính làm việc. Động cơ cho phép làm việc với tốc độ nhỏ hơn tốc độ giới hạn n_{gh} (miền gạch chéo).

Động cơ kích từ nối tiếp thích hợp cho các trường hợp tải nặng được dùng nhiều trong giao thông vận tải hoặc trong các thiết bị cần trực, v.v...

d) *Động cơ điện một chiều kích từ nối hợp*

Sơ đồ nối dây động cơ điện kích từ nối hợp trên Hình 4.56a.



Hình 4.56. Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường 2 dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược (từ trường hai dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.

Đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (đường 1) sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ của động cơ kích từ song song (đường 2) và động cơ kích từ nối tiếp (đường 3) (Hình 4.57b).

Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp với dây quấn kích từ nối tiếp là dây quấn kích từ chính, còn dây quấn kích từ song song là phụ và nối thuận được sử dụng khi động cơ làm việc nặng nề. Dây quấn kích từ song song bảo đảm tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi mômen nhỏ.

Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp có dây quấn kích từ nối tiếp là kích từ phụ và nối ngược, có đặc tính cơ rất cứng đường 4 Hình 4.57b, nghĩa là tốc độ quay hầu như không đổi khi mômen thay đổi. Ngược lại khi nối thuận, sẽ làm cho đặc tính của động cơ mềm hơn, mômen mở máy lớn hơn, thích hợp với máy ép, máy bơm, máy nghiền, máy cán, v.v...

Ví dụ 4.9: Một động cơ điện một chiều kích từ song song có: Công suất định mức $P_{dm} = 25 \text{ kW}$, điện áp định mức $U_{dm} = 115 \text{ V}$, điện trở dây quấn phần ứng $R_u = 0,024 \Omega$, điện trở dây quấn kích từ song song $R_{kt} = 12,5 \Omega$, số đôi nhánh $a = 2$, số đôi cực $p=2$, số thanh dẫn $N = 300$, tốc độ quay $n = 1300 \text{ vòng/phút}$. Hãy tính sức điện động phần ứng E_u , từ thông Φ .

Giải:

Dòng điện định mức của động cơ:

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} = \frac{25 \cdot 10^3}{115} = 217,391 \text{ (A)}$$

Dòng điện kích từ của động cơ:

$$I_{kt} = \frac{U_{dm}}{R_{kt}} = \frac{115}{12,5} = 9,2 \text{ (A)}$$

Dòng điện phần ứng:

$$I_u = I_{dm} - I_{kt} = 217,391 - 9,2 = 208,191 \text{ (A)}$$

Sức điện động phần ứng:

$$E_u = U_{dm} - I_u R_u = 115 - 208,191 \cdot 0,024 = 110 \text{ (V)}$$

Từ thông Φ :

$$\Phi = \frac{60aE_u}{pNn} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 110}{2 \cdot 300 \cdot 1300} = 1,692 \cdot 10^{-2} \text{ (Wb)}$$

Ví dụ 4.10: Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp có: Điện áp định mức $U_{dm}=220 \text{ V}$, dòng điện định mức $I_{dm} = 94A$, điện trở dây quấn phần ứng và kích từ nối tiếp $R_u + R_{nt} = 0,17 \Omega$, điện trở dây quấn kính từ song song $R_{kt//} = 338\Omega$, số đôi nhánh $a=1$, số đôi cực $p = 2$, số thanh dẫn $N = 372$, tốc độ quay $n = 1100 \text{ vòng/phút}$.

Tính sức điện động E_u , từ thông Φ , công suất điện từ, mômen điện từ.

Giải:

Dòng điện kích từ song song của động cơ:

$$I_{kt//} = \frac{U_{dm}}{R_{kt//}} = \frac{220}{338} = 0,651 \text{ (A)}$$

Dòng điện phần ứng:

$$I_u = I_{dm} - I_{kt//} = 94 - 0,651 = 93,349 \text{ (A)}$$

Sức điện động phần ứng:

$$E_u = U - I_u (R_u + R_{nt}) = 220 - 93,349 \cdot 0,17 = 204,131 \text{ (V)}$$

Từ thông Φ :

$$\Phi = \frac{60aE_u}{pNn} = \frac{60 \cdot 1 \cdot 204,131}{2 \cdot 372 \cdot 1100} = 1,497 \cdot 10^{-2} \text{ (Wb)}$$

Công suất điện từ:

$$P_{dt} = E_u I_u = 204,131 \cdot 93,349 = 19,055 \text{ (kW)}$$

Mômen điện từ:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega} = \frac{P_{dt}}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{19055 \cdot 60}{2\pi \cdot 1100} = 165,42 \text{ (Nm)}.$$

Tóm tắt nội dung chương 4

1. Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Máy điện gồm máy điện tĩnh và máy điện quay.

2. Định luật cảm ứng điện từ cho từ thông xuyên qua vòng dây biến thiên:

$$e(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} = -\frac{d\psi(t)}{dt}$$

3. Định luật cảm ứng điện từ cho thanh dẫn chuyển động trong từ trường:

$$E = B\ell v$$

4. Định luật lực điện từ: $F = BI\ell$

5. Định luật mạch từ: $\sum_{j=1}^n H_j \ell_j = \sum_{k=1}^m N_k i_k$

6. Máy biến áp là thiết bị điện từ tĩnh, làm việc dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ dùng để biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành hệ thống xoay chiều ở điện áp khác nhưng giữ nguyên tần số.

7. Cấu tạo MBA gồm các bộ phận chính sau: Lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

8. Công suất định mức của MBA 1 pha: $S_{dm} = I_{2dm} U_{2dm}$

Công suất định mức của MBA 3 pha: $S_{dm} = \sqrt{3} I_{2dm} U_{2dm}$

9. Tỷ số MBA:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

10. Mô hình toán MBA:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{Z}_t \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \end{cases}$$

11. Các chế độ MBA gồm chế độ không tải, chế độ ngắn mạch, chế độ có tải.

12. Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto n khác với tốc độ quay của từ trường n_1 .

13. Từ trường quay và hệ số trượt lần lượt là:

$$n_1 = \frac{60f}{p}; s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

14. Máy điện không đồng bộ gồm các bộ phận chính sau: Stato, rôto, vỏ máy và nắp máy.

15. Máy điện không đồng bộ hoạt động ở chế độ máy phát điện không đồng bộ khi:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0$$

16. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ: Tốc độ quay $n = f(P_2)$, hiệu suất $\eta = f(P_2)$, hệ số công suất $\cos\phi = f(P_2)$.

17. Động cơ điện không đồng bộ một pha, ta cần phải có biện pháp mở máy bằng cách sử dụng dây quần phụ mở máy hoặc sử dụng vòng ngắn mạch ở cực từ.

18. Máy điện đồng bộ là máy điện xoay chiều có tốc độ rôto n bằng tốc độ từ trường quay trong máy:

$$n = n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

19. Các đặc tính làm việc của máy phát điện đồng bộ: Đặc tính ngoài thể hiện mối quan hệ giữa điện áp trên cực của máy phát và dòng điện tải (R, L, C) khi dòng điện kích từ là không đổi. Đặc tính điều chỉnh thể hiện quan hệ dòng điện kích từ và dòng điện tải $I_1 = f(I)$.

20. Máy điện 1 chiều có cấu tạo gồm các bộ phận chính: Stato, rôto, cỗ góp, chổi than. Phương trình cân bằng điện áp trên 2 cực máy phát điện 1 chiều:

$$U = E_u - I_u R_u$$

21. Sức điện động phần ứng của máy điện một chiều:

$$E_u = k_E \Phi n ; \quad k_E = \frac{pN}{60a}$$

22. Công suất điện từ của máy điện một chiều:

$$P_{dt} = E_u I_u = \frac{pN}{60a} n \Phi I_u$$

23. Mômen điện từ của máy điện một chiều:

$$M_{dt} = k_M I_u \Phi; \quad k_M = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi$$

24. Phương trình cân bằng điện áp trên 2 cực động cơ điện 1 chiều:

$$U = E_u + I_u R_u$$

25. Động cơ điện 1 chiều có thể kích từ theo kiểu song song, nối tiếp hoặc hỗn hợp.

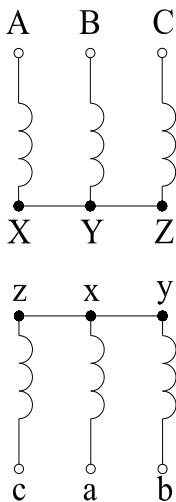
Câu hỏi và bài tập chương 4

- 4.1.** Hãy trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy biến áp.
- 4.2.** Giải thích mô hình toán học của máy biến áp.
- 4.3.** Phân tích cách quy đổi và sơ đồ thay thế máy biến áp.
- 4.4.** Trình bày thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp.
- 4.5.** Phân tích các loại tổn hao máy biến áp và cách tính hiệu suất máy biến áp.
- 4.6.** Hãy trình bày cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha.
- 4.7.** Phân biệt vai trò và công dụng của rôto lồng sóc và rôto dây quấn.
- 4.8.** Hãy trình bày sự hình thành từ trường quay của máy điện không đồng bộ.
- 4.9.** Giải thích nguyên lý hoạt động của máy điện không đồng bộ.
- 4.10.** Giải thích các loại công suất trên giản đồ năng lượng của động cơ không đồng bộ ba pha.
- 4.11.** Hãy trình bày cách mở máy của động cơ không đồng bộ một pha.
- 4.12.** Hãy trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy phát điện đồng bộ.
- 4.13.** Hãy trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy phát điện một chiều.
- 4.14.** Giải thích nguyên lý hoạt động của động cơ điện một chiều.
- 4.15.** Hãy trình bày cách tính sức điện động và mômen điện từ của máy điện một chiều.
- 4.16.** Hãy vẽ và giải thích sơ đồ đấu dây của các loại động cơ điện một chiều.
- 4.17.** Một MBA một pha lý tưởng công suất 20 kVA có tỉ số biến áp là 1200/120. Tính các dòng định mức sơ cấp và thứ cấp?
- 4.18.** Máy biến áp 1 pha có $S_{dm}=700$ kVA, $U_{1dm}=35$ kV, $U_{2dm}=0,4$ kV, $P_0= 502W$, $P_n = 1200$ W.
- a) Tính dòng điện định mức trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

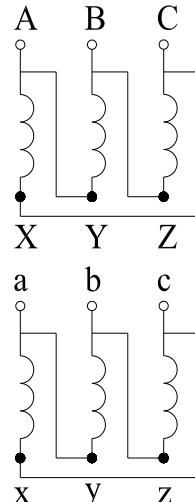
b) Tính hệ số tải khi hiệu suất cực đại. Tính hiệu suất cực đại đó biết $\cos\varphi = 0,8$.

4.19. Máy biến áp một pha có $R_1=0,35\Omega$, $X_1 = 3,93 \Omega$, $R_2=0,037\Omega$, $X_2=0,42\Omega$. Khi thí nghiệm không tải có: $U_{10} = 20210$ V, $U_{20} = 6600$ V, $I_0 = 12,3$ A, $P_0 = 26600$ W. Hãy tính các tham số của mạch điện tương (R_0 , X_0 , R_2' , X_2') và hệ số công suất khi thí nghiệm không tải.

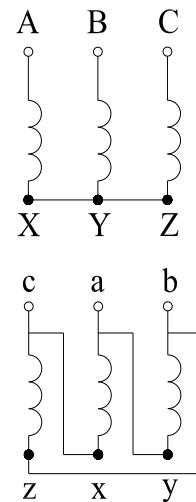
4.20. Xác định tò dây nối của máy biến áp trong Hình 4.57?



Hình 4.57



Hình 4.58



Hình 4.59

4.21. Xác định tò dây nối của máy biến áp trong Hình 4.58?

4.22. Xác định tò dây nối của máy biến áp trong Hình 4.59?

4.23. Máy biến áp 3 pha nối Y/Δ có $S_{dm} = 60$ kVA, $U_{1dm} = 35$ kV, $U_{2dm} = 0,4$ kV, $I_0\% = 11\%$, $P_0 = 502$ W, $P_n = 1200$ W. Hãy tính dòng điện định mức, dòng điện không tải, hệ số công suất không tải và hệ số tải khi hiệu suất cực đại.

4.24. Một máy điện không đồng bộ có số đôi cực $p = 4$, $f = 60$ Hz. Tính tốc độ quay của động cơ (v/phút) khi hệ số trượt $s = 0,04$?

4.25. Một động cơ không đồng bộ 3 pha dây quấn stator nối hình Δ, điện áp lưới 220V, tần số 50Hz. Thông số của động cơ: $p = 2$, $I_1 = 21$ A, $\cos\varphi = 0,82$, $s = 0,053$. Tính tốc độ động cơ, công suất điện động cơ tiêu thụ P_1 , tổng các tổn hao, công suất hữu ích trên trục P_2 , mômen của động cơ.

4.26. Một động cơ không đồng bộ 3 pha rôto lồng sóc có: $P_{dm}=14kW$, $p=2$, $n_{dm}=1450$ vòng/phút, hiệu suất động cơ $\eta_{dm} = 0,885$, $\cos\varphi_{dm} = 0,88$, $f = 50Hz$, statô nối hình Δ , điện áp lưới $380V$.

- Tính dòng điện, hệ số trượt định mức của động cơ.
- Công suất tác dụng và công suất phản kháng động cơ tiêu thụ.

4.27. Một động cơ không đồng bộ 3 pha rôto lồng sóc có các thông số: $P_{dm}=11,9kW$, $U_{dm} = 220V$, $I_{dm} = 25A$, $f = 50 Hz$, $2p = 6$, $\Delta P_{Cu2} = 480W$, $\Delta P_{Fe} = 235W$, $\Delta P_{co} = 180W$, $\Delta P_{phụ} = 60W$, $\cos\varphi = 0,82$.

- Tính công suất điện từ và mômen điện từ của động cơ.
- Tính tốc độ quay của động cơ.

4.28. Một động cơ điện một chiều kích từ song song $P_{dm} = 10kW$; $U_{dm} = 230 V$; $R_u = 0,05 \Omega$; $R_{kt} = 57,5 \Omega$. Hãy tính sức điện động phần ứng E_u .

4.29. Một động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp có: $I_{dm} = 26,6 A$, $U_{dm} = 110 V$, $R_u + R_{kt} = 0,282 \Omega$. Tính dòng điện mở máy trực tiếp và tính điện trở máy để dòng điện mở máy bằng 2 lần dòng điện định mức.

4.30. Một máy điện 1 chiều kích từ song song có: Công suất định mức $P_{dm}=12 kW$, điện áp định mức $U_{dm} = 220 V$, tốc độ định mức $n_{dm} = 685$ vòng/phút, dòng điện định mức $I_{dm} = 64A$, dòng điện kích từ định mức $I_{ktdm}=2A$, điện trở dây quấn phần ứng $R_u=0,281 \Omega$. Động cơ kéo tải có mômen cản không đổi. Để giảm tốc độ động cơ, người ta dùng hai phương pháp sau:

- Thêm điện trở phụ $R_p = 0,7 \Omega$ vào mạch phần ứng. Tính tốc độ và hiệu suất của động cơ ở trạng thái này.
- Giảm điện áp đặt vào động cơ. Tính tốc độ và hiệu suất lúc $U = 176,6 V$.

Tài liệu đọc thêm chương 4

1. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Kỹ thuật điện*, Nxb Khoa học & kỹ thuật, 2007.
2. Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thụ, Nguyễn Văn Sáu, *Máy điện 1,2*, Nxb Khoa học & kỹ thuật, 2006.
3. Nguyễn Trọng Thắng, *Giáo trình Kỹ thuật điện*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
4. A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Stephen D. Umans, *Electric Machinery*, Sixth Edition, Mc Graw Hill, 2003.
5. Stephen J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, fifth Edition, Mc Graw Hill, 2011.

Chương 5

KHÍ CỤ ĐIỆN HẠ ÁP

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 5

Sau khi học xong Chương 5, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được cấu tạo và công dụng của một số khí cụ điện hạ áp: Nút nhấn, ro-le điện từ, ro-le nhiệt, ro-le thời gian, công-tắc-tơ, khởi động từ, áp-tô-mát;
- Phân biệt được các ký hiệu của các khí cụ điện hạ áp trên bản vẽ kỹ thuật;
- Giải thích được nguyên lý hoạt động của các loại khí cụ điện hạ áp.

5.1. Nút nhấn

Nút nhấn được dùng trong mạch điều khiển, để ra lệnh điều khiển mạch hoạt động. Nút nhấn thường được lắp ở mặt trước của các tủ điều khiển.

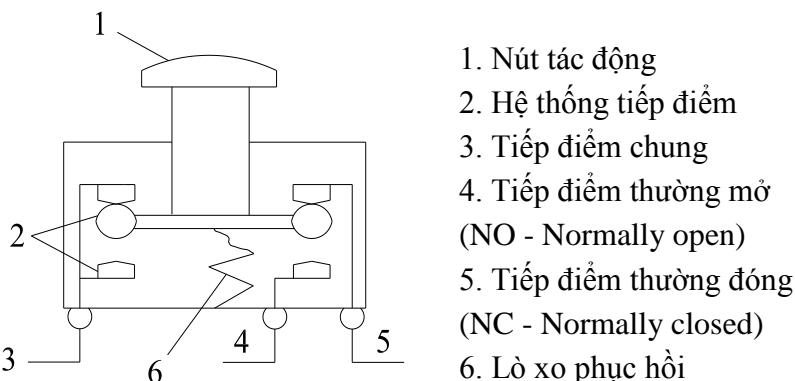
Hình ảnh thực tế của nút nhấn tự phục hồi như Hình 5.1.



Hình 5.1. Hình ảnh thực tế của nút nhấn tự phục hồi

Cấu tạo:

Cấu tạo của nút nhấn như Hình 5.2.



Hình 5.2. Cấu tạo nút nhấn tự phục hồi

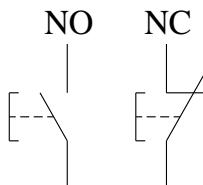
Nguyên lý hoạt động:

Khi chưa án vào nút tác động (1), trạng thái các tiếp điểm như Hình 5.2.

Khi án vào nút tác động (1) nếu lực án thẳng được lực đàn hồi của lò xo phục hồi (6) sẽ làm thay đổi vị trí các tiếp điểm thường mở (4) và thường đóng (5), tiếp điểm động sẽ tiếp xúc hoặc tách ra với tiếp điểm tĩnh, và do đó sẽ đóng/ngắt dòng điện đi qua nút nhấn.

Khi không án nút tác động nữa, do tác động của lò xo phục hồi nên trạng thái các tiếp điểm của nút nhấn lại trở lại như Hình 5.2.

Ký hiệu nút nhấn tự phục hồi trên các bản vẽ kỹ thuật như Hình 5.3.

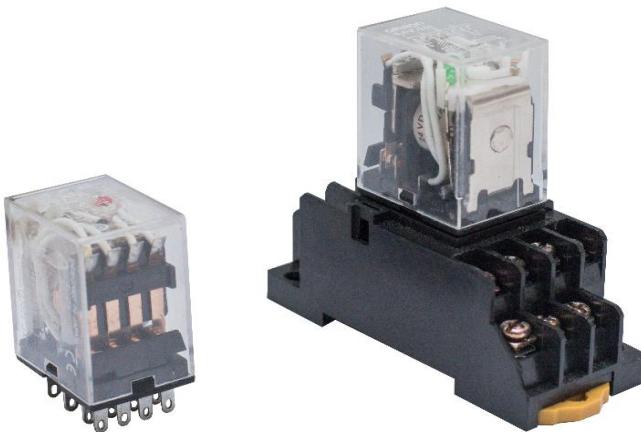


Hình 5.3. Ký hiệu nút nhấn tự phục hồi trên bản vẽ kỹ thuật

5.2. Rơ-le điện từ

Rơ-le điện từ (Electromagnetic relay) được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điều khiển có tiếp điểm. Nhiệm vụ chính là để cách ly tín hiệu điều khiển, nhằm đảm bảo cho mạch hoạt động tin cậy, đúng qui trình.

Hình ảnh của rơ-le điện từ trong thực tế như Hình 5.4.



Hình 5.4. Hình ảnh của ro-le điện từ trong thực tế

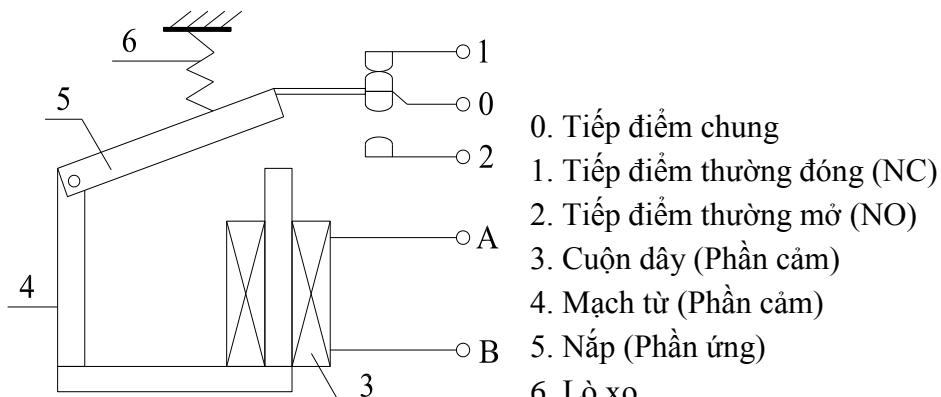
Cấu tạo:

Cấu tạo của ro-le điện từ như Hình 5.5.

Nguyên lý hoạt động:

Khi chưa cấp điện vào hai đầu A-B của cuộn dây (3), lực hút điện từ không sinh ra, trạng thái các chi tiết như Hình 5.5.

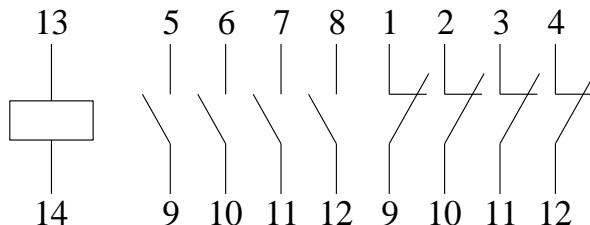
Khi đặt một điện áp đủ lớn vào A-B, dòng điện chạy trong cuộn dây sinh ra từ trường tạo ra lực hút điện từ. Nếu lực hút điện từ thắng được lực đàn hồi của lò xo thì nắp (5) được hút xuống. Khi đó tiếp điểm 0-1 mở ra và 0-2 đóng lại. Khi mất nguồn cung cấp, lò xo sẽ kéo các tiếp điểm lại trở về vị trí ban đầu.



Hình 5.5. Cấu tạo ro-le điện từ

A, B: Nguồn nuôi cho role

Sơ đồ chân và ký hiệu của rơ-le điện từ 14 chân như Hình 5.6. Trong đó chân 13,14 là chân nguồn, các chân 5-9, 6-10, 7-11, 8-12 tạo thành các tiếp điểm thường mở, các chân 1-9, 2-10, 3-11, 4-12 tạo thành các tiếp điểm thường đóng.



Hình 5.6. Sơ đồ chân và ký hiệu của rơ-le điện từ 14 chân

5.3. Rơ-le thời gian

Rơ-le thời gian (Time delay relay) được dùng nhiều trong các mạch tự động điều khiển. Nó có tác dụng làm trễ quá trình đóng, mở các tiếp điểm sau một khoảng thời gian chỉ định nào đó.

Hình ảnh rơ-le thời gian trong thực tế như Hình 5.7.



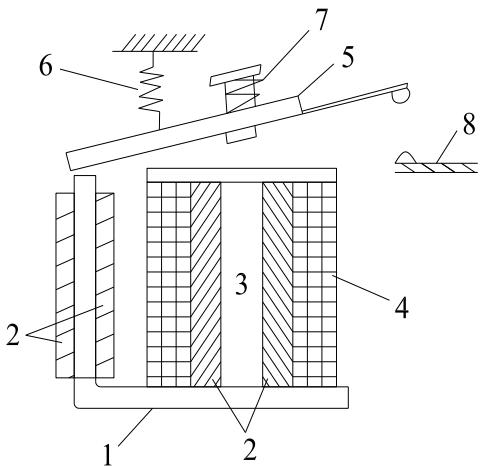
Hình 5.7. Hình ảnh rơ-le thời gian trong thực tế

Cấu tạo:

Cấu tạo của rơ-le thời gian như Hình 5.8.

Nguyên lý hoạt động:

Khi chưa cấp điện cho cuộn hút (4), lực hút điện từ không sinh ra, trạng thái các chi tiết như Hình 5.8.



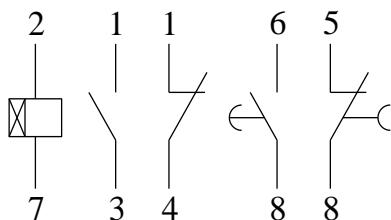
1. Lõi từ chũ nhật dẹt
2. Vòng ngắn mạch
3. Lõi từ trụ
4. Cuộn hút
5. Nắp
6. Lò xo nhả
7. Đai óc điều chỉnh
8. Tiếp điểm

Hình 5.8. Cấu tạo của rơ-le thời gian

Khi đóng điện cuộn hút (4), từ thông trong lõi từ biến thiên làm xuất hiện dòng điện cảm ứng trong các vòng ngắn mạch (2). Từ trường của các vòng ngắn mạch (2) chống lại sự biến thiên của từ trường sinh ra nó nên tốc độ biến thiên của từ thông tạo ra bởi bởi cuộn dây (4) bị chậm lại. Kết quả thời gian tác động của rơ-le để hút nắp từ động (5) làm đóng tiếp điểm (8) cũng chậm lại.

Để điều chỉnh thời gian trễ của rơ-le ta có thể điều chỉnh bằng cách điều chỉnh độ căng của lò xo nhả (6). Dùng đai óc (7) để điều chỉnh lực căng của lò xo làm tăng lực tách nắp, dẫn đến giảm trừ thời gian nhả. Lực lò xo càng nhỏ, thời gian nhả càng chậm.

Sơ đồ chân của rơ-le thời gian như Hình 5.9. Trong đó chân 2, 7 là chân nguồn, các chân 1-3 tạo thành các tiếp điểm thường mở, chân 1-4 tạo thành các tiếp điểm thường đóng, chân 6-8 tạo thành các tiếp điểm thường mở đóng chậm, chân 5-8 tạo thành các tiếp điểm thường đóng mở chậm.



Hình 5.9. Sơ đồ chân và ký hiệu của rơ-le thời gian

5.4. Rơ-le nhiệt

Rơ-le nhiệt (Overload Relays - OLR) thường được sử dụng để bảo vệ quá tải cho động cơ điện.

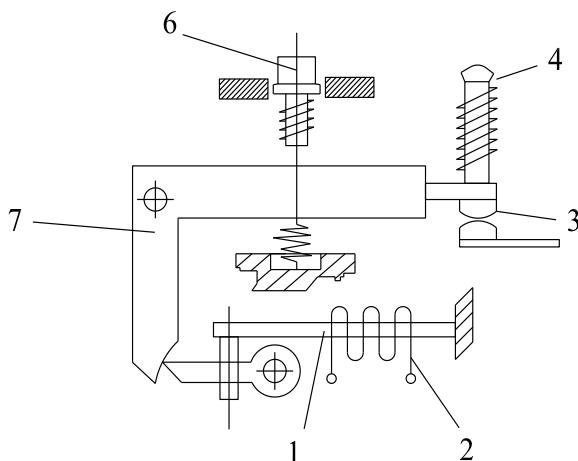
Hình ảnh rơ-le nhiệt trong thực tế như Hình 5.10.



Hình 5.10. Hình ảnh rơ-le nhiệt trong thực tế

Cấu tạo:

Cấu tạo của rơ-le nhiệt như Hình 5.11.



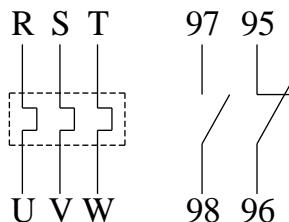
1. Thanh lưỡng kim
2. Dây điện trở
3. Tiếp điểm
4. Vít chỉnh
5. Nút reset
6. Cần truyền lực

Hình 5.11. Cấu tạo của rơ-le nhiệt

Nguyên lý hoạt động:

Khi rơ-le nhiệt làm việc, dòng điện tải chạy qua dây điện trở (2). Ở điều kiện làm việc bình thường, dòng điện tải nằm trong giới hạn cho phép, nên nhiệt độ phát ra chưa đủ để làm cong thanh lưỡng kim (1).

Khi xuất hiện sự cố quá tải, dòng điện chạy qua điện trở đốt nóng hơn giá trị cho phép, nên nhiệt lượng phát ra cao. Theo thời gian, nhiệt lượng này làm thanh lưỡng kim (1) cong và tác động vào cơ cấu truyền lực (6) làm tiếp điểm (3) chuyển đổi trạng thái. Sau khi thanh lưỡng kim (1) nguội, án nút reset (5) để chuyển tiếp điểm về trạng thái ban đầu.



Hình 5.12. Sơ đồ chân và ký hiệu tiếp điểm của rơ-le nhiệt

Sơ đồ chân và ký hiệu của rơ-le nhiệt như Hình 5.12. Trong đó R-U, S-V, T-W là các tiếp điểm chính, 97-98 là tiếp điểm phụ thường mở, 95-96 là các tiếp điểm phụ thường đóng.

5.5. Công-tắc-tơ

Công-tắc-tơ (Contactor) là phần quan trọng trong hệ thống điều khiển có tiếp điểm. Nó được dùng để đóng cắt, điều khiển...động cơ, máy sản xuất trong công nghiệp và dân dụng.

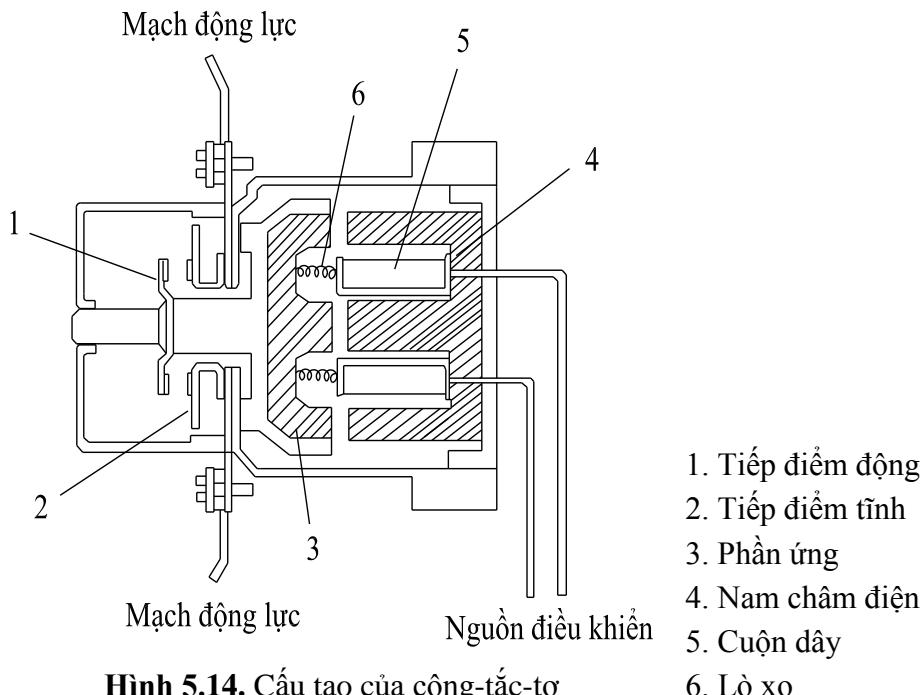
Hình ảnh công-tắc-tơ trong thực tế như Hình 5.13.



Hình 5.13. Hình ảnh công-tắc-tơ trong thực tế

Cấu tạo:

Cấu tạo của rơ-le nhiệt như Hình 5.14.



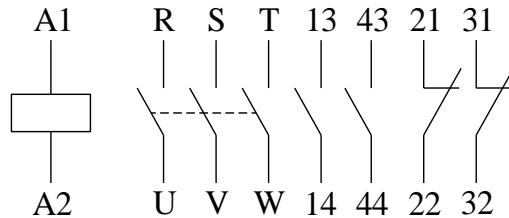
Hình 5.14. Cấu tạo của công-tắc-tơ

Nguyên lý hoạt động:

Khi đặt điện áp vào cuộn dây (5) của nam châm điện (4), từ thông sẽ được sinh ra trong nam châm điện. Từ thông này sẽ sinh ra một lực điện từ, hút phần ứng (3) của nó. Khi lực điện từ lớn hơn lực cơ thì nắp mạch từ được hút về phía mạch từ tĩnh, làm cho tiếp điểm động (1) gắn trên phần ứng đóng hoặc cắt với tiếp điểm tĩnh (2). Tiếp điểm tĩnh được gắn trên thanh dẫn, đầu kia của thanh dẫn vít bắt dây điện ra, vào. Các lò xo tiếp điểm (6) có tác dụng duy trì một lực ép tiếp điểm cần thiết lên tiếp điểm. Đồng thời tiếp điểm phụ (nếu có) cũng được đóng vào đối với tiếp điểm phụ thường mở và mở ra đối với tiếp điểm phụ thường đóng, lò xo nhả bị nén lại.

Khi ngắt điện vào cuộn dây, luồng từ thông sẽ giảm xuống về không, đồng thời lực điện từ do nó sinh ra cũng giảm về không. Khi đó lò xo nhả sẽ đẩy toàn bộ phần động của công-tắc-tơ lên và cắt dòng điện tải ra. Khi tiếp điểm động tách khỏi tiếp điểm tĩnh thì hồ quang sẽ xuất

hiện giữa hai tiếp điểm. Khi đó hệ thống dập hò quang sẽ nhanh chóng dập tắt hò quang, nhờ vậy tiếp điểm ít bị mòn hơn.



Hình 5.15. Sơ đồ chân và ký hiệu tiếp điểm của công-tắc-to

Sơ đồ chân và ký hiệu của công-tắc-to như Hình 5.15. Trong đó R-U, S-V, T-W là các tiếp điểm chính, 13-14, 43-44 là tiếp điểm phụ thường mở, 21-22, 31-32 là các tiếp điểm phụ thường đóng.

Khi công-tắc-to làm việc kết hợp với rơ-le nhiệt gọi là khởi động từ (Hình 5.16), dùng để điều khiển đóng ngắt mạch điện làm việc của động cơ không đồng bộ 3 pha, đồng thời bảo vệ quá tải. Khởi động từ có hai công tắc to liền kề với nhau (khởi động từ kép) dùng để đảo chiều quay của động cơ không đồng bộ 3 pha, gọi là khởi động từ đảo chiều.



Hình 5.16. Hình ảnh khởi động từ trong thực tế

5.6. Áp-tô-mát

Áp-tô-mát (Circuit Breaker - CB) là thiết bị điện tự động cắt mạch điện khi có sự cố, dùng để bảo vệ cho mạch điện khi có sự cố quá tải, ngắn mạch, sụt áp, truyền công suất ngược. Ngoài ra còn còng dùng để đóng mở cho mạch điện không thường xuyên đóng mở.

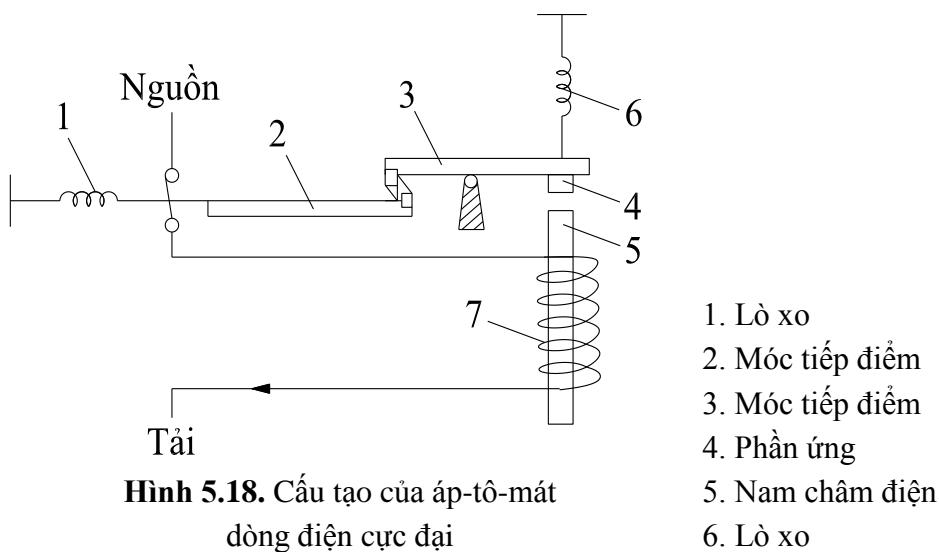
Hình ảnh công-tắc-tơ trong thực tế như Hình 5.17.



Hình 5.17. Hình ảnh công-tắc-tơ trong thực tế

Cấu tạo:

Cấu tạo của áp-tô-mát dòng điện cực đại như Hình 5.18.



Hình 5.18. Cấu tạo của áp-tô-mát dòng điện cực đại

Nguyên lý hoạt động:

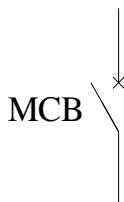
Nguyên lý hoạt động của áp-tô-mát dòng điện cực đại:

Ở trạng thái bình thường sau khi đóng điện, áp-tô-mát được giữ ở trạng thái đóng tiếp điểm nhờ móc tiếp điểm (2) khớp với móc tiếp điểm cùng một cụm với tiếp điểm động.

Bật áp-tô-mát ở trạng thái ON, với dòng điện định mức nam châm điện (5) và phần ứng (4) không hút.

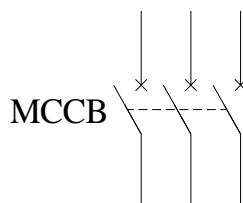
Khi mạch điện quá tải hay ngắn mạch, lực hút điện từ ở nam châm điện (5) lớn hơn lực lò xo (6) làm cho nam châm điện (5) sẽ hút phần ứng (4) xuống làm bật nhả móc tiếp điểm (3), móc tiếp điểm (2) được thả tự do, lò xo (1) được thả lỏng, kết quả các tiếp điểm của áp-tô-mát được mở ra, mạch điện bị ngắt.

Ký hiệu của áp-tô-mát 1 pha (Miniature Circuit Breaker - MCB) như Hình 5.19.



Hình 5.19. Ký hiệu của áp-tô-mát 1 pha

Ký hiệu của áp-tô-mát 3 pha (Molded Case Circuit Breaker - MCCB) như Hình 5.20.



Hình 5.20. Ký hiệu của áp-tô-mát 3 pha

Tóm tắt nội dung chương 5

1. Nút nhấn cầu tạo gồm các bộ phận chính: Nút tác động, hệ thống các tiếp điểm và lò xo phục hồi. Khi ấn vào nút tác động sẽ làm thay đổi vị trí các tiếp điểm thường mở và thường đóng, tiếp điểm động sẽ tiếp xúc hoặc tách ra với tiếp điểm tĩnh, làm đóng/ngắt dòng điện đi qua nút nhấn.

2. Rơ-le điện từ cầu tạo gồm các bộ phận chính: Các tiếp điểm, cuộn dây, mạch từ và lò xo. Khi đặt một điện áp đủ lớn cho cuộn dây, dòng điện chạy trong cuộn dây sinh ra từ trường tạo ra lực hút điện từ. Khi đó các tiếp điểm thường đóng sẽ đóng lại, tiếp điểm thường mở sẽ mở ra.

3. Rơ-le thời gian hoạt động giống như rơ-le điện từ nhưng có khả năng điều chỉnh thời gian trễ của rơ-le.

4. Rơ-le nhiệt cầu tạo gồm các bộ phận chính: Các tiếp điểm, cơ cầu truyền lực và thanh lưỡng kim. Khi xuất hiện sự cố quá tải, dòng điện chạy qua điện trở đốt nóng làm thanh lưỡng kim cong và tác động vào cơ cầu truyền lực làm các tiếp điểm chuyển đổi trạng thái.

5. Công-tắc-tơ có cầu tạo giống rơ-le điện từ nhưng có thêm buồng dập hό quang cho các tiếp điểm chính.

6. Khởi động từ cầu tạo gồm 2 bộ phận chính công-tắc-tơ và rơ-le nhiệt.

7. Áp-tô-mát là thiết bị điện tự động cắt mạch điện khi có sự cố, dùng để bảo vệ cho mạch điện khi có sự cố quá tải, ngăn mạch, sụt áp, truyền công suất ngược.

Câu hỏi chương 5

- 5.1.** Trình bày cấu tạo của nút nhấn.
- 5.2.** Giải thích nguyên lý hoạt động của nút nhấn.
- 5.3.** Nêu một ứng dụng cụ thể của nút nhấn trong thực tế.
- 5.4.** Trình bày cấu tạo của ro-le điện từ.
- 5.5.** Giải thích nguyên lý hoạt động của ro-le điện từ.
- 5.6.** Nêu một ứng dụng cụ thể của ro-le điện từ trong thực tế.
- 5.7.** Trình bày cấu tạo của ro-le nhiệt.
- 5.8.** Giải thích nguyên lý hoạt động của ro-le nhiệt.
- 5.9.** Nêu một ứng dụng cụ thể của ro-le nhiệt trong thực tế.
- 5.10.** Trình bày cấu tạo và ký hiệu của ro-le thời gian.
- 5.11.** Giải thích nguyên lý hoạt động của ro-le thời gian.
- 5.12.** Nêu một ứng dụng cụ thể của ro-le thời gian trong thực tế.
- 5.13.** So sánh sự khác nhau và giống nhau giữa ro-le điện từ và ro-le thời gian.
- 5.14.** Trình bày cấu tạo của công-tắc-tơ.
- 5.15.** Giải thích nguyên lý hoạt động của công-tắc-tơ.
- 5.16.** Nêu một ứng dụng cụ thể của công-tắc-tơ trong thực tế.
- 5.17.** Tại sao khi sử dụng công-tắc-tơ mà không dùng các thiết bị khác như cầu dao, ro-le điện từ để đóng/cắt động cơ.
- 5.18.** So sánh sự khác nhau và giống nhau giữa ro-le điện từ và công-tắc-tơ.
- 5.19.** Trình bày kết cấu và công dụng của khởi động từ.
- 5.20.** Trình bày cấu tạo và phân loại của át-tô-mát.
- 5.21.** Giải thích nguyên lý hoạt động của át-tô-mát.
- 5.22.** Nêu một ứng dụng cụ thể của át-tô-mát trong thực tế.

Tài liệu đọc thêm chương 5

1. Phạm Xuân Hò, Hồ Xuân Thanh, *Giáo trình Khí cụ điện*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
2. Bùi Văn Hồng, *Giáo trình Thực hành điện cơ bản*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
3. Nguyễn Trọng Thắng, Trần Thế San, *Điện công nghiệp và điều khiển động cơ*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, 2013.
4. Stephen L. Herman, *Understanding Motor Controls*, Third Edition, Cengage Learning, 2016.

Chương 6

MỘT SỐ MẠCH ĐIỆN DÂN DỤNG VÀ CÔNG NGHIỆP

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 6

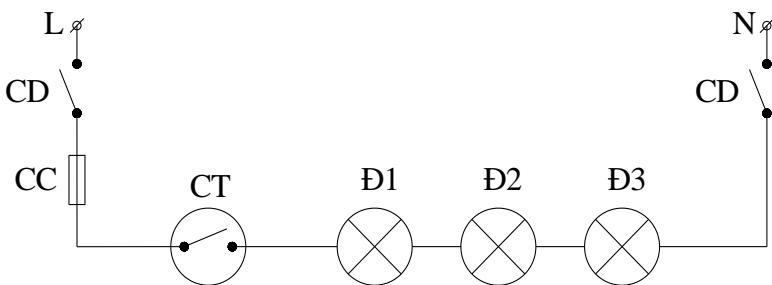
Sau khi học xong Chương 6, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được sơ đồ nguyên lý của các mạch đèn: Mạch đèn mắc nối tiếp hay mắc song song, mạch đèn điều khiển hai hay nhiều vị trí, mạch đèn sáng mờ sáng tối, mạch đèn chiếu sáng luân phiên, mạch đèn huỳnh quang, mạch đèn chuông cửa, các mạch điều khiển động cơ điện;
- Giải thích được nguyên lý làm việc của các mạch điện dân dụng, các mạch điều khiển động cơ điện: Mạch điều khiển động cơ điện bằng khởi động từ đơn, mạch đảo chiều quay động cơ điện bằng khởi động từ kép, mạch điện tự động đảo chiều quay động cơ điện ba pha bằng ro-le thời gian, mạch điều khiển khởi động động cơ điện bằng phương pháp đổi nối Y/Δ, mạch điện tự động đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải.

6.1. Mạch điện dân dụng

6.1.1. Mạch đèn mắc nối tiếp

Giả sử ban đầu công tắc (CT) ở trạng thái mở như Hình 6.1.



Hình 6.1. Sơ đồ nguyên lý mạch đèn mắc nối tiếp

Khi đóng cầu dao (CD), bật CT, tiếp điểm CT đóng lại. Dòng điện đi từ dây pha L (Line) qua cầu chì (CC), qua tiếp điểm CT đến các đèn về dây nguội N (Neutral). Các đèn có dòng điện chạy qua nên phát sáng theo các trường hợp sau:

- Nếu các đèn có cùng công suất và tổng điện áp định mức bằng điện áp nguồn, thì các đèn đều sáng định mức và giống nhau về cường độ độ sáng.

- Nếu các đèn có cùng công suất và tổng điện áp định mức lớn hơn điện áp nguồn, thì các đèn đều sáng dưới định mức (mờ hơn) và giống nhau về cường độ sáng.

- Nếu các đèn công suất không bằng nhau, thì đèn có cường độ sáng khác nhau (hạn chế sử dụng trong trường hợp này).

Khi tắt CT, tiếp điểm CT mở ra như trạng thái ban đầu. Mạch điện bị ngắt, các đèn không có dòng điện chạy qua nên nó không phát sáng.

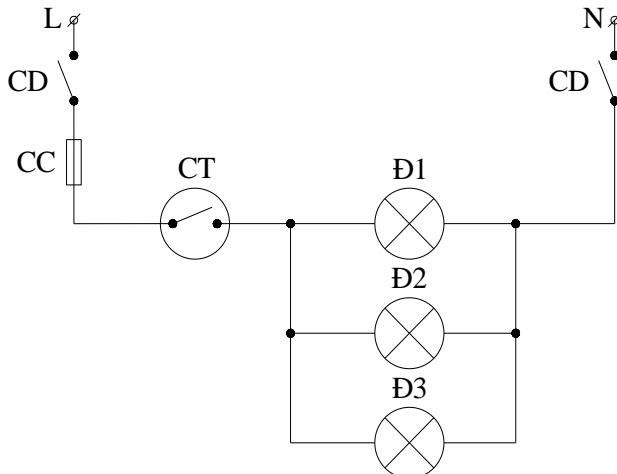
Mạch nối tiếp được sử dụng khi có nhu cầu giảm công suất của đèn, hoặc khi điện áp nguồn lớn hơn điện áp định mức của các đèn. Điều kiện ghép nối tiếp là các đèn có cùng công suất.

6.1.2. Mạch đèn song song

Giả sử ban đầu CT ở trạng thái như Hình 6.2.

Khi đóng CD, bật CT, tiếp điểm CT đóng lại. Dòng điện đi từ dây pha L qua CC, qua tiếp điểm CT đến các đèn về dây nguội N. Các bóng đèn có dòng điện chạy qua nên phát sáng.

Khi tắt CT, tiếp điểm CT mở ra như trạng thái ban đầu. Mạch điện bị ngắt, các đèn không có dòng điện chạy qua nó nên không phát sáng.

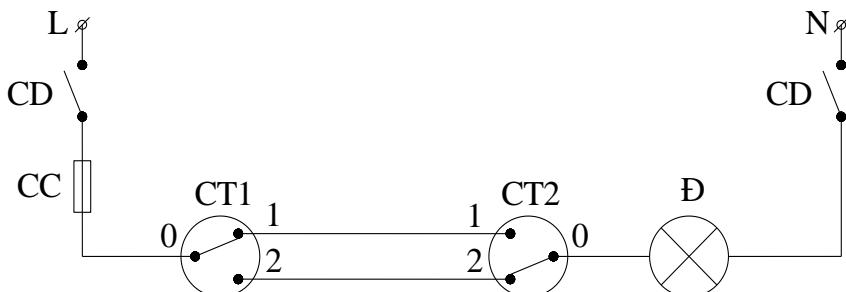


Hình 6.2. Sơ đồ nguyên lý mạch đèn mắc song song

Mạch mắc song song được sử dụng khi có nhu cầu tăng công suất cho nơi làm việc. Điều kiện ghép song song là các đèn có cùng điện áp định mức và bằng điện áp nguồn.

6.1.3. Mạch một đèn điều khiển hai vị trí

Mạch một đèn điều khiển hai vị trí (dạng 1)



Hình 6.3. Mạch một đèn điều khiển hai vị trí (dạng 1)

Giả sử ban đầu CT1 và CT2 ở trạng thái như Hình 6.3.

Đèn Đ chỉ sáng khi CT1 và CT2 cùng ở một vị trí 1, hoặc CT1 và CT2 cùng ở vị trí 2.

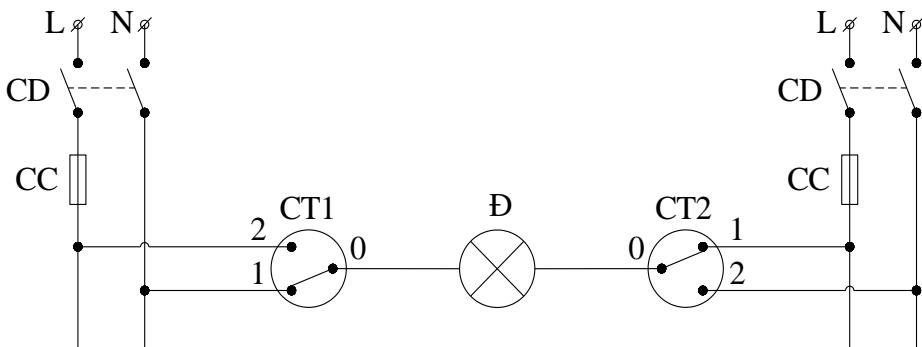
Đóng CD. Lúc này, mạch điện bị ngắt do hai công tắc không liền mạch, nên không có dòng điện chạy qua đèn. Vì vậy, đèn Đ không sáng.

Khi tác động vào CT1 hoặc CT2, tiếp điểm của một trong hai công tắc chuyển đổi trạng thái (giả sử CT2 chuyển từ vị trí 2 sang vị trí 1). Mạch điện được khép kín. Dòng điện chạy qua đèn, nên đèn Đ sáng.

Khi tác động một lần nữa vào một trong hai công tắc, tiếp điểm của công tắc đó chuyển đổi trạng thái. Mạch điện bị hở và đèn Đ tắt.

Như vậy, chỉ cần tác động một lần vào CT1 hoặc CT2 thì đèn Đ thay đổi trạng thái sáng hoặc tắt.

Mạch một đèn điều khiển hai vị trí (dạng 2)



Hình 6.4. Mạch một đèn điều khiển hai vị trí (dạng 2)

Giả sử ban đầu CT1 và CT2 ở trạng thái như Hình 6.4.

Đèn Đ chỉ sáng khi CT1 và CT2 cùng ở một vị trí 1, hoặc CT1 và CT2 cùng ở vị trí 2.

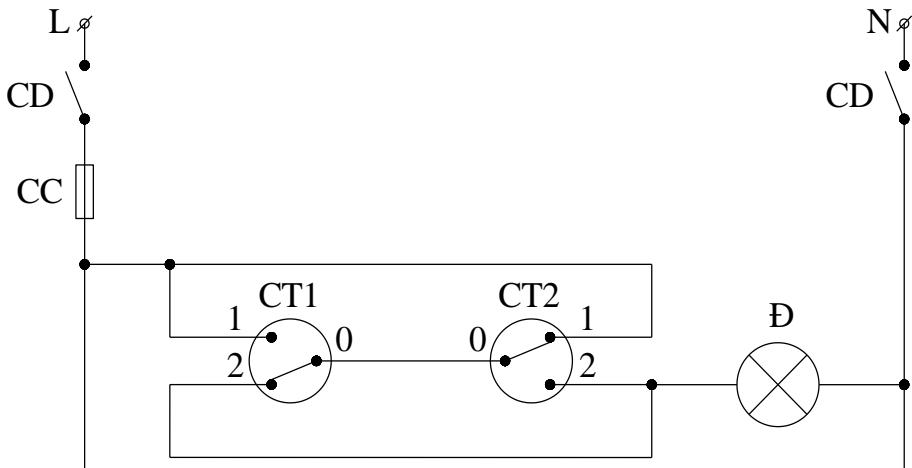
Đóng CD. Lúc này, mạch điện được khép kín qua hai công tắc, nên có dòng điện chạy qua đèn. Vì vậy, đèn Đ sáng.

Khi tác động vào CT1 hoặc CT2, tiếp điểm của một trong hai công tắc chuyển đổi trạng thái (giả sử CT2 chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2), mạch điện ngắt. Dòng điện không chạy qua đèn, nên đèn Đ không sáng.

Khi tác động một lần nữa vào một trong hai công tắc, tiếp điểm của công tắc đó chuyển đổi trạng thái. Mạch điện lại được khép kín và đèn Đ sáng trở lại.

Như vậy, chỉ cần tác động một lần vào CT1 hoặc CT2 thì đèn Đ thay đổi trạng thái sáng hoặc tắt.

Mạch một đèn điều khiển hai vị trí (dạng 3)



Hình 6.5. Mạch một đèn điều khiển hai vị trí (dạng 3)

Giả sử ban đầu CT1 và CT2 ở trạng thái như Hình 6.5.

Đèn Đ chỉ sáng khi CT1 ở vị trí 1 và CT2 ở vị trí 2, hoặc CT1 ở vị trí 2 và CT2 ở vị trí 1.

Đóng CD. Lúc này, mạch điện được khép kín qua hai công tắc, nên có dòng điện chạy qua đèn. Vì vậy, đèn Đ sáng.

Khi tác động vào CT1 hoặc CT2, tiếp điểm của một trong hai công tắc chuyển đổi trạng thái (giả sử CT1 chuyển từ vị trí 2 sang vị trí 1), mạch điện ngắn. Dòng điện không chạy qua đèn, nên đèn Đ không sáng.

Khi tác động một lần nữa vào một trong hai công tắc, tiếp điểm của công tắc đó chuyển đổi trạng thái. Mạch điện lại được khép kín và đèn Đ sáng trở lại.

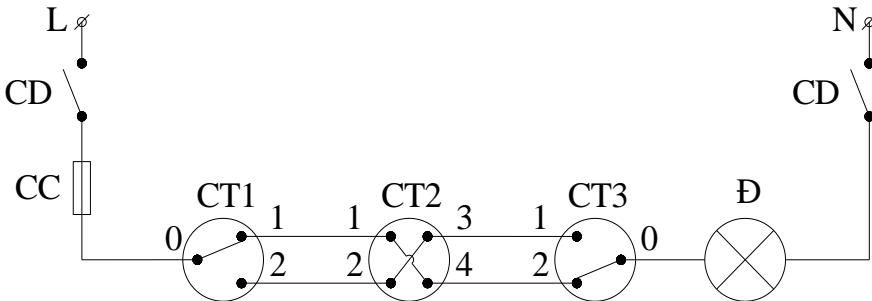
Như vậy, chỉ cần tác động một lần vào CT1 hoặc CT2 thì đèn Đ thay đổi trạng thái sáng hoặc tắt.

Mạch đèn điều khiển hai vị trí được sử dụng trong mạch đèn cầu thang, mạch đèn hành lang và mạch đèn nhà kho.

6.1.4. Mạch một đèn điều khiển ba vị trí

Giả sử, ban đầu CT1, CT2 và CT3 ở trạng thái như Hình 6.6.

Đèn Đ chỉ sáng khi CT1, CT2 và CT3 ở một vị trí và sao cho mạch điện kín.

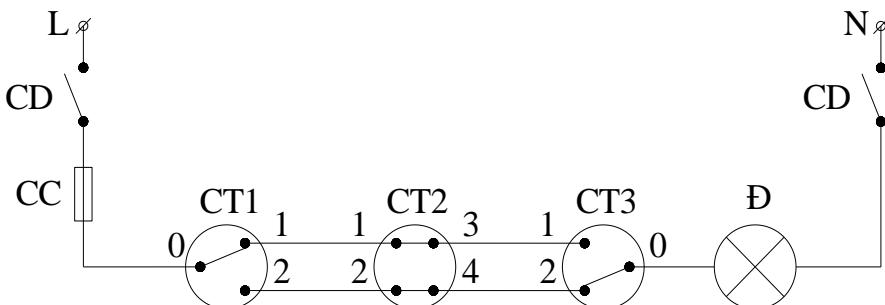


Hình 6.6. Mạch một đèn điều khiển ba vị trí (đèn sáng)

Đóng CD. Lúc này, mạch điện được khép kín qua hai công tắc, nên có dòng điện chạy qua đèn. Vì vậy, đèn Đ sáng.

Khi tác động vào CT1, CT2 hoặc CT3 tiếp điểm của một trong ba công tắc chuyển đổi trạng thái (giả sử CT2 chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2), mạch điện ngắt. Dòng điện không chạy qua đèn, nên đèn Đ không sáng.

Giả sử, ban đầu CT1, CT2 và CT3 ở trạng thái như Hình 6.6, nếu ta tác động vào CT2, lúc này mạch điện như hình Hình 6.7. Ta thấy rằng ở Hình 6.7 mạch điện không được khép kín, do đó đèn Đ không sáng.



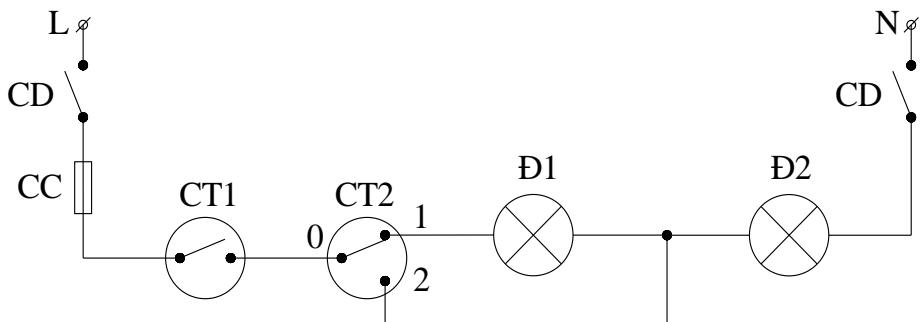
Hình 6.7. Mạch một đèn điều khiển ba vị trí (đèn tắt)

Khi tác động một lần nữa vào một trong ba công tắc, tiếp điểm của công tắc đó chuyển đổi trạng thái. Mạch điện lại được khép kín và đèn Đ sáng trở lại.

Như vậy, chỉ cần tác động một lần vào CT1, CT2 hoặc CT3 thì đèn Đ thay đổi trạng thái sáng hoặc tắt.

6.1.5. Mạch đèn điều khiển 2 trạng thái

Mạch đèn sáng tỏ, sáng mờ



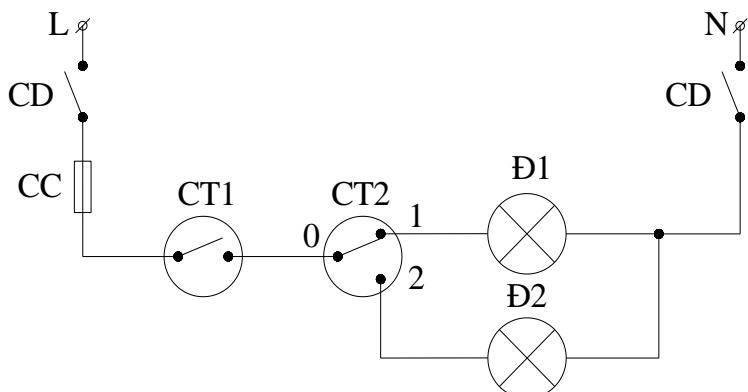
Hình 6.8. Mạch đèn sáng tỏ, sáng mờ

Giả sử, ban đầu đóng CD, bật CT1. Lúc đó CT2 ở trạng thái như Hình 6.8. Mạch đèn sẽ hoạt động dưới hai trạng thái sau:

- Trạng thái 1: CT2 ở vị trí 1, lúc này đèn 1 và đèn 2 mắc nối tiếp, khi đó 2 đèn sẽ sáng mờ.
- Trạng thái 2: CT2 ở vị trí 2, đèn 1 bị nối tắt nên không sáng, chỉ có đèn 2 sáng tỏ.

Công tắc CT1 dùng để tắt mạch.

Mạch đèn sáng luân phiên



Hình 6.9. Mạch đèn sáng luân phiên

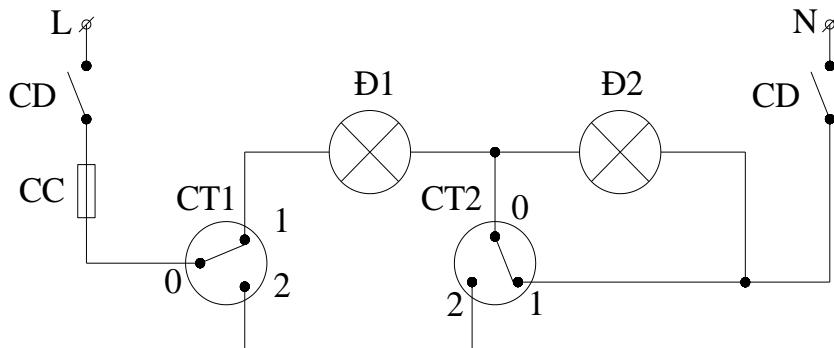
Giả sử, ban đầu đóng CD, bật CT1. Lúc đó CT2 ở trạng thái như Hình 6.9. Mạch đèn sẽ hoạt động dưới hai trạng thái sau:

- Trạng thái 1: CT2 ở vị trí 1, lúc này chỉ có dòng điện chạy qua đèn 1 nên đèn 1 sáng, đèn 2 không sáng.

- Trạng thái 2: CT2 ở vị trí 2, tương tự chỉ có dòng điện chạy qua đèn 2 nên đèn 2 sáng và đèn 1 không sáng.

Công tắc 1 dùng để tắt mạch.

6.1.6. Mạch đèn điều khiển 4 trạng thái



Hình 6.10. Mạch đèn điều khiển 4 trạng thái

Giả sử, ban đầu đóng CD, khi đó CT1, CT2 ở trạng thái như Hình 6.10.

- Trạng thái 1: CT1 ở vị trí 1 và CT2 ở vị trí 1, đèn 1 sáng tỏ, đèn 2 không sáng.

- Trạng thái 2: CT1 ở vị trí 1 và CT2 ở vị trí 2, đèn 1 và đèn 2 sáng mờ.

- Trạng thái 3: CT1 ở vị trí 2 và CT2 ở vị trí 2, đèn 1 không sáng, đèn 2 sáng tỏ.

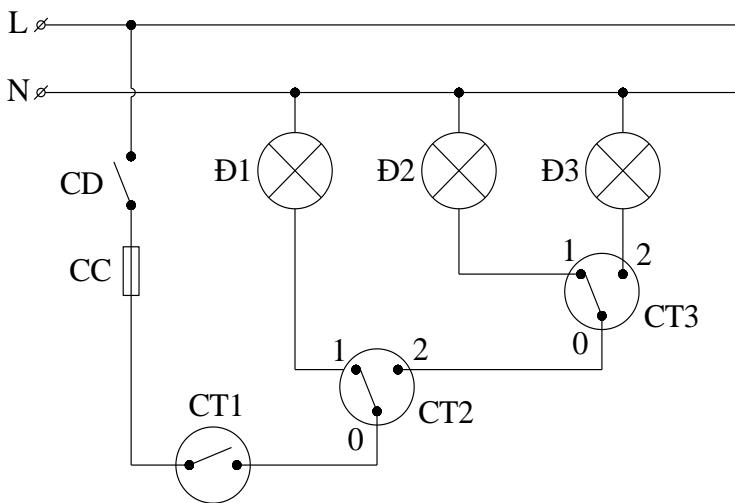
- Trạng thái 4: CT1 ở vị trí 2 và CT2 ở vị trí 1, cả 2 đèn không sáng.

6.1.7. Mạch đèn thắp sáng tuần tự

Giả sử, ban đầu CT1, CT2 và CT3 ở trạng thái như Hình 6.11. Ban đầu đóng CD, quá trình bật tắt các đèn sẽ tiến hành theo chiều thuận và chiều ngược.

Trình tự thao tác bật tắt các đèn theo chiều thuận như sau:

- Bật CT1. Lúc này CT2, CT3 ở vị trí 1, đèn 1 sáng, đèn 2 và đèn 3 không sáng.



Hình 6.11. Mạch đèn sáng tuần tự

- Bật CT2. Khi đó CT2 ở vị trí 2 và CT3 ở vị trí 1, đèn 1 và đèn 3 không sáng, đèn 2 sáng.

- Bật CT3. Lúc này CT2 ở vị trí 2 và CT3 ở vị trí 2, đèn 1 và đèn 2 không sáng, đèn 3 sáng. Đến đây kết thúc quá trình bật tắt các đèn theo chiều thuận.

Trình tự thao tác tắt các đèn theo chiều ngược sau khi kết thúc quá trình thuận như sau:

- Sau khi kết thúc bật đèn theo chiều thuận, bật CT3. Lúc này CT2 ở vị trí 2 và CT3 ở vị trí 1, đèn 1 và đèn 3 không sáng, đèn 2 sáng.

- Bật CT2. Khi đó CT2 ở vị trí 1 và CT3 ở vị trí 1, đèn 2 và đèn 3 không sáng, đèn 1 sáng.

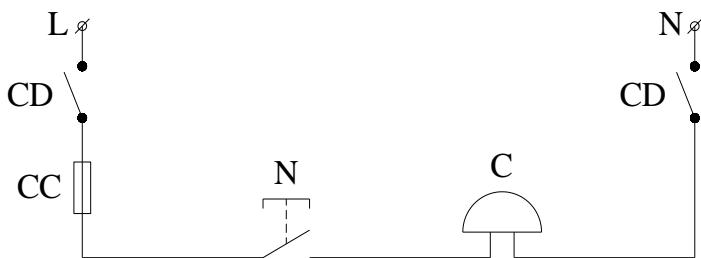
- Tắt CT1. Lúc này mạch điện bị ngắt đèn 1, đèn 2 và đèn 3 không sáng. Đến đây kết thúc quá trình tắt các đèn theo chiều ngược.

6.1.8. Mạch điện chuông báo

Giả sử ban đầu CD đã đóng, nút nhấn (N) có trạng thái tiếp điểm như Hình 6.12. Khi đó, mạch điện bị ngắt, chuông (C) không báo.

Khi CD đã đóng, ấn nút N, mạch điện được khép kín nên chuông báo.

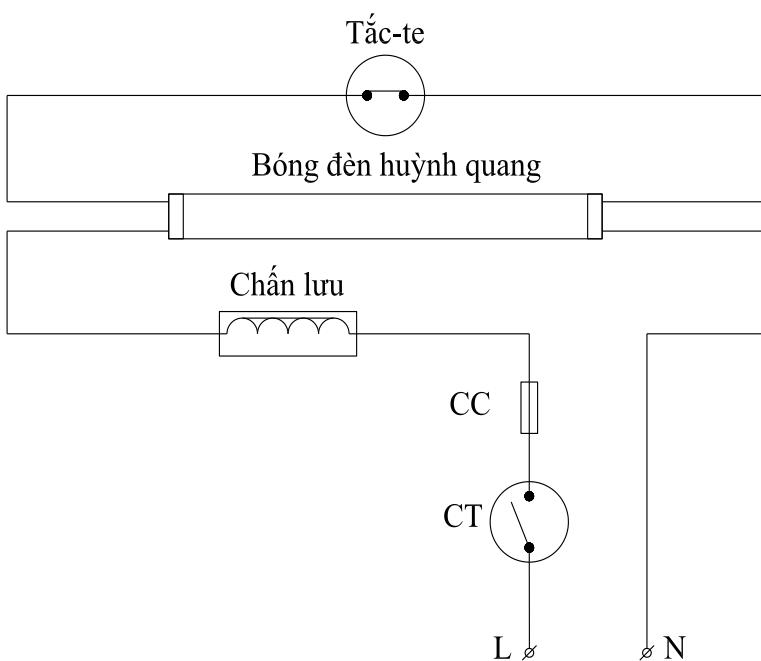
Khi ngừng ấn nút N, mạch điện mạch điện bị ngắt nên chuông C ngừng báo.



Hình 6.12. Sơ đồ nguyên lý mạch điện chuông báo

6.1.9. Mạch đèn huỳnh quang

Sơ đồ nguyên lý mạch điện huỳnh quang như Hình 6.13.



Hình 6.13. Sơ đồ nguyên lý mạch đèn huỳnh quang

Đèn huỳnh quang làm việc dựa trên nguyên tắc phóng điện trong chất khí.

Khi chưa đóng điện, tắc-te (starter) ở trạng thái hở. Khi đóng điện, toàn bộ điện áp nguồn đặt lên hai cực của tắc-te làm cho thanh lưỡng kim bắt đầu nóng lên (lúc này chấn lưu chỉ làm nhiệm vụ dẫn điện). Sự co giãn của lá lưỡng kim làm cho tiếp điểm của tắc-te đóng lại, dòng điện chạy qua tim đèn. Tim đèn được đốt nóng phát ra điện tử làm ion

hóa khi Argon ở hai đầu bóng đèn, nhiệt độ tăng cao làm thủy ngân bốc hơi dẫn đến ion hóa toàn bộ lượng khí trong ống.

Lúc tiếp điểm của tắc-te đóng lại thì điện áp trên tắc-te giảm xuống, hồ quang mất dần, nhiệt độ của hai lá lưỡng kim giảm mạnh, hai lá lưỡng kim trở về trạng thái cũ và tiếp điểm mở ra đột ngột. Sự thay đổi đột ngột này tác động đến chấn lưu và làm cho cuộn dây của chấn lưu tạo ra một sức điện động cảm ứng có giá trị cao đặt giữa hai điện cực của bóng đèn. Suất điện động cảm ứng này tạo ra điện trường có cường độ lớn. Điện trường này làm bức xạ các điện tử và tạo thành dòng electron chạy trong ống đèn. Ánh sáng phát ra từ ống đèn nhờ sự va chạm giữa các điện tử khi di chuyển với bột huỳnh quang trong ống đèn.

Sau khi phát sáng dòng điện chạy hoàn toàn trong bóng đèn, tắc-te hở mạch, chấn lưu trở thành tải cảm tiêu thụ điện và điện áp trên hai đầu đèn nhỏ hơn điện áp nguồn (điện áp duy trì của bóng)⁽¹⁾.

6.2. Mạch điện điều khiển động cơ điện

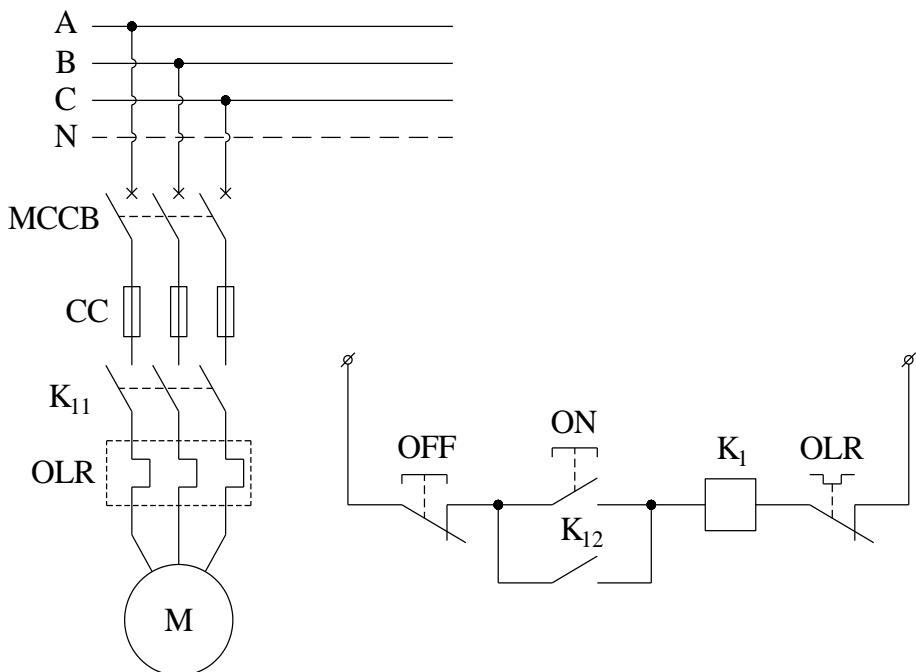
6.2.1. Mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha bằng khởi động từ đơn

Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha bằng khởi động từ đơn như Hình 6.14.

Khi đóng áp-tô-mát (Molded Case Circuit Breaker - MCCB), động cơ (M) chưa hoạt động được, mạch điện ở trạng thái chờ. Khi ấn nút ON cuộn dây công-tắc-tơ K₁ có điện, tiếp điểm thường mở K₁₂ đóng lại (tiếp điểm K₁₂ dùng để duy trì cấp điện cho mạch điều khiển sau khi ấn ON), đồng thời các tiếp điểm K₁₁ ở mạch động lực đóng, động cơ được nối với lưới điện, bắt đầu làm việc.

Muốn dừng ấn nút OFF, mạch điều khiển bị mất điện, các tiếp điểm K₁₁ ở mạch động lực mở ra. Động cơ được cắt ra khỏi lưới điện và dừng tự do.

⁽¹⁾ Bùi Văn Hồng, *Giáo trình Thực hành điện cơ bản*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2014



Hình 6.14. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha bằng khởi động từ đơn

Nếu trong quá trình làm việc động cơ bị quá tải hoặc mất pha, dòng điện các pha sẽ tăng cao làm rơ-le nhiệt (Overload Relays - OLR) tác động, cắt điện mạch điều khiển. Động cơ được cắt ra khỏi lưới điện.

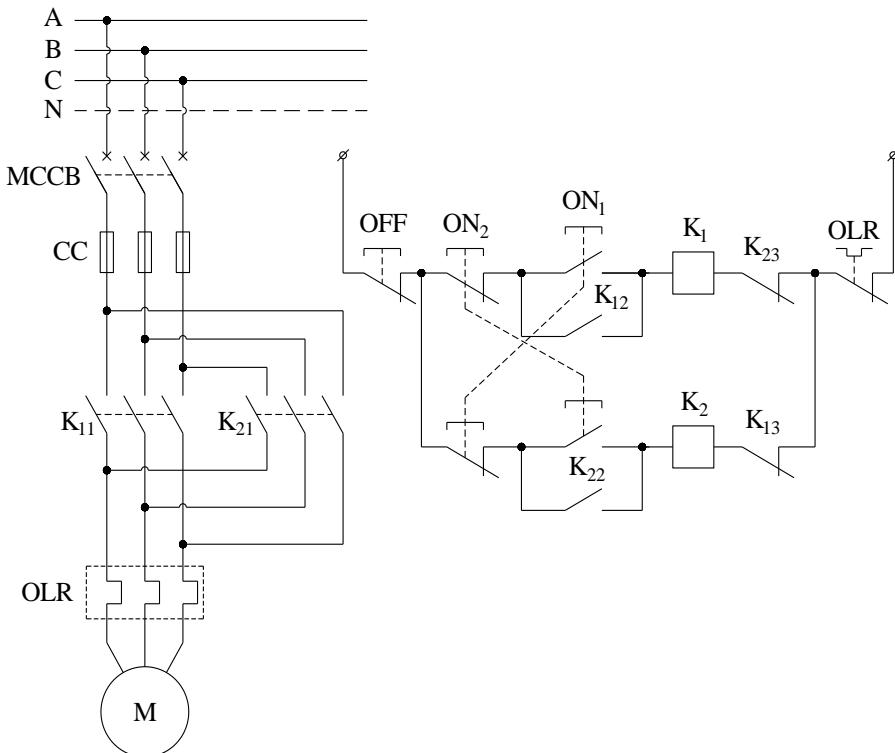
6.2.2. Mạch điều khiển đảo chiều quay của động cơ điện ba pha bằng khởi động từ kép

Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển đảo chiều quay của động cơ điện ba pha bằng khởi động từ kép như Hình 6.15.

Đóng MCCB cấp điện cho mạch. Muốn động cơ quay theo chiều thuận án ON₁, công-tắc-tơ K₁ có điện, tiếp điểm K₁₂ đóng lại, tiếp điểm K₁₃ mở ra (tiếp điểm K₁₃ dùng để tránh sự tác động đồng thời của công-tắc-tơ K₂). Đồng thời các tiếp điểm K₁₁ ở mạch động lực đóng lại, cấp điện cho động cơ M quay theo chiều thuận.

Muốn động cơ quay theo chiều ngược án ON₂, công-tắc-tơ K₂ có điện, tiếp điểm K₂₂ đóng lại, tiếp điểm K₂₃ mở ra (tiếp điểm K₂₃ dùng để tránh sự tác động đồng thời của công-tắc-tơ K₁). Đồng thời các tiếp điểm

K_{21} ở mạch động lực đóng lại cấp điện cho động cơ T quay theo chiều ngược lại.



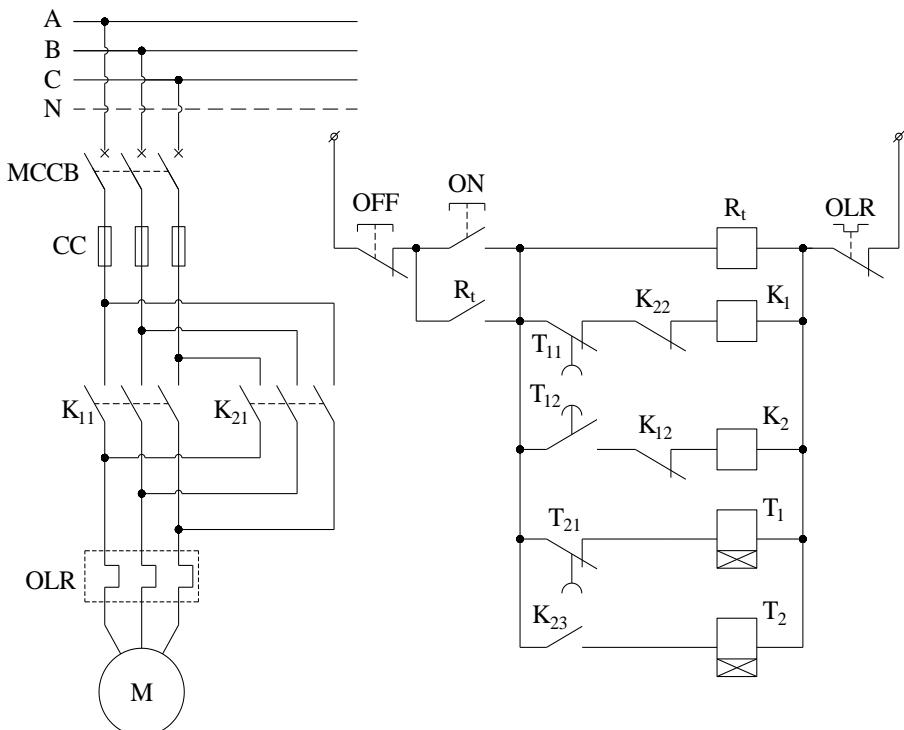
Hình 6.15. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển đảo chiều quay của động cơ điện ba pha bằng khởi động từ kép

Muốn dừng động cơ, án nút OFF, mạch điều khiển bị mất điện, công-tắc-tơ K₁ và K₂ mất điện, động cơ được cắt ra khỏi nguồn và dừng tự do.

6.2.3. Mạch điện tự động đảo chiều quay động cơ điện ba pha bằng ro-le thời gian

Sơ đồ nguyên lý Mạch điện tự động đảo chiều quay động cơ điện ba pha bằng ro-le thời gian như Hình 6.16.

Đóng MCCB cấp điện cho mạch. Án nút ON, ro-le R_t tác động và tiếp điểm của R_t sẽ duy trì cấp điện cho mạch điều khiển. Công-tắc-tơ K₁ có điện, các tiếp điểm K₁₁ ở mạch động lực đóng, động cơ được nối với lưới điện, động cơ quay theo chiều thuận.



Hình 6.16. Sơ đồ nguyên lý mạch mạch điện tự động đảo chiều quay động cơ điện ba pha bằng rơ-le thời gian

Lúc này, rơ-le thời gian T_1 cũng có điện và tính thời gian, sau đó tiếp điểm T_{11} mở ra, cắt điện vào cuộn hút K_1 , đồng thời tiếp điểm T_{12} của T_1 đóng lại cấp điện cho cuộn hút K_2 .

Cuộn hút K_2 có điện, tiếp điểm K_{21} đóng lại (nguồn cấp cho động cơ được đổi dây A với dây C) ở mạch động lực sẽ làm cho động cơ đổi chiều (quay ngược) tự động.

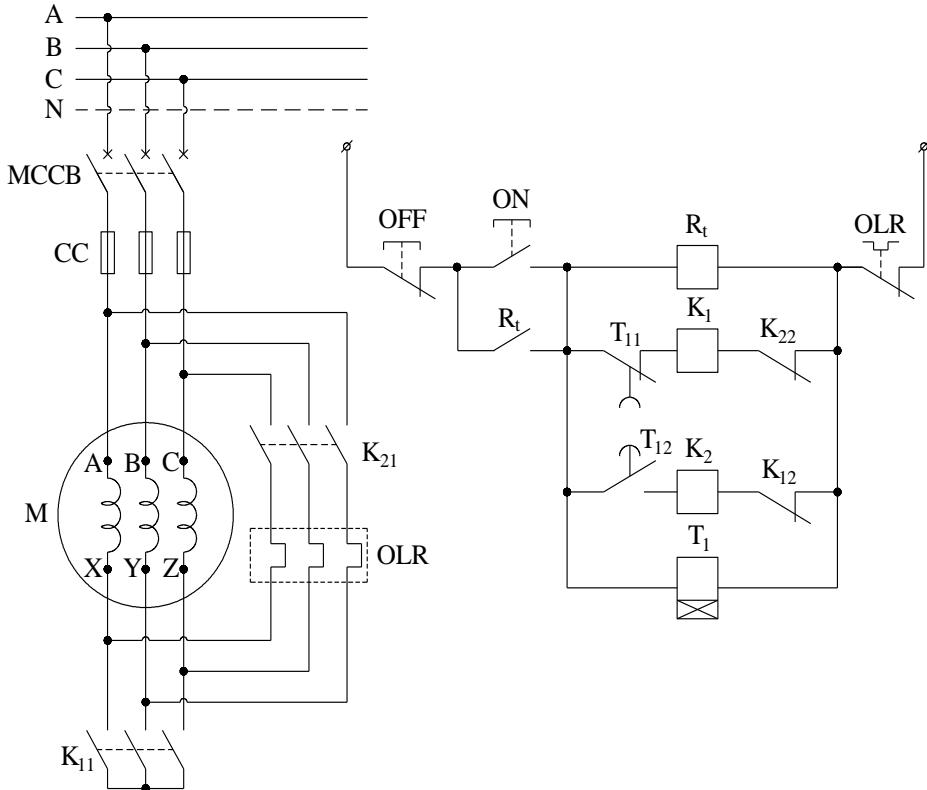
Lúc đó, tiếp điểm K_{23} đóng lại rơ-le thời gian T_2 có điện và bắt đầu tính thời gian, sau đó tiếp điểm T_{21} mở ra, rơ-le thời gian T_1 mất điện, tiếp điểm T_{11} trở về thường đóng, T_{12} trở về thường mở, cuộn hút K_1 có điện, cuộn hút K_2 mất điện, tiếp điểm K_{23} mở ra, mạch điện trở về như ban đầu.

Động cơ sẽ chạy thuận và chạy nghịch theo chu kỳ tác động của rơ-le T_1 và rơ-le T_2 . Tiếp điểm K_{22} và K_{12} của 2 công-tắc-tơ K_1 và K_2 có tác dụng khoá chéo để bảo đảm an toàn.

Tắt máy: Án nút OFF, rơ-le R_t mất điện, mạch điều khiển bị mất điện, động cơ được cắt ra khỏi nguồn và dừng tự do.

6.2.4. Mạch điều khiển khởi động động cơ điện ba pha rôto lồng sóc bằng phương pháp đổi nối Y/Δ

Sơ đồ nguyên lý Mạch điều khiển khởi động động cơ điện ba pha rôto lồng sóc bằng phương pháp đổi nối Y/Δ như Hình 6.17.



Hình 6.17. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển khởi động động cơ điện ba pha rôto lồng sóc bằng phương pháp đổi nối Y/Δ

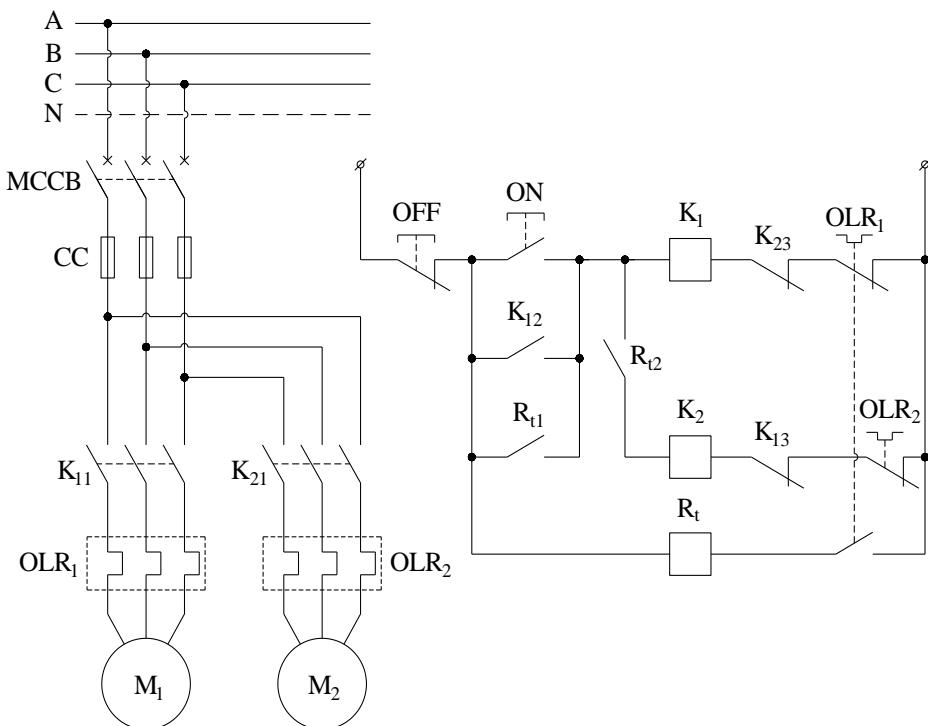
Đóng MCCB cấp điện cho mạch. Khi nhấn công tắc ON, công-tắc-tơ K₁ sẽ tác động, tiếp điểm K₁₁ đóng lại cấp điện cho động cơ chạy với cách nối kiểu hình sao, đồng thời vào thời điểm này cuộn dây của rơ-le R_t cũng có điện làm tiếp điểm thường mở của rơ-le R_t đóng lại, duy trì sự có điện của K₁ và T₁. Lúc này rơ-le thời gian T₁ cũng có điện và bắt đầu tính thời gian.

Khi ta thả nút ON động cơ chạy sao cho đèn khi rơ-le thời gian T₁ tác động, tiếp điểm T₁₁ mở và T₁₂ đóng lại cuộn K₂ có điện (lúc này K₁ mở) thì động cơ chạy theo cách nối kiểu tam giác. Hai tiếp điểm K₂₂ và K₁₂ của hai công tắc tơ dùng để khóa chéo lẫn nhau (K₁ đóng thì K₂ nhả và ngược lại).

Nếu trong quá trình làm việc động cơ bị quá tải hoặc mất pha, dòng điện các pha sẽ tăng cao làm rơ-le nhiệt (OLR) tác động, cắt điện mạch điều khiển. Động cơ được cắt ra khỏi lưới điện.

6.2.5. Mạch điện tự động đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải

Sơ đồ nguyên lý mạch điện tự động đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải như Hình 6.18.



Hình 6.18. Sơ đồ nguyên lý mạch điện tự động đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải

Đóng MCCB cấp điện cho mạch. Án nút ON, công-tắc-tơ K₁ có điện, tiếp điểm K₁₂ đóng lại. Công-tắc-tơ K₁ có điện đóng tiếp điểm K₁₁

ở mạch động lực đóng lại cấp điện cho động cơ M₁ làm việc.

Khi động cơ M₁ bị sự cố quá tải, tiếp điểm thường đóng của rơ-le nhiệt 1 (OLR₁) mở ra, công-tắc-tơ K₁ mất điện, tiếp điểm K₁₁ mở ra, động cơ M₁ ngừng hoạt động. Đồng thời tiếp điểm thường mở của rơ-le nhiệt 1 (OLR₁) đóng lại. Rơ-le R_t sẽ có điện và đóng các tiếp điểm R_{t1}, R_{t2}. Công-tắc-tơ K₂ có điện, đóng tiếp điểm K₂₁ ở mạch động lực, động cơ M₂ hoạt động.

Tóm tắt nội dung chương 6

1. Mạch đèn mắc nối tiếp sử dụng một công tắc điều khiển một nhóm đèn mắc nối tiếp, mạch đèn này được sử dụng khi có nhu cầu giảm công suất của bóng đèn, hoặc khi điện áp nguồn lớn hơn điện áp định mức của các đèn.

2. Mạch đèn mắc song song sử dụng một công tắc điều khiển một nhóm đèn mắc song song, mạch đèn này được sử dụng khi có nhu cầu tăng công suất cho nơi làm việc.

3. Mạch đèn điều khiển hai hay nhiều vị trí sử dụng các công tắc ba cực, bốn cực để điều khiển nhiều vị trí bật tắt đèn, mạch đèn này được sử dụng trong mạch đèn cầu thang, mạch đèn hành lang và mạch đèn nhà kho.

4. Mạch đèn sáng tối mờ sử dụng một công tắc hai cực, một công tắc ba cực để điều khiển trạng thái hai đèn: Cả hai đèn cùng sáng, chỉ có đèn 2 sáng và tắt cả hai đèn.

5. Mạch đèn chiếu sáng luôn phiên sử dụng một công tắc hai cực, một công tắc ba cực để điều khiển trạng thái hai đèn: Một trong hai đèn sáng hoặc tắt cả hai đèn.

6. Mạch đèn điều khiển 4 trạng thái sử dụng hai công tắc ba cực để điều khiển 4 trạng thái của hai đèn.

7. Mạch đèn chuông báo thể hiện sơ đồ đấu nối nút nhấn và chuông báo ở trong mạch điện.

8. Mạch đèn huỳnh quang thể hiện sơ đồ đấu nối các phần tử bóng đèn huỳnh quang, tắc-te, chấn lưu nối với nhau ở trong mạch điện.

9. Mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha bằng khởi động từ đơn, mạch điện này sử dụng các khí cụ điện công-tắc-to, ro-le nhiệt, nút nhấn để điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha.

10. Mạch điều khiển đảo chiều quay của động cơ điện ba pha bằng khởi động từ kép, mạch điện này sử dụng 2 khởi động từ để điều khiển đảo chiều quay động cơ điện xoay chiều ba pha.

11. Mạch tự động đảo chiều quay động cơ ba pha bằng ro-le thời

gian, mạch điện này sử dụng các khí cụ điện và ro-le thời gian để điều khiển đảo chiều quay động cơ điện xoay chiều ba pha.

12. Mạch điều khiển khởi động động cơ điện ba pha rôto lồng sóc bằng phương pháp đổi nối Y/Δ, mạch điện này sử dụng các khí cụ điện, ro-le điện từ và ro-le thời gian để điều khiển động cơ điện lúc khởi động chạy Y, lúc làm việc chạy Δ.

13. Mạch tự động đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải, mạch điện này sử dụng các khí cụ điện, ro-le điện từ và ro-le thời gian để điều khiển đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải.

Câu hỏi chương 6

- 6.1.** Giải thích nguyên lý hoạt động của mạch đèn mắc nối tiếp.
- 6.2.** Trình bày nguyên lý hoạt động của mạch đèn mắc song song.
- 6.3.** Giải thích nguyên lý hoạt động của các mạch một đèn điều khiển tại hai vị trí.
- 6.4.** Hãy trình bày nguyên lý hoạt động của mạch một đèn điều khiển ba vị trí và nêu ứng dụng của mạch đèn này.
- 6.5.** Giải thích nguyên lý hoạt động của mạch đèn điều khiển 2 trạng thái.
- 6.6.** Hãy vẽ sơ đồ và giải thích nguyên lý hoạt động của mạch đèn điều khiển 4 trạng thái.
- 6.7.** Hãy trình bày mạch đèn thấp sáng theo thứ tự và nêu phạm vi ứng dụng của mạch này.
- 6.8.** Hãy vẽ sơ đồ và giải thích nguyên lý hoạt động của mạch đèn chuông cửa.
- 6.9.** Hãy giải thích nguyên lý hoạt động của mạch đèn huỳnh quang.
- 6.10.** Trình bày nguyên lý hoạt động của mạch điều khiển động cơ xoay chiều ba pha bằng khởi động từ đơn.
- 6.11.** Hãy vẽ sơ đồ và giải thích nguyên lý hoạt động của mạch điều khiển đảo chiều quay của động cơ ba pha bằng khởi động từ kép.
- 6.12.** Hãy so sánh sự khác nhau của mạch điện tự động đảo chiều quay động cơ ba pha bằng rơ-le thời gian và mạch điều khiển đảo chiều quay của động cơ ba pha bằng khởi động từ kép.
- 6.13.** Giải thích tại sao phải khởi động động cơ điện ba pha bằng phương pháp đổi nối Y/Δ. Vẽ sơ đồ và giải thích nguyên lý hoạt động của mạch điều khiển khởi động động cơ điện ba pha rôto lồng sóc bằng phương pháp đổi Y/Δ.
- 6.14.** Trình bày nguyên lý hoạt động của mạch điện tự động đóng điện cho động cơ dự phòng khi động cơ chạy chính bị sự cố quá tải.

Tài liệu đọc thêm chương 6

1. Phạm Thị Cư, Lê Minh Cường, Trương Trọng Tuấn Mỹ, *Mạch điện 1*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
2. Phạm Xuân Hò, Hồ Xuân Thanh, *Giáo trình Khí cụ điện*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
3. Bùi Văn Hồng, *Giáo trình Thực hành điện cơ bản*, Nxb Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
4. Nguyễn Trọng Thắng, Trần Thế San, *Điện công nghiệp và điều khiển động cơ*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, 2013.
5. Stephen L. Herman, *Understanding Motor Controls*, Third Edition, Cengage Learning, 2016.

Phần III

KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ

Chương 7

LINH KIỆN BÁN DẪN

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 7

Sau khi học xong Chương 7, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được các khái niệm: Chất bán dẫn, chuyển tiếp p-n, diode bán dẫn, transistor lưỡng cực, transistor trường;
- Trình bày được các phương pháp phân cực cho chuyển tiếp p-n, transistor;
- Giải thích được cấu tạo, nguyên tắc hoạt động của các linh kiện bán dẫn như diode, transistor;
- Phân tích được vai trò của các linh kiện bán dẫn như: diode, transistor trong các mạch điện tử thông dụng.

7.1. Chất bán dẫn

7.1.1. Cấu trúc vùng năng lượng của chất rắn tinh thể

Cấu trúc năng lượng của một nguyên tử đứng cô lập có dạng là các mức rời rạc. Trong chất rắn tinh thể, các nguyên tử liên kết với nhau. Do tương tác, các mức này bị suy biến, tạo thành những dải gồm nhiều mức sát nhau được gọi là các vùng năng lượng. Đây là dạng cấu trúc năng lượng điển hình của vật rắn tinh thể (Hình 7.1).

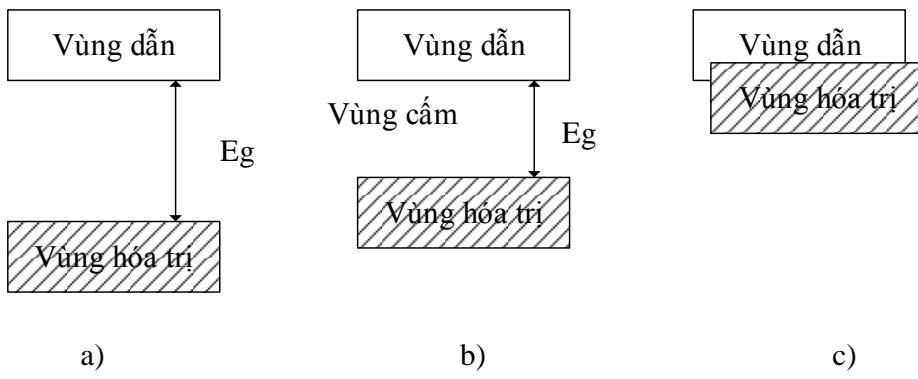
Tùy theo tình trạng các mức năng lượng trong một vùng có bị điện tử chiếm chỗ hay không, người ta phân biệt 3 loại vùng năng lượng khác nhau:

+ Vùng hóa trị (hay còn gọi là vùng đầy), trong đó tất cả các mức năng lượng đều đã bị chiếm chỗ, không còn trạng thái (mức) năng lượng tự do.

+ Vùng dẫn (vùng trống), trong đó các mức năng lượng đều còn bỏ trống hay chỉ bị chiếm chỗ một phần.

+ Vùng cấm, trong đó không tồn tại các mức năng lượng nào để điện tử có thể chiếm chỗ hay xác suất tìm hạt tại đây bằng 0.

Tùy theo vị trí tương đối giữa 3 loại vùng kể trên, xét theo tính chất dẫn điện, các chất rắn cấu trúc tinh thể được chia thành 3 loại (xét ở 0 K) thể hiện trên Hình 7.1



Hình 7.1. Phân loại vật rắn theo cấu trúc vùng năng lượng

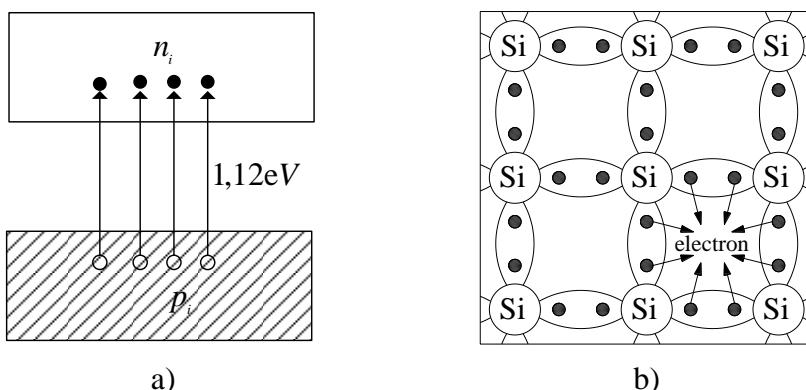
- Chất cách điện $E_g > 2\text{eV}$;
- Chất bán dẫn điện $E_g \leq 2\text{eV}$;
- Chất dẫn điện $E_g \leq 0\text{eV}$.

7.1.2. Chất bán dẫn thuận

Khác với chất dẫn điện, trong chất bán dẫn tồn tại hai loại hạt tải. Đó là điện tử (electron) và lỗ trống (hole). Để thấy rõ cơ chế hình thành các điện tử và lỗ trống (gọi tắt là hạt tải), ta xét hai chất bán dẫn điển hình là Gemanium (Ge) và Silicium (Si).

Gemanium có bề rộng vùng cấm $E_g = 0,72\text{eV}$ và Silicium có $E_g = 1,12\text{eV}$. Chúng là các nguyên tố thuộc nhóm IV trong Bảng tuần hoàn Mendeleev. Cấu trúc vùng năng lượng của bán dẫn Si được thể hiện ở Hình 7.2a. Mô hình cấu trúc mạng tinh thể hai chiều của Si được thể hiện trên Hình 7.2b, với bản chất là các liên kết ghép đôi điện tử hóa trị vành ngoài. Ở 0K tất cả các điện tử đều ở trạng thái liên kết, không hề có

điện tử tự do nên chúng là các chất cách điện. Khi nhiệt độ tăng lên hoặc gấp nguồn năng lượng khác kích thích sẽ xảy ra hiện tượng ion hóa các nguyên tử nút mạng. Điện tử bị bứt khỏi liên kết, trở thành điện tử tự do. Đồng thời, tại vị trí mà điện tử vừa rời khỏi sẽ trở thành một trạng thái thiếu điện tử, gọi là “lỗ trống”. Điều này tương ứng với sự chuyển điện tử từ một mức năng lượng trong vùng hóa trị lên một mức trong vùng dẫn, để lại một mức tự do (trống) trong vùng hóa trị (Hình 7.2a). Dưới tác dụng của trường ngoài hay một sự chênh lệch nồng độ, các cặp hạt hạt dẫn tự do này có thể dịch chuyển có hướng tạo nên dòng điện trong chất bán dẫn.



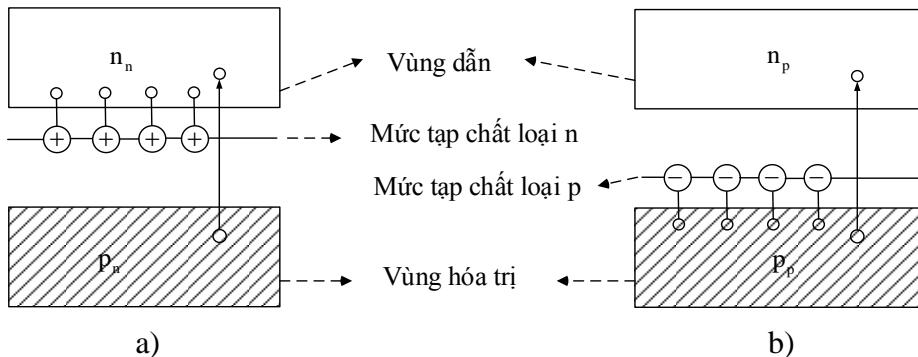
Hình 7.2. a) Đồ thị giải thích cơ chế phát sinh tùng cặp hạt dẫn tự do; b) Cấu trúc mạng tinh thể hai chiều của chất bán dẫn thuần Si.

7.1.3. Chất bán dẫn tạp chất loại n

Người ta tiến hành pha thêm các nguyên tử thuộc nhóm V trong Bảng tuần hoàn Mendeleev vào mạng tinh thể chất bán dẫn nguyên chất nhờ các công nghệ đặc biệt, với nồng độ khoảng 10^{10} đến 10^{18} nguyên tử/ m^3 . Khi đó các nguyên tử tạp chất thay thế một điện tử vành ngoài, liên kết yếu với hạt nhân, dễ dàng bị ion hóa nhờ một nguồn năng lượng yếu tạo nên một cặp ion dương tạp chất - điện tử tự do. Ở điều kiện bình thường ($25^\circ C$) toàn bộ các nguyên tử tạp chất đã bị ion hóa. Ngoài ra hiện tượng phát sinh hạt giống như cơ chế của chất bán dẫn thuần vẫn xảy ra như được mô tả trên Hình 7.3a, nhưng với mức độ yếu hơn.

Trên giản đồ vùng năng lượng, các mức năng lượng tạp chất loại này phân bố bên trong vùng cấm, nằm gần sát đáy vùng dẫn (khoảng

cách cỡ vài % eV), gọi là mức tệp chất loại n (negative). Kết quả là trong mạng tinh thể tồn tại nhiều ion dương của tệp chất bất động và dòng điện trong chất bán dẫn loại n gồm hai thành phần không bằng nhau tạo ra: điện tử được gọi là hạt dẫn đa số có nồng độ là n_n , lỗ trống - loại thiểu số có nồng độ p_n . Nồng độ điện tử rất lớn hơn nồng độ lỗ trống ($n_n \gg p_n$).



Hình 7.3. Sơ đồ vùng năng lượng chất bán dẫn tệp chất loại n (a) và loại p (b)

7.1.4. Chất bán dẫn tệp chất loại p

Nếu tiến hành pha tệp chất thuộc nhóm III trong Bảng tuần hoàn Mendeleev vào mạng tinh thể chất bán dẫn thuận ta được chất bán dẫn tệp chất loại p (positive) với đặc điểm chủ yếu là nguyên tử tệp chất thiếu một điện tử vành ngoài nên một liên kết hóa trị (ghép đôi) bị khuyết, ta gọi đó là lỗ trống liên kết, có khả năng nhận điện tử, khi nguyên tử tệp chất bị ion hóa sẽ sinh ra đồng thời một cặp: ion âm tệp chất - lỗ trống tự do. Mức năng lượng tệp chất loại p nằm trong vùng cấm sát định vùng hóa trị. Hình 7.3b cho phép giải thích cách sinh hạt dẫn của chất bán dẫn loại này. Vậy trong mạng tinh thể chất bán dẫn tệp chất loại p tồn tại nhiều ion âm tệp chất có tính chất định xứ từng vùng và dòng điện trong chất bán dẫn loại p gồm hai thành phần không tương đương nhau. Lỗ trống được gọi là các hạt dẫn đa số, điện tử gọi là hạt thiểu số, với các nồng độ tương ứng là p_p và n_p ($p_p \gg n_p$).

+ Nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn:

- Nồng độ lỗ trống trong vùng hóa trị p:

$$p = N_v \cdot \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT}\right) \quad (7.1)$$

trong đó: $N_v = 2\left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2}\right)^{3/2}$ là mật độ trạng thái hiệu dụng trong vùng dẫn,

m_p : Khối lượng hiệu dụng của lỗ trống,

h : Hằng số Plank,

k : Hằng số Boltzmann.

- Nồng độ điện tử tự do trong vùng dẫn n:

$$n = N_c \cdot \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right) \quad (7.2)$$

trong đó: $N_c = 2\left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2}\right)^{3/2}$ là mật độ trạng thái hiệu dụng trong vùng dẫn,

m_n : Khối lượng hiệu dụng của điện tử tự do,

h : Hằng số Plank,

k : Hằng số Boltzmann,

E_F : Mức năng lượng Fermi-Dirac,

E_c : Mức năng lượng của đáy vùng dẫn,

E_v : Mức năng lượng của đỉnh vùng hóa trị.

+ *Dòng điện trong chất bán dẫn:*

- Dòng điện khuếch tán (diffusion current): Dòng điện tạo ra do sự chuyển động ngẫu nhiên do nhiệt của các hạt tải điện (thông thường giá trị trung bình bằng không) và sự khuếch tán các hạt tải điện từ vùng có mật độ cao sang vùng có mật độ thấp hơn:

$$j_{\text{diff}(n)} = qD_n \frac{dn}{dx}; \quad j_{\text{diff}(p)} = -qD_p \frac{dp}{dx} \quad (7.3)$$

trong đó:

D_p là hệ số khuếch tán của lỗ trống,

D_n là hệ số khuếch tán của điện tử,

$\frac{dp}{dx}, \frac{dn}{dx}$ là Gradien nồng độ lỗ trống và điện tử tự do.

- Dòng điện trôi (drift current): Dòng chuyển dịch của các hạt tải điện do tác động của điện trường E:

$$j_{\text{drift}} = j_{\text{drift}(n)} + j_{\text{drift}(p)} = qE(n\mu_n + p\mu_p) \quad (7.4)$$

- Dòng tổng cộng trong chất bán dẫn:

$$j_n = j_{\text{drift}(n)} + j_{\text{diff}(n)} = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx} \quad (7.5)$$

$$j_p = j_{\text{drift}(p)} + j_{\text{diff}(p)} = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx} \quad (7.6)$$

trong đó μ_n và μ_p là các hệ số tỷ lệ gọi là độ linh động của các hạt dẫn tương ứng. Với chất bán dẫn tạp chất ché tạo từ Ge có $\mu_n = 3800 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$; $\mu_p = 1800 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$; Với chất bán dẫn tạp chất ché tạo từ Si có $\mu_n = 1300 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$; $\mu_p = 500 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$.

7.2. Chuyển tiếp p-n

7.2.1. Chuyển tiếp p-n khi chưa có điện áp ngoài

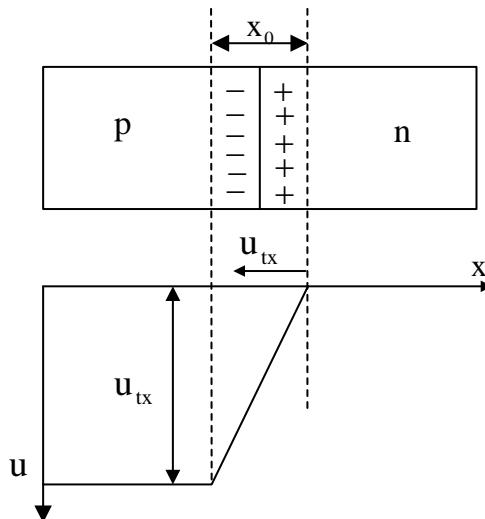
Khi cho hai khối bán dẫn p và n tiếp xúc công nghệ với nhau, giữa hai khối bán dẫn hình thành một lớp chuyển tiếp p-n, **do sự chênh lệch về nồng độ hạt dẫn giữa hai khối sẽ xảy ra sự khuếch tán**. Các lỗ trống ở khối bán dẫn p sẽ khuếch tán sang khối bán dẫn n và các điện tử từ khối bán dẫn n sẽ khuếch tán sang khối bán dẫn p. Do đó làm cho bề mặt gần lớp chuyển tiếp của khối p nghèo đi về điện tích dương và giàu lên về điện tích âm. Bề mặt gần lớp chuyển tiếp của khối n mất điện tích âm và nhận thêm lỗ trống nên tích điện dương. Nếu sự chênh lệch về nồng độ các loại hạt mang điện ở hai khối này càng lớn thì sự khuếch tán diễn ra càng mạnh.

Quá trình này làm cho hai bên mặt chuyển tiếp hình thành nén điện trường vùng tiếp xúc với điện áp u_{tx} có chiều hướng từ khói n sang khói p (Hình 7.4). Điện trường tiếp xúc này **cản trở** sự khuyếch tán của các hạt mang điện đa số từ khói này sang khói kia. **Khi u_{tx} cân bằng với lực khuyếch tán thì trạng thái cân bằng động xảy ra.** Khi đó vùng điện tích không gian không tăng nữa, vùng này gọi là **vùng nghèo**. Khi cân bằng động, có bao nhiêu hạt dẫn điện khuyếch tán từ khói này sang khói kia thì cũng bấy nhiêu hạt dẫn được chuyển trở lại qua mặt tiếp xúc, chúng bằng nhau về trị số nhưng ngược chiều nhau nên chúng triệt tiêu nhau, do vậy dòng điện qua chuyển tiếp p-n bằng 0.

Hiệu điện thế tiếp xúc có giá trị được xác định bởi:

$$u_{tx} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{n_n}{n_p}\right) \quad (7.7)$$

Kết luận: Không có dòng điện chạy qua lớp chuyển tiếp p-n khi chưa có điện trường ngoài.



Hình 7.4. Chuyển tiếp p-n khi chưa có điện trường ngoài

7.2.2. Phân cực thuận

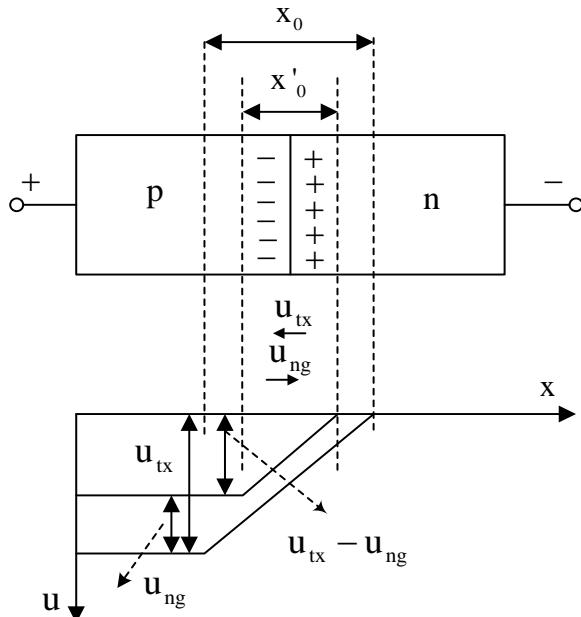
Cách đặt điện áp ngoài u_{ng} lên lớp chuyển tiếp p-n sao cho **p nối cực dương**, **n nối cực âm** gọi là phân cực thuận (Hình 7.5). Khi đó điện áp ngoài u_{ng} ngược chiều với u_{tx} , đồng thời u_{ng} đặt lên vùng nghèo và xếp

chồng với u_{tx} làm cho cường độ trường tổng cộng tại vùng x_0 giảm đi, tăng chuyển động khuếch tán i_{kt} . Người ta gọi đó là hiện tượng **phun hạt đa số qua miền chuyển tiếp p-n**. Dòng điện trôi do u_{ng} gây ra gần như giảm không đáng kể, do nồng độ hạt thiểu số nhỏ. Trường hợp này bề rộng vùng nghèo giảm đi so với x_0 . Khi điện áp thuận **càng tăng**, bề dày vùng nghèo **càng giảm** và điện áp hàng rào thê ($u_{tx} - u_{ng}$) càng giảm. Khi $u_{tx} = u_{ng}$ hàng rào thê biến mất, dòng qua chuyển tiếp p-n theo chiều thuận sẽ vô cùng lớn, phá hỏng miền chuyển tiếp.

Dòng điện qua chuyển tiếp p-n là tổng dòng khuyên tán điện tử và lỗ trống:

$$i = i_n + i_p = i_s \left(\exp \frac{qu}{kT} - 1 \right) \quad (7.8)$$

với i_s là dòng ngược.

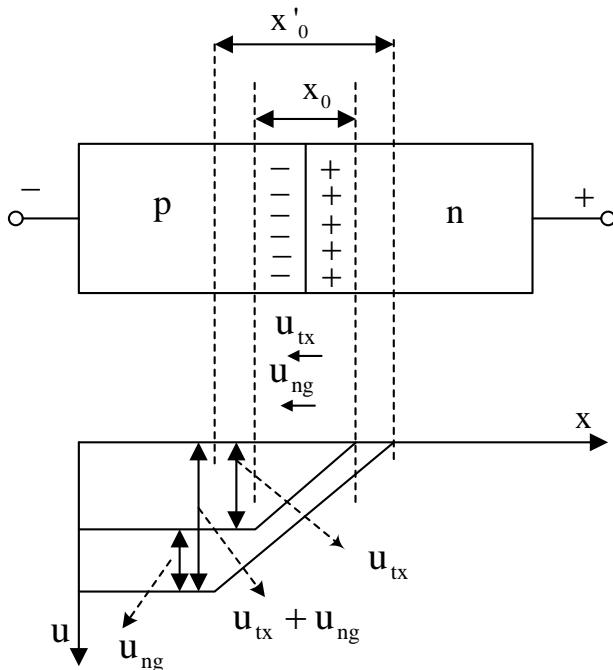


Hình 7.5. Phân cực thuận chuyển tiếp p-n

7.2.3. Phân cực ngược

Cách đặt điện áp ngoài u_{ng} lên chuyển tiếp p-n sao cho p nối với cực âm, n nối với cực dương gọi là **phân cực ngược** (Hình 7.6). Giả thiết trở kháng của chất bán dẫn ở ngoài vùng nghèo (gọi là vùng trung hoà) là

không đáng kể. Khi đó điện áp u_{ng} gần như đặt lên toàn bộ vùng nghèo, chồng lên hiệu điện thế tiếp xúc u_{tx} . Tình trạng cân bằng trước đây không còn nữa. Điện trường do điện áp u_{ng} gây ra cùng chiều với u_{tx} sẽ làm hạt dẫn đa số của hai bán dẫn rời xa khỏi mặt ranh giới đi về 2 phía.



Hình 7.6. Phân cực ngược chuyển tiếp p-n

Do đó vùng nghèo bị mở rộng ($x'_0 > x_0$) trở kháng vùng nghèo tăng. Hàng rào điện thế trở thành ($u_{ng} + u_{tx}$) khiến dòng khuếch tán của hạt dẫn đa số giảm xuống rất nhỏ, còn dòng trôi của hạt dẫn thiểu số thì tăng theo u_{ng} , nhưng do nồng độ hạt dẫn thiểu số rất nhỏ nên trị số dòng này rất nhỏ. Nó nhanh chóng đạt đến giá trị bão hòa khi u_{ng} còn rất thấp. Dòng tổng hợp qua chuyển tiếp p-n (chiều dương quy ước là chiều từ p sang n) ở trạng thái này có giá trị rất bé và chạy theo chiều âm.

7.2.4. Sự đánh thủng lớp chuyển tiếp

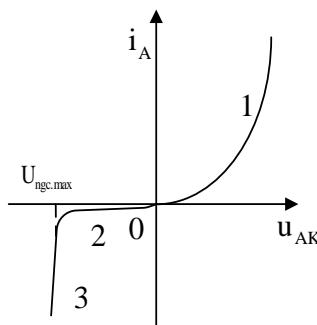
Khi chuyển tiếp p-n bị phân cực ngược, nếu điện áp ngược tăng đến một giá trị quá lớn nào đó thì dòng điện ngược tăng vọt, nghĩa là chuyển tiếp p-n dẫn điện mạnh theo chiều ngược, phá hỏng đặc tính van vốn có của nó. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng đánh thủng. Giá trị điện

áp ngược khi xảy ra quá trình này thường ký hiệu là $u_{ngc,max}$ (điện áp đánh thủng).

Nguyên nhân dẫn đến đánh thủng có thể do điện hoặc do nhiệt, vì vậy người ta thường phân biệt hai dạng: đánh thủng về điện và đánh thủng về nhiệt. Có khi cả hai nguyên nhân đó kết hợp lại với nhau và tăng cường lẫn nhau, gây ra một dạng đánh thủng thứ ba là đánh thủng điện - nhiệt.

Đánh thủng về điện phân làm hai loại: đánh thủng thác lũ (avalanche) và đánh thủng xuyên hầm (tunnel).

Đánh thủng thác lũ thường xảy ra trong các chuyển tiếp p-n có bề dày lớn, điện trường trong vùng nghèo có trị số khá lớn. Điện trường này gia tốc cho các hạt dẫn, gây ra hiện tượng ion hóa vì va chạm làm sản sinh những cặp điện tử - lỗ trống. Các hạt dẫn vừa sinh ra này lại tiếp tục được gia tốc và ion hóa các nguyên tử khác, cứ như thế số lượng hạt dần tăng lên gấp bội, khiến dòng điện tăng vọt.



Hình 7.7. Đặc tuyến Volt - Ampere của chuyển tiếp p-n

Đánh thủng xuyên hầm xảy ra ở những vùng nghèo tương đối hẹp, tức là chuyển tiếp của những bán dẫn có nồng độ tạp chất rất lớn. Điện trường trong vùng nghèo rất lớn, có khả năng gây ra hiệu ứng “xuyên hầm”, tức là điện tử trong vùng hoà trị của bán dẫn p có khả năng “chui qua” hàng rào thế để chạy sang vùng dẫn n, làm cho dòng điện tăng vọt.

Đặc tuyến Volt - Ampere của hai dạng đánh thủng nói trên gần như song song với trực tung. Khi nhiệt độ môi trường tăng, giá trị điện áp

đánh thủng theo cơ chế xuyên hầm bị giảm, còn điện áp đánh thủng theo cơ chế thác lũ, lại tăng (hệ số nhiệt dương).

Đánh thủng về nhiệt xảy ra do sự tích lũy nhiệt trong vùng nghèo. Khi có điện áp ngược lớn, dòng điện ngược tăng làm nóng chất bán dẫn, khiến nồng độ hạt dẫn thiểu số tăng và do đó lại làm dòng điện ngược tăng nhanh. Quá trình cứ thế tiến triển khiến cho nhiệt độ vùng nghèo và dòng điện ngược liên tục tăng nhanh, dẫn tới đánh thủng. Trị số của điện áp đánh thủng về nhiệt phụ thuộc vào dòng điện ngược ban đầu, vào nhiệt độ môi trường và điều kiện tỏa nhiệt của chuyển tiếp p-n. Đánh thủng về nhiệt thường gây ra những hậu quả tai hại, phá hỏng vĩnh viễn đặc tính chỉnh lưu của chuyển tiếp p-n. Còn đánh thủng về điện, nếu có biện pháp hạn chế dòng điện ngược sao cho công suất tiêu tán chưa vượt quá giá trị cực đại cho phép thì chuyển tiếp p-n vẫn có thể hồi phục lại đặc tính chỉnh lưu của mình.

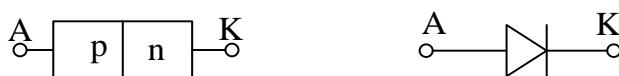
7.3. Diode bán dẫn

Diode bán dẫn là linh kiện gồm có một chuyển tiếp p-n và hai cực là anode (ký hiệu là A) được nối với bán dẫn p và cathode (ký hiệu là K) được nối với bán dẫn n (Hình 7.9).

Khi $u_{AK} > 0$ thì diode sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua vì lúc này chuyển tiếp p-n được phân cực thuận. Khi $u_{AK} < 0$ diode sẽ khoá vì chuyển tiếp p-n phân cực ngược, dòng điện ngược rất nhỏ I_0 chạy qua.



Hình 7.8. Một số hình ảnh thực tế của diode



Hình 7.9. Cấu tạo và ký hiệu của diode bán dẫn

7.3.1. Đặc trưng Volt-Ampere của diode bán dẫn (Hình 7.7)

Chuyển tiếp p-n (còn gọi vùng nghèo) là bộ phận quan trọng nhất của tiếp xúc giữa hai bán dẫn khác loại. Tùy theo điện áp đặt vào theo chiều thuận hay ngược mà nó có đặc tính khác nhau. Khi phân cực thuận, vùng nghèo hẹp, trở kháng nhỏ, dòng điện lớn và tăng nhanh theo điện áp; khi phân cực ngược, vùng nghèo mở rộng, trở kháng rất lớn, dòng điện chạy qua rất nhỏ và ít thay đổi theo điện áp. Như vậy chuyển tiếp p-n dẫn điện theo hai chiều không giống nhau. Nếu có điện áp xoay chiều đặt vào thì nó chỉ dẫn điện chủ yếu theo một chiều. Ta gọi đó là tính chất van hay đặc tính chỉnh lưu.

7.3.2. Diode chỉnh lưu và các ứng dụng điện hình của diode chỉnh lưu

Thành phần cơ bản của diode là chuyển tiếp p-n, có đặc tính chỉ dẫn điện chủ yếu theo một chiều và thường được ứng dụng để biến tín hiệu điện xoay chiều thành tín hiệu điện một chiều (do đó có tên là diode chỉnh lưu).

Đặc tuyến của diode chỉnh lưu trong thực tế (loại chế tạo bằng Silic, nhóm dòng điện nhỏ) như Hình 7.7.

Khi điện áp thuận có giá trị nhỏ hơn $U_{BE} \approx 0,6V$ (đối với diode Ge là $U_{BE} \approx 0,3V$) thì dòng điện thuận còn bé, chưa đáng kể. Chỉ khi điện áp thuận vượt quá điện áp mở U_{BE} thì dòng điện mới tăng nhanh theo điện áp, hơn nữa đoạn đặc tuyến này gần như một đường thẳng với độ dốc không đổi.

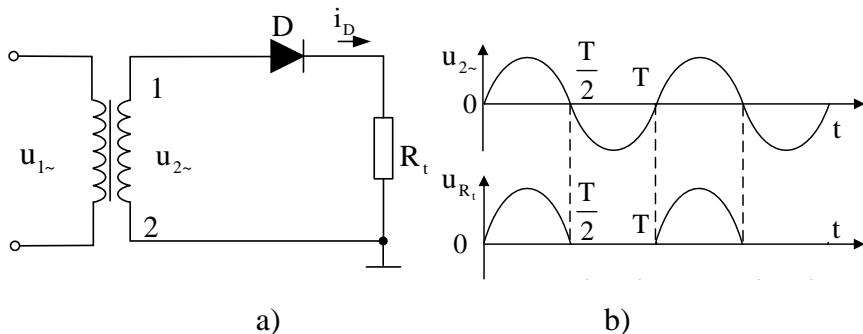
Dòng điện ngược có giá trị rất nhỏ. Khi điện áp ngược tăng, dòng điện ngược thực tế tăng dần và khi đạt đến điện áp đánh thủng $U_{ngc,max}$ thì dòng điện ngược tăng vọt. Nếu không có biện pháp hạn chế dòng điện để ngăn ngừa sự vượt quá công suất cho phép thì quá trình đánh thủng này sẽ làm hỏng diode.

a) *Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ*

+ Sơ đồ nguyên lý:

Trên hình 7.10a, tín hiệu xoay chiều $u_{1\sim}$ qua biến áp cho tín hiệu

xoay chiều $u_{2\sim}$ mong muốn. tín hiệu này qua diode biến đổi điện thành tín hiệu một chiều.



Hình 7.10. Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ, sơ đồ nguyên lý (a)
và dạng tín hiệu chỉnh lưu (b)

+ Nguyên lý hoạt động:

- Khi $t = 0 \div T/2$, điện thế điểm 1 dương hơn điểm 2, diode D phân cực thuận nên mở cho dòng i_D chạy qua D và phụ tải R_t về điểm 2. Khi đó: $u_{ra} = u_{Rt} = u_{2\sim} - u_D = u_{2\sim} = U_{2m} \sin(\omega t)$. (đối với trường hợp diode lý tưởng $u_D = 0$).

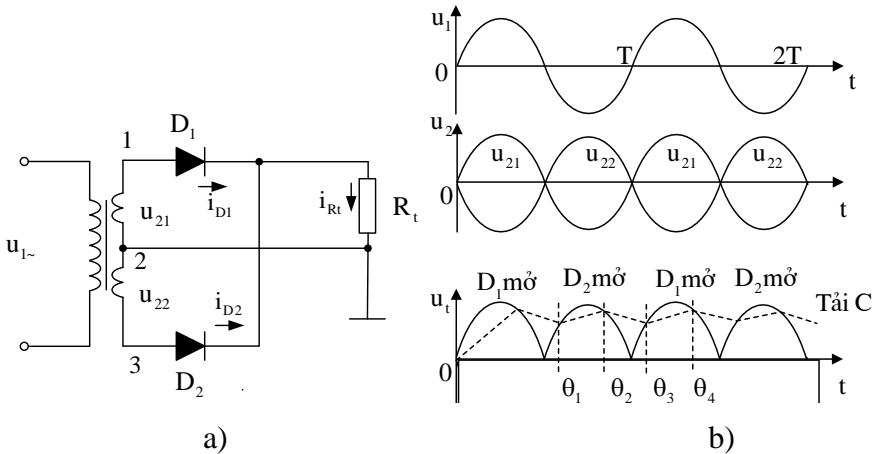
- Khi $t = T/2 \div T$, điện thế tại điểm 2 dương hơn điểm 1 (diode phân cực ngược), D khoá, Khi đó: $u_{ra} = u_{Rt} = 0$.

Kết quả: Dòng điện (điện áp) nhận trên điện trở tải R_t chỉ còn lại nửa chu kỳ (Hình 7.10b), nên được gọi là mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ.

b) *Mạch chỉnh lưu hai nửa chu kỳ*

+ Sơ đồ nguyên lý:

Trong sơ đồ Hình 7.11a, cuộn thứ cấp của biến áp được chia làm hai nửa có số vòng dây bằng nhau, chiều quấn dây ngược nhau, với cách cuộn đó tạo ra hai điện áp u_{21}, u_{22} có cùng biên độ nhưng lệch pha nhau 180° .



Hình 7.11. Mạch chỉnh lưu hai nửa chu kỳ, sơ đồ nguyên lý (a)
và dạng tín hiệu chỉnh lưu (b)

+ Nguyên lý hoạt động:

- Khi $t = 0 \div T/2$: $u_{21} > 0$, $u_{22} < 0$, điện thế điểm 1 dương hơn điểm 2, điểm 2 dương hơn điểm 3, diode D_1 phân cực thuận nên mở, D_2 phân cực ngược nên bị khoá, cho dòng i_{D1} chạy qua D_1 và phụ tải R_t về điểm 2. Khi đó: $u_{ra} = u_t = u_{21} - u_{D1} = u_{21} = U_{21m} \sin(\omega t)$. (cho trường hợp diode lý tưởng $u_{D1} = 0$).

- Khi $t = T/2 \div T$: $u_{21} < 0$, $u_{22} > 0$, điện thế điểm 3 dương hơn điểm 2, điểm 2 dương hơn điểm 1, D_1 khoá, D_2 mở, cho dòng i_{D2} chạy qua D_2 , R_t về điểm 2. Khi đó: $u_{ra} = u_t = u_{22} - u_{D2} = u_{22} = U_{22m} \sin(\omega t)$. (cho trường hợp diode lý tưởng $u_{D2} = 0$).

Kết quả: Dòng điện (điện áp) nhận được trên tải có dạng là các nửa hình sin liên tiếp nhau (Hình 7.11b), trong một chu kỳ của điện áp lưới các diode thay phiên nhau làm việc.

+ Giá trị trung bình của điện áp trên tải:

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin(\omega t) d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \quad (7.9)$$

với: U_2 là giá trị hiệu dụng của điện áp trên một cuộn dây thứ cấp MBA.

+ Giá trị trung bình của dòng điện trên tải: $I_{R_t} = \frac{U_0}{R_t}$

+ Dòng trung bình đi qua các diode: $I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_{R_t}}{2}$

+ Điện áp ngược cực đại đặt vào mỗi diode khi khoá bằng tổng điện áp cực đại trên hai cuộn dây thứ cấp biến áp. $U_{ngmax} = 2.U_{2m}$

Để đánh giá độ bắc phẳng của điện áp trên tải sau khi chỉnh lưu, thường sử dụng hệ số đập mạch, được định nghĩa đối với thành phần sóng bậc n

$$q_n = \frac{U_{nm}}{U_0} \quad (7.10)$$

trong đó U_{nm} là biên độ sóng có tần số $n\omega$, U_0 là thành phần điện áp một chiều trên tải. $q_1 = \frac{U_{1m}}{U_0} = 2/(m^2 - 1)$, với m là số pha chỉnh lưu. $q = 0,67$ (với mạch hai nửa chu kỳ $m=2$).

+ Điện áp ngược cực đại đặt vào van khóa bằng tổng điện áp cực đại trên 2 cuộn thứ cấp của biến áp

$$U_{ngcmax} = 2\sqrt{2}U_2 = 3,14U_0 \quad (7.11)$$

Khi đó cần chọn van D_1, D_2 có điện áp ngược cho phép

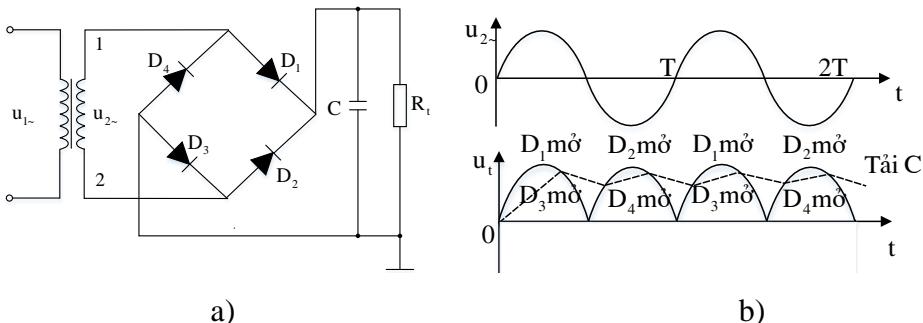
$$U_{ngcf} > U_{ngcmax} = 3,14U_0 \quad (7.12)$$

+ Khi dùng tải là tụ điện lọc C (đường đứt nét trên Hình 7.11b) ở chế độ xác lập, do hiện tượng phóng và nạp điện của tụ điện C, mạch lúc đó làm việc ở chế độ không liên tục như trường hợp với tải điện trở. Lúc này mỗi van chỉ làm việc trong khoảng thời gian $\theta_1 \div \theta_2$ (với van D_2) và $\theta_3 \div \theta_4$ (với van D_1) nhỏ hơn nửa chu kì và thông mạch nạp cho tụ điện từ nguồn u_{22} và u_{21} .

Trong khoảng thời gian còn lại, các van đều khóa (do điện áp trên tụ điện đã nạp lớn hơn và giá trị tức thời của điện áp pha tương ứng u_{22} và

u_{21}). Lúc đó tụ điện C phóng điện và cung cấp điện áp ra trên R_t .

c) *Mạch chỉnh lưu cầu*



Hình 7.12. Mạch chỉnh lưu cầu

Trong sơ đồ Hình 7.12a, cầu gồm có bốn nhánh với bốn diode được nối theo nguyên tắc: hai cạnh đối diện các diode nối cùng chiều, tạo hai nhóm diode: một nhóm có cathode chung, một nhóm có anode chung.

Khi $t = 0 \div T/2$, điện thế điểm 1 dương hơn điểm 2, D_2 , D_4 phân cực ngược do đó không có dòng đi qua, hay là D_2 , D_4 khoá. D_1 , D_3 phân cực thuận do đó D_1 , D_3 mở cho dòng điện i_1 chạy qua D_1 , R_t , D_3 về điểm 2.

Khi $t = T/2 \div T$, điện thế điểm 2 dương hơn điểm 3, D_1 , D_3 phân cực ngược nên không có dòng chạy qua D_1 , D_3 và D_2 , D_4 phân cực thuận, do đó có dòng điện i_2 chạy qua D_2 , R_t , D_4 về điểm 1.

Kết quả là điện áp (dòng điện) ra trên tải là các nửa hình sin liên tiếp nhau trong một chu kỳ giống như sơ đồ chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ có điểm trung tính (Hình 7.12b). Các biểu thức tính dòng và áp hoàn toàn giống như sơ đồ có điểm trung tính. Chỉ khác, nếu cùng một giá trị của điện áp trên tải thì trong sơ đồ này điện áp ngược đặt lên mỗi diode khi khoá giảm đi một nửa: $U_{ng,max} = U_{2m}$ đây chính là ưu điểm cơ bản của sơ đồ cầu. Do đó sơ đồ này là sơ đồ cơ bản được sử dụng chủ yếu trong các mạch chỉnh lưu trong thực tế.

d) *Các mạch ghim (Mạch xén)*

Các mạch hạn chế biên độ được sử dụng để hạn chế biên độ của

điện áp ra lớn hơn, nhỏ hơn hoặc nằm giữa hai giá trị nào đó (gọi là các mức ngưỡng).

Thông thường, giá trị của các mức ngưỡng không vượt quá biên độ lớn nhất của điện áp đưa vào hạn chế.

Tùy theo cách mắc của phần tử hạn chế so với tải và cách lấy điện áp ra mà ta có các mạch hạn chế nối tiếp, song song, mạch hạn chế trên, dưới và mạch hạn chế 2 phía.

Sau đây ta xét mạch hạn chế nối tiếp. Đó là mạch mà diode hạn chế mắc nối tiếp với mạch tải. Để đơn giản khi phân tích, ta giả thiết tín hiệu vào là hình sin, diode là lý tưởng.

Khi $u_d > 0$ diode mở và điện áp ra bằng

$$u_{ra1} = \frac{R}{R + R_{th} + R_{ng}} u_v + \frac{R_{th} + R_{ng}}{R + R_{th} + R_{ng}} E \quad (7.13)$$

R_{th} và R_{ngc} là giá trị trung bình của trở kháng thuận và trở kháng ngược của diode, R_{ng} là trở kháng trong của nguồn u_v .

Khi $u_d < 0$ diode khóa và điện áp ra bằng

$$u_{ra2} = \frac{R}{R + R_{ngc} + R_{ng}} u_v + \frac{R_{ngc} + R_{ng}}{R + R_{ngc} + R_{ng}} E \quad (7.14)$$

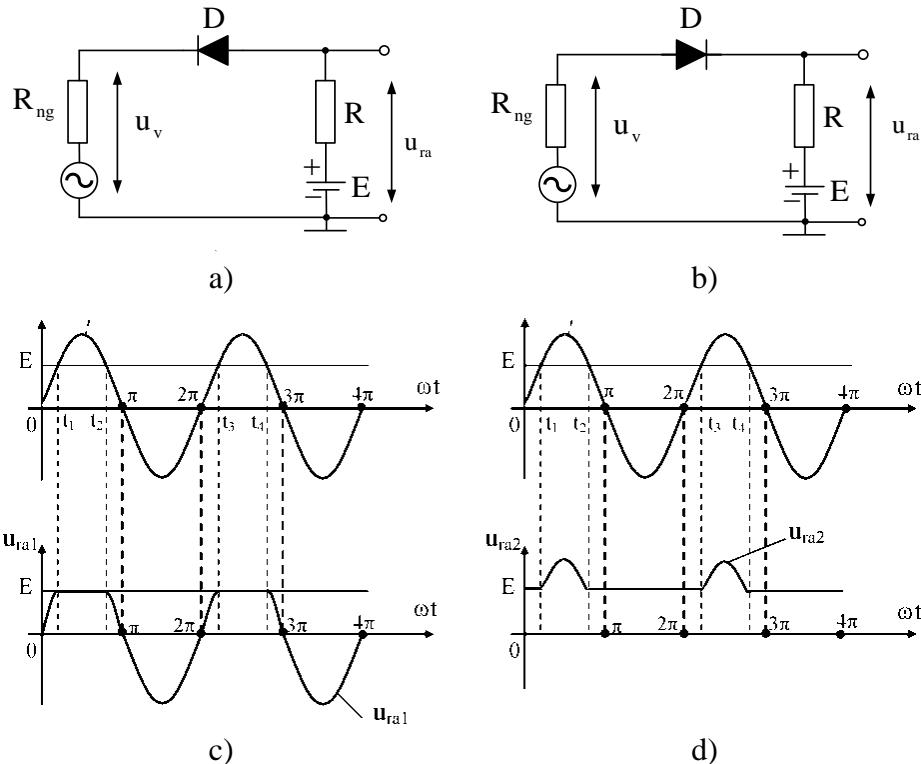
Nếu thoả mãn điều kiện: $R_{th} + R_{ng} \ll R \ll R_{ngc} + R_{ng}$

$$\frac{R}{R + R_{ngc} + R_{ng}} \approx 0 \quad (7.15)$$

$$\frac{R}{R + R_{th} + R_{ng}} \approx 1 \quad (7.16)$$

Do đó $u_{ra1} = u_v$, $u_{ra2} = E$, nên mạch hạn chế trên (Hình 7.13a) thực hiện điều kiện:

$$\begin{cases} u_v \geq E, u_d < 0 & \text{có } u_{ra2} = E \\ u_v < E, u_d > 0 & \text{có } u_{ra1} = u_v \end{cases} \quad (7.17)$$



Hình 7.13. Các mạch hạn chế nối tiếp

- a. Mạch hạn chế mức trên; c. Giản đồ thời gian minh họa;
- b. Mạch hạn chế mức dưới; d. Giản đồ thời gian minh họa.

Mạch hạn chế dưới (Hình 7.13b) thực hiện điều kiện:

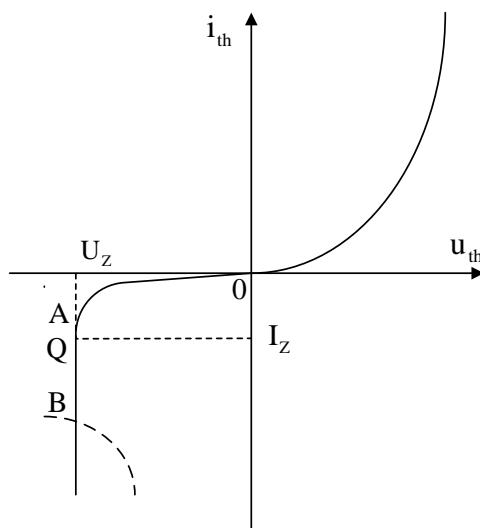
$$\begin{cases} u_v \geq E, u_d > 0 & \text{có } u_{ra1} = u_v \\ u_v < E, u_d < 0 & \text{có } u_{ra2} = E \end{cases} \quad (7.18)$$

Giản đồ tín hiệu của mạch hạn trên và hạn dưới được minh họa như Hình 7.13c và Hình 7.13d.

7.3.3. Diode Zener (Diode ổn áp)

Diode Zener còn gọi là diode ổn áp, là một loại diode bán dẫn làm việc ở chế độ phân cực ngược trên vùng điện áp đánh thủng. Điện áp này còn gọi là điện áp Zener (U_z trên Hình 7.14). Nó được chế tạo sao cho khi phân cực ngược thì diode Zener sẽ ghim một mức điện áp gần cố định bằng giá trị ghi trên diode, làm ổn áp cho mạch điện.

Về cấu tạo: vẫn là chuyển tiếp p-n, nhưng chế tạo bằng vật liệu chịu nhiệt và tỏa nhiệt tốt, do đó khi điện áp ngược đủ lớn sẽ xảy ra quá trình đánh thủng về điện (đánh thủng thác lũ hoặc đánh thủng xuyên hầm) mà ít khi đánh thủng về nhiệt, nghĩa là không phá hỏng diode. Đặc tuyến volt-ampere trong quá trình đánh thủng gần như song song với trực dòng điện, nghĩa là điện áp giữa cathode và anode hầu như không đổi. Người ta lợi dụng ưu điểm này để dùng diode Zener làm phần tử ổn định điện áp. Giới hạn trên của phạm vi làm việc chính và trị số dòng điện ngược tối đa cho phép, xác định bởi công suất tiêu hao cực đại của diode P_{max} (điểm B trên hình 7.14).



Hình 7.14. Đặc tuyến Volt - Ampere của diode Zener

Để đặc trưng cho diode Zener, người ta dùng các tham số sau đây:

- Điện áp ổn định U_z .
- Trở kháng tương đương (còn gọi trở kháng động) tại điểm làm việc (nằm trong miền đánh thủng).

$$r_d = \frac{du_z}{di} \quad (7.19)$$

Trị số r_d càng bé chứng tỏ đặc tuyến đánh thủng càng dốc đứng, nghĩa là chất lượng ổn định điện áp càng cao.

- Trở kháng tĩnh xác định bằng tỷ lệ số giữa điểm áp trên diode và dòng điện qua nó:

$$r_t = \frac{u_z}{i_z} \quad (7.20)$$

- Hệ số ổn định phản ánh tỷ số giữa lượng biến thiên tương đối của dòng điện và lượng biến thiên tương đối của điện áp phát sinh trong quá trình đó:

$$S = \frac{di_z/i_z}{du_z/u_z} = \frac{di_z}{du_z} \cdot \frac{u_z}{i_z} = \frac{r_t}{r_d} \quad (7.21)$$

Rõ ràng là trở kháng tương đương r_d càng nhỏ so với trở kháng tĩnh r_t thì độ ổn định đạt được càng cao.

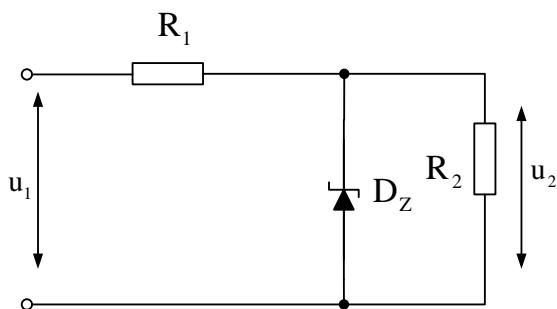
Đôi khi người ta định nghĩa hệ số ổn định bằng tỷ lệ số giữa lượng biến thiên của điện áp vào và lượng biến thiên tương ứng của điện áp ra.

- Hệ số nhiệt của điện áp ổn định: Hệ số này biểu thị lượng biến thiên tương đối của điện áp ổn định theo nhiệt độ:

$$\theta_T = \frac{1}{u_z} \frac{du_z}{dt} \Big|_{i_z = \text{const}} \quad (7.22)$$

Tùy theo cơ chế đánh thủng thuộc loại thác lũ hay loại xuyên hầm (tunnel) mà θ_T có giá trị dương hoặc âm. Thông thường trị số θ_T vào khoảng $(2 \div 4)10^{-3} / {}^\circ\text{C}$.

Trên Hình 7.15 là sơ đồ mạch ổn áp bằng diode Zener – Một ứng dụng cơ bản của loại diode này.



Hình 7.15. Mạch ổn áp bằng diode Zener

Trên Hình 7.15:

u₁: Điện áp một chiều chưa ổn định,

u₂: Điện áp lấy ra trên tải (đã ổn định),

R₁: điện trở hạn chế dòng điện qua diode, sao cho điểm làm việc nằm trong phạm vi AB cho phép.

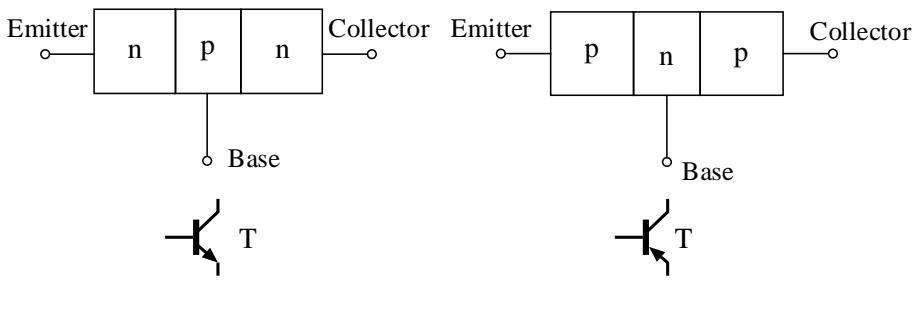
Khi u₁ biến động, dòng qua R₁ và D_Z thay đổi, nhưng điện áp u₂ trên hai đầu D_Z vẫn gần như không đổi.

7.4. Transistor lưỡng cực

Nếu trên cùng một đế bán dẫn người ta tạo ra hai chuyển tiếp p-n ở gần nhau, dựa trên đặc tính dẫn điện của mỗi chuyển tiếp và tác dụng tương hỗ giữa chúng sẽ làm cho dụng cụ này có khả năng khuếch đại được những tín hiệu điện và khi đó người ta gọi là transistor lưỡng cực.

7.4.1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc

a. Cấu tạo



Hình 7.16. Cấu tạo, ký hiệu transistor lưỡng cực loại n-p-n (a)

và p-n-p (b)

Transistor gồm 3 lớp bán dẫn ghép liên tiếp nhau, hai lớp ngoài cùng có tính dẫn điện cùng loại, lớp ở giữa có tính dẫn điện khác với hai lớp ngoài. Tuỳ theo cách sắp xếp các khối bán dẫn mà ta có Transistor thuận p-n-p (Hình 7.16b) và Transistor ngược n-p-n (Hình 7.16a).

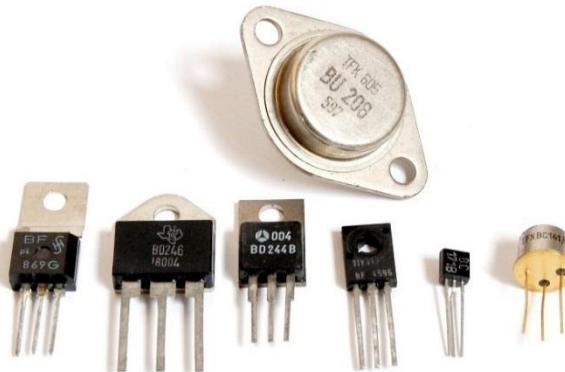
Miền bán dẫn thứ nhất gọi là miền emitter, có đặc điểm là nồng độ tạp chất lớn nhất, điện cực nối với nó gọi là cực emitter(E).

Miền thứ hai gọi là miền base, có kích thước rất mỏng cỡ μm và nồng độ tạp chất ít nhất, điện cực nối với nó gọi là cực base(B).

Miền thứ ba có nồng độ tạp chất trung bình gọi là miền collector, điện cực nối với nó gọi là cực collector(C).

- Chuyển tiếp giữa miền emitter với miền base gọi là chuyển tiếp J_E
- Chuyển tiếp giữa miền base với miền collector gọi là chuyển tiếp J_C .

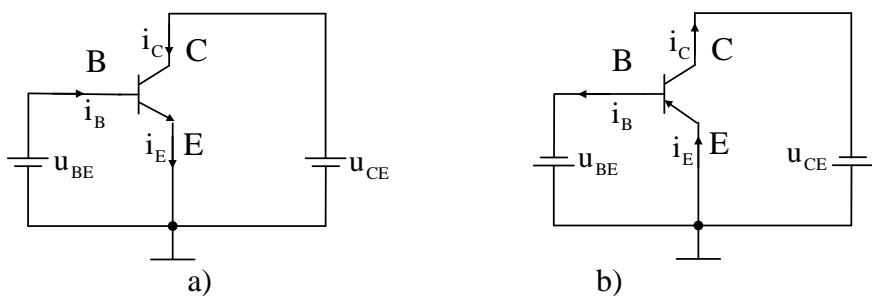
- Chiều mũi tên trong ký hiệu của transistor bao giờ cũng là chiều của điện áp phân cực thuận cho chuyển tiếp J_E (có chiều từ bán dẫn p sang bán dẫn n).



Hình 7.17. Một số hình ảnh transistor trong thực tế

b. Nguyên lý làm việc

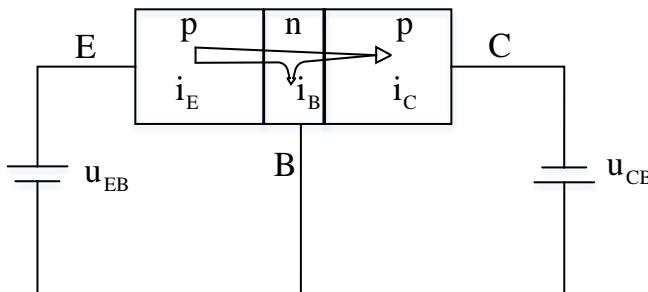
Để cho Transistor có thể làm việc ở chế độ khuỷch đại tín hiệu điện, người ta phải đưa điện áp một chiều tới các điện cực của nó gọi là phân cực cho transistor, sao cho chuyển tiếp J_E phân cực thuận và chuyển tiếp J_C phân cực ngược như Hình 7.18.



Hình 7.18. Phân cực cho transistor

Giả sử ta xét transistor p-n-p như Hình 7.18b. Do chuyển tiếp J_E phân cực thuận bằng nguồn u_{BE} Điện trường gây bởi u_{BE} có tác dụng gia tốc các hạt dẫn điện đa số (lỗ trống) từ vùng emitter qua J_E đến vùng base tạo thành dòng điện cực emitter (i_E). Do nồng độ các lỗ trống ở vùng emitter lớn nên dòng điện i_E có giá trị lớn.

Khi đến vùng base, một phần nhỏ lỗ trống sẽ tái hợp với các điện tử đến từ cực âm của nguồn u_{BE} tạo thành dòng điện cực base (i_B) rất nhỏ. Phần lớn các lỗ trống còn lại khuếch tán qua vùng base và di chuyển đến chuyển tiếp J_C . Tại chuyển tiếp J_C phân cực ngược, nên các hạt này được gia tốc, các hạt này sẽ khuếch tán qua chuyển tiếp J_C sang miền collector tạo thành dòng i_C .



Hình 7.19. Phân tích nguyên lý hoạt động transistor

Thực tế, vì chuyển tiếp J_C phân cực ngược nên vẫn tồn tại dòng điện ngược có trị số nhỏ I_{CB0} , do mật độ các hạt dẫn thiểu số nhỏ nên dòng I_{CB0} có trị số nhỏ, ta có thể bỏ qua.

Khi đó, ta có biểu thức dòng điện trong transistor là:

$$i_E = i_B + i_C \quad (7.23)$$

Do $i_B \ll i_E, i_B \ll i_C$ nên $i_E \approx i_C$

Để đánh giá mức độ hao hụt của dòng điện cực emitter tại vùng cực base, người ta đưa ra khái niệm gọi là hệ số truyền đạt dòng điện α :

$$\alpha = i_C / i_E \quad (7.24)$$

Để đánh giá tác dụng điều khiển của dòng điện cực base tới dòng điện cực collector người ta đưa ra hệ số khuếch đại dòng điện β :

$$\beta = i_C / i_B \quad (7.25)$$

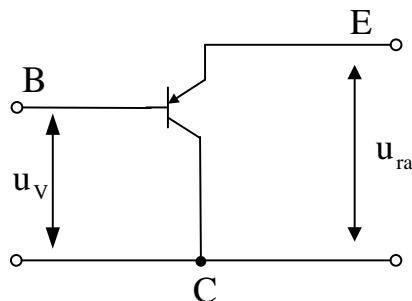
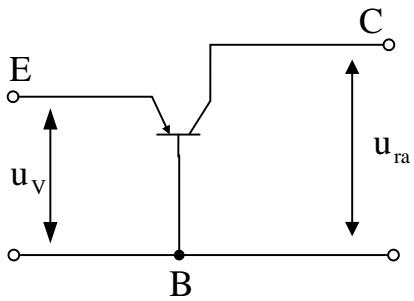
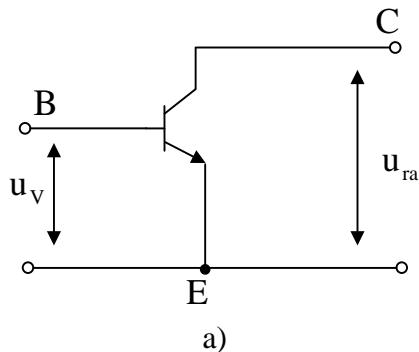
Từ các công thức (7.23), (7.24) và (7.25) ta có quan hệ: $\alpha = \beta/(1+\beta)$ và $i_E = i_B(1+\beta)$.

Đối với Transistor ngược n-p-n, nguyên lý làm việc cũng tương tự như transistor thuận, chỉ khác là ở transistor ngược phần tử mang điện đa số ở cực emitter là điện tử, đồng thời để cho sơ đồ hoạt động ta phải đổi lại cực tính của các nguồn điện cũng như đổi lại chiều của các dòng điện i_E , i_B , i_C .

7.4.2. Các cách mắc Transistor ở chế độ khuếch đại

Khi sử dụng về nguyên tắc có thể lấy hai trong số ba cực của transistor làm đầu vào, cực thứ ba còn lại cùng với một cực đầu vào làm đầu ra. Như vậy có tất cả sáu cách mắc mạch khác nhau. Nhưng dù mắc như thế nào cũng cần có một cực chung cho cả đầu vào và đầu ra. Trong số sáu cách mắc đó thì chỉ có ba cách mắc là transistor có thể khuếch đại được công suất, đó là cách mắc chung Emitter (CE hay Common-Emitter, đôi khi gọi là EC - Hình 7.20a), chung Base (CB hay Common-Base, đôi khi gọi là BC- Hình 7.20b) và chung Collector (CC hay Common-Collector - Hình 7.20c). Ba cách mắc còn lại không có ứng dụng trong thực tế.

Đồ thị diễn tả các mối tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT được gọi là đặc tuyến volt - ampere (hay đặc tuyến tĩnh). Người ta thường phân biệt thành 4 loại đặc tuyến: đặc tuyến vào (nêu quan hệ giữa dòng điện và điện áp ở ngõ vào), đặc tuyến ra (nêu quan hệ giữa dòng điện và điện áp ở ngõ ra), đặc tuyến truyền đạt dòng điện (nêu sự phụ thuộc của dòng điện ra theo dòng điện vào) và đặc tuyến hồi tiếp điện áp (nêu sự biến đổi của điện áp giữa hai ngõ vào khi điện áp ra thay đổi). Dưới đây chỉ giới thiệu 3 loại đặc tuyến thường dùng nhất cho từng kiểu mạch cơ bản.



Hình 7.20. Các cách mắc transistor ở chế độ khuếch đại

a. Mạch base chung (BC)

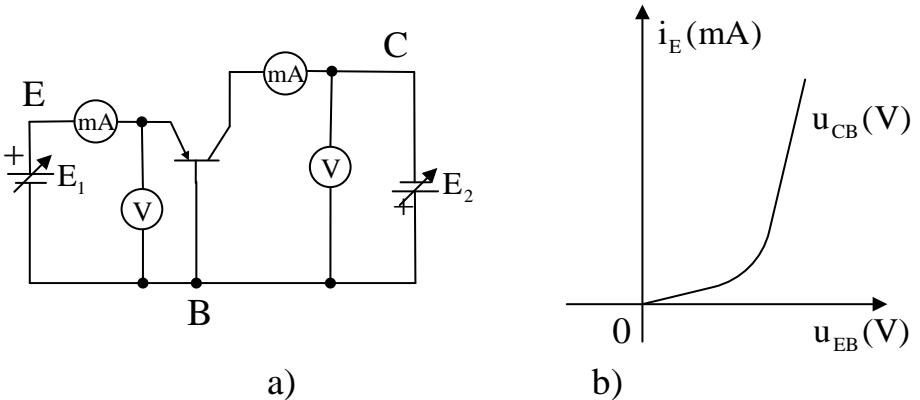
Mạch base chung là mạch có cực base chung cho cả lối vào và lối ra (Hình 7.21a).

+ *Hệ đặc tuyến vào*

Là đặc tuyến biểu diễn mỗi quan hệ giữa dòng điện i_E và hiệu điện thế lối vào u_{BE} với hiệu điện u_{CB} được chọn làm thông số.

Mắc BJT theo sơ đồ BC ở trạng thái tĩnh (tức là chỉ có điện áp một chiều phân cực) E_1, E_2 là các nguồn điện áp một chiều có thể thay đổi giá trị. Các ampere kế dùng để đo dòng điện, còn các volt kế đo điện áp giữa hai cực. Giữ điện áp $u_{CB} = \text{const}$ lần lượt hay đổi giá trị E_1 rồi đọc các cặp giá trị tương ứng của i_E và u_{EB} kết quả vẽ được đồ thị Hình 7.21b.

$$i_E = f(u_{EB}) \Big|_{u_{CB} = \text{const}} \quad (7.26)$$



Hình 7.21. Mạch mắc kiểu BC (a) và đặc tuyến vào mạch BC (b)

Đó là đặc tuyến vào của BJT mắc BC. Tập hợp nhiều đặc tuyến vào (mỗi đường ứng với một giá trị không đổi của u_{CB}) tạo nên họ đặc tuyến vào.

Có thể thấy rằng dạng đặc tuyến này tương tự như đặc tuyến thuận của diode, bởi vì giữa cực E và cực B của BJT có chuyển tiếp J_E phân cực thuận. Điện áp ngõ ra u_{CB} ảnh hưởng rất ít đến dòng điện ngõ vào.

+ Họ đặc tuyến ra

Là đặc tuyến biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện i_C hiệu điện thế u_{CB} với dòng điện cực emitter i_E làm thông số.

Nếu lần lượt giữ dòng i_E bằng các giá trị nhất định, thay đổi nguồn E_2 rồi xác định các cặp giá trị tương ứng của i_C và u_{CB} , ta có đặc tuyến ra của mạch BC.

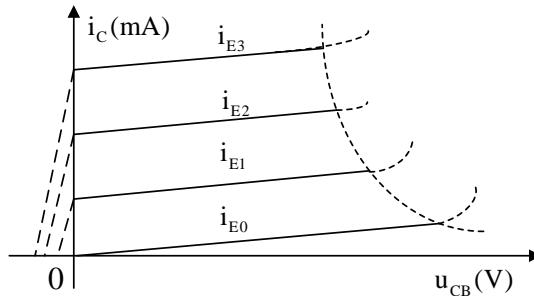
Tập hợp nhiều đặc tuyến ra (mỗi đường ứng với một giá trị không đổi của i_E) tạo nên họ đặc tuyến ra.

$$i_C = f(u_{CB}) \Big|_{i_E = \text{const}} \quad (7.27)$$

Họ đặc tuyến gần như song song với trực hoành, chứng tỏ rằng ngay cả khi $u_{CB} = 0$, dòng i_C vẫn có một giá trị khác 0 nào đó và việc tăng u_{CB} ảnh hưởng rất ít đến trị số của i_C .

Đường thấp nhất ứng với $i_E = 0$ chỉ cách trực hoành một khoảng rất hẹp. Tung độ này chính là giá trị dòng điện ngược collector. Phạm vi rất hẹp phía dưới đặc tuyến này là miền tắt, tương ứng với trạng thái tắt của BJT (cả 2 chuyển tiếp J_E và J_C đều phân cực ngược).

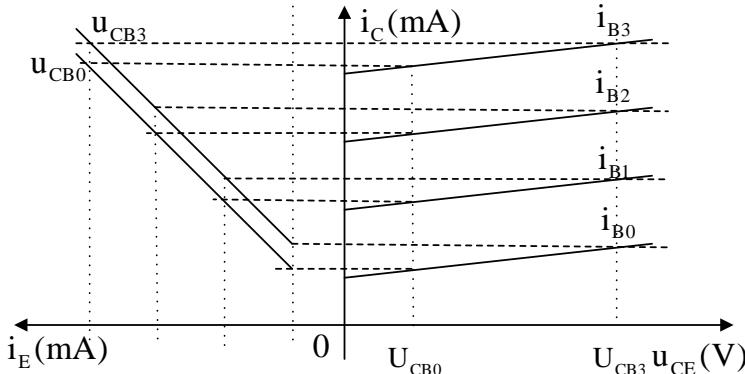
Khi i_E càng tăng thì i_C cũng càng tăng. Đó là vì số hạt dẫn đa số của miền emitter phun vào miền base càng lớn thì số hạt dẫn tới được cực collector càng nhiều.



Hình 7.22. Đặc tuyến ra của BJT măc BC

Đặc tuyến bao gồm 3 đoạn (Hình 7.22). Đoạn gần như song song với trực hoành ứng với trạng thái khuếch đại thông thường của BJT (J_E phân cực thuận, J_C phân cực ngược). Đoạn chêch xiên ở bên trái trực tung (vẽ nét đứt) tương ứng với trạng thái dẫn bão hòa của BJT (cả hai chuyển tiếp J_E, J_C đều phân cực thuận). Đoạn thứ ba bên phải (vẽ chấm chấm) chính là quá trình đánh thủng chuyển tiếp J_C , xảy ra khi u_{CB} quá lớn làm dòng i_C tăng vọt. Đây là miền cấm sử dụng để khôi phá hỏng BJT.

+ *Đặc tuyến truyền đạt dòng điện* (Hình 7.23)



Hình 7.23. Đặc tuyến truyền đạt của BJT măc BC

$$i_C = f(i_E) \Big|_{U_{CB} = \text{const}} \quad (7.28)$$

Đặc tuyến truyền đạt có dạng gần tuyến tính, phù hợp với hệ thức lý thuyết (coi α là không đổi). Trên thực tế, hệ số α chỉ là hằng số khi dòng điện i_E tương đối nhỏ. Còn khi i_E khá lớn, nghĩa là dòng hạt dẫn khuếch tán qua miền base có mật độ lớn thì tỷ lệ phần trăm số hạt dẫn bị tái hợp trên đường đi sẽ tăng lên, khiến α giảm. Điều này làm cho đặc tuyến ở vùng dòng điện lớn ngày càng lệch khỏi quy luật tuyến tính.

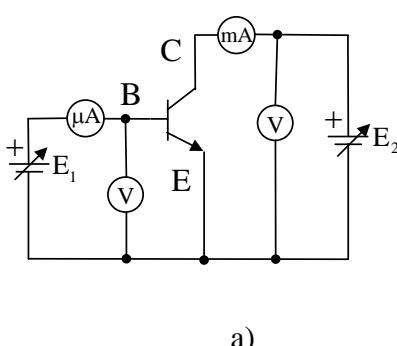
b) Mạch emitter chung (EC)

Mạch EC được thể hiện trên hình 7.24a, trong đó cực emitter chung cho cả lối vào và lối ra.

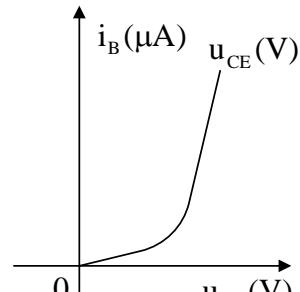
+ Đặc tuyến vào:

Đặc tuyến vào mạch EC được thể hiện trên Hình 7.24b. Nó phản ánh mối quan hệ giữa dòng và áp của chuyển tiếp J_E ở ngõ vào. Thực chất đây vẫn là nhánh thuận của đặc tuyến diode.

$$i_B = f(u_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{const}} \quad (7.29)$$



a)



b)

Hình 7.24. Mạch mắc kiểu EC (a) và đặc tuyến vào mạch EC (b)

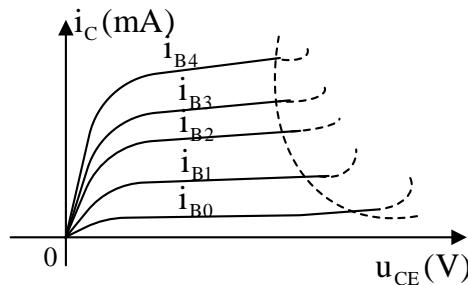
+ Đặc tuyến ra:

$$i_C = f(U_{CE}) \Big|_{i_B = \text{const}} \quad (7.30)$$

Đặc tuyến ra của mạch BJT mắc EC được thể hiện như Hình 7.25.

So với đặc tuyến ra của mạch BC, họ đặc tuyến của mạch EC có một vài khác biệt:

- Đường thấp nhất (ứng với $i_B = 0$) phản ánh giá trị dòng điện ngược collector của mạch EC (i_{CEO}). Dòng này lớn hơn dòng i_{CBO} của mạch BC. Phạm vi dưới đặc tuyến này vẫn gọi là miền tắt, ứng với trạng thái cả J_E và J_C đều phân cực ngược.

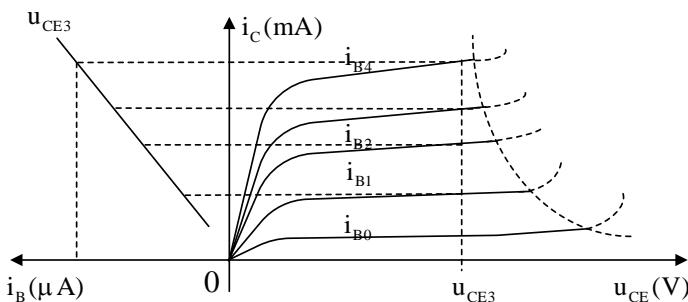


Hình 7.25. Đặc tuyến ra của mạch BJT mắc kiểu EC

- Các đặc tính phía ứng với $i_B \neq 0$ vẫn bao gồm 3 đoạn: đoạn chêch xiên ứng với trạng thái dẫn bão hòa của BJT, đoạn nằm ngang ứng với trạng thái khuếch đại của BJT có độ dốc lớn hơn so với đặc tuyến mạch BC, còn đoạn dốc đứng ứng với quá trình đánh thủng.

+ *Đặc tuyến truyền đạt dòng điện:* (Hình 7.26)

$$i_C = f(i_B) \Big|_{u_{CE} = \text{const}} \quad (7.31)$$



Hình 7.26. Đặc tuyến truyền đạt của mạch BJT mắc EC

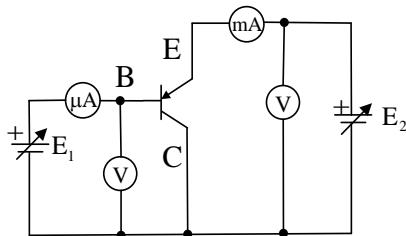
Độ dốc của đặc tuyến chính là hệ số khuếch đại dòng điện β . Trong phạm vi dòng điện dòng lớn, giá trị β giảm nên đặc tuyến không còn tuyến tính nữa.

c) Mạch collector chung (CC)

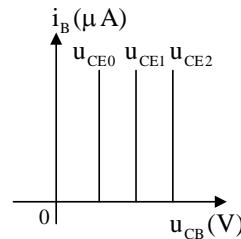
+ Đặc tuyến vào: (Hình 7.27)

$$i_B = f(u_{BC}) \Big|_{u_{CE} = \text{const}} \quad (7.32)$$

Họ đặc tuyén vào có tính chất lý thuyết, nhưng trên thực tế ít dùng.



a)

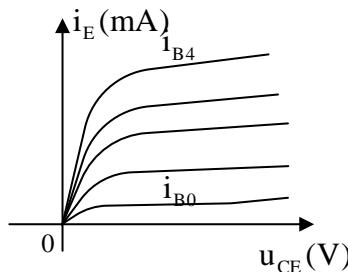


b)

Hình 7.27. Mạch măc kiều CC (a) và đặc tuyén vào mạch CC (b)

+ Đặc tuyén ra: (Hình 7.28)

$$i_E = f(u_{EC}) \Big|_{u_B = \text{const}} ; i_E = f(i_B) \Big|_{u_{EC} = \text{const}} \quad (7.33)$$



Hình 7.28. Đặc tuyén ra của mạch BJT măc CC

Các đặc tuyén của mạch CC gần giống với mạch EC vì $i_E \approx i_C$.

7.5. Transistor trường

Transistor trường (FET - Field Effect Transistor) hoạt động dựa trên sự điều khiển độ dẫn điện của phiến bán dẫn bởi một điện trường ngoài, đồng thời chỉ dùng một loại hạt dẫn (hạt đa số) do đó thuộc loại đơn cực tính. FET ra đời muộn hơn BJT, nhưng có nhiều tính năng nhiều ưu việt hơn BJT (trở kháng vào lớn, hệ số khuếch đại cao, tiêu thụ năng lượng

bé, thuận tiện phát triển theo xu hướng vi điện tử hoá...) vì vậy ngày càng được ứng dụng rộng rãi.

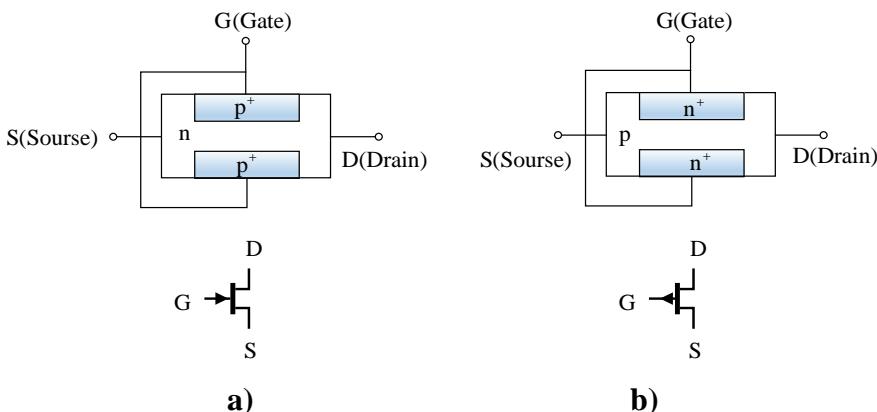
Transistor trường bao gồm 2 nhóm: transistor trường dùng chuyển tiếp p-n gọi tắt là JFET (Junction Field Effect Transistor) và transistor trường có cực cửa cách ly gọi tắt là IGFET (Isolated Gate Field Effect Transistor) hoặc MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

Nhóm IGFET chia thành 2 loại: loại kênh có sẵn và loại kênh cảm ứng.

7.5.1. Transistor trường JFET

a) Cấu tạo:

Cấu tạo của JFET được thể hiện như Hình 7.29.



Hình 7.29. Cấu tạo, ký hiệu transistor JFET kênh n (a)
và JFET kênh p (b)

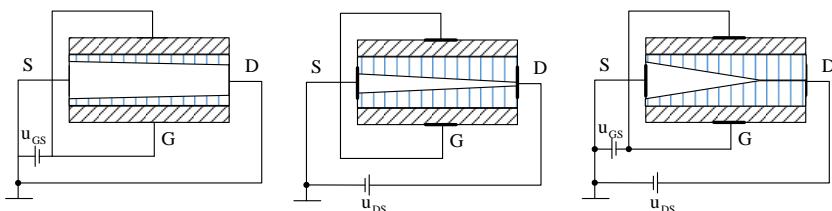
Phiến bán dẫn Si loại n hình trụ có điện trở suất khá lớn (tức là nồng độ tạp tương đối thấp), phía hai đầu được gắn với hai sợi dây kim loại. Một đầu gọi là cực máng - D (drain), một đầu gọi là cực nguồn - S (source). Vòng theo chu vi của phiến bán dẫn loại n người ta tạo ra một lớp loại p, và do đó tại ranh giới giữa hai bán dẫn sẽ hình thành một chuyển tiếp p-n (vùng nghèo) có điện trở suất khá lớn. Phần thể tích còn lại của phiến Si (không bị vùng nghèo choán chỗ) gọi là kênh dẫn. Lớp bán dẫn loại p cũng được tạo tiếp xúc không chỉnh lưu với một sợi kim loại, dùng làm cực cửa - G (gate), còn gọi là cực điều khiển. Toàn bộ hệ thống trên được đặt trong một vỏ kim loại hoặc băng nhựa gắn kín, chỉ có 3 điện cực G, D, S được nối ra bên ngoài.

Cấu trúc tương tự nhưng dùng phiến bán dẫn ban đầu loại p và lớp bao quanh là loại n tạo nên JFET loại p.

b) Nguyên tắc hoạt động

Xét nguyên tắc hoạt động của JFET kênh n làm ví dụ. Nói JFET với các nguồn điện áp phân cực u_{GS} , u_{DS} như Hình 7.30. Điện áp u_{DS} giữa cực máng và cực nguồn, gây ra dòng chuyển động qua kênh dẫn của điện tử (hạt đa số của phiên bản dẫn n), tạo nên dòng điện máng i_D .

Mặt khác, nguồn u_{GS} tạo điện áp giữa cực cửa và cực nguồn, làm cho chuyển tiếp p-n (hình thành giữa cực cửa và kênh dẫn) bị phân cực ngược, nghĩa là bề dày vùng nghèo tăng lên và do đó thu hẹp tiết diện của kênh dẫn.



Hình 7.30. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của JFET kênh n

Nếu giữ nguyên u_{GS} không đổi, tăng dần giá trị u_{DS} , tình trạng phân cực ngược của chuyển tiếp p-n sẽ càng tăng: vùng nghèo ngày càng mở rộng tuyếin tính, do đó kênh dẫn càng thu hẹp lại. Do đó trở kháng kênh dẫn càng tăng và dòng máng i_D càng giảm. Còn dòng giữa cực G và cực S chỉ là dòng ngược của chuyển tiếp p-n, thường rất nhỏ không đáng kể.

Nguyên lý hoạt động của JFET kênh p hoàn toàn tương tự, chỉ lưu ý rằng các điện áp u_{GS} , u_{DS} có cực tính ngược lại. Các lỗ trống, hạt dẫn đa số của kênh p, tạo nên dòng máng.

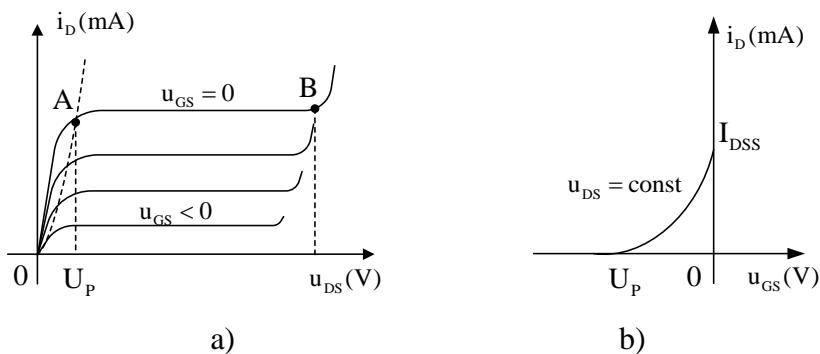
c) Đặc tuyến Volt - Ampere

+ *Đặc tuyến ra:*

$$i_D = f(u_{DS}) \Big|_{u_{GS} = \text{const}} \quad (7.34)$$

Xét $u_{GS} = 0$ (ngắn mạch G-S). Tăng dần u_{DS} từ giá trị 0 trở đi, quan hệ i_D theo u_{DS} có dạng như Hình 7.31a.

Đặc tuyến gồm 3 đoạn: đoạn bên trái gần như tuyến tính với độ dốc khá lớn. Khi đạt tới giá trị $u_{DS} = U_p$, vùng nghèo mở rộng tới mức choán hết tiết diện của kênh vùng gần cực máng, nghĩa là kênh dẫn bị thắt lại ở phía cực máng. U_p được gọi là điểm thắt. Điểm A là điểm bắt đầu thắt kênh hay điểm bắt đầu bão hoà. Vùng đặc tuyến nằm ở bên trái điểm A gọi là vùng điện trở. Nếu tiếp tục tăng u_{DS} lớn hơn U_p , đặc tuyến chuyển sang đoạn thứ 2, gần như nằm ngang. Lúc này, vùng nghèo tiếp tục mở rộng, miền kênh bị thắt trải dài về phía cực nguồn, làm cho trở kháng kênh dẫn càng tăng. Vì vậy tuy u_{DS} tăng nhưng dòng i_D hầu như ít thay đổi. Vùng đặc tuyến này gọi là vùng thắt kênh (hoặc vùng bão hoà). Nếu JFET được sử dụng như một phần tử khuếch đại thì sẽ làm việc trong vùng này. Đoạn đặc tuyến thứ 3 tương ứng với hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp p-n, xảy ra khi u_{DS} quá lớn. Vùng đặc tuyến này gọi là vùng đánh thủng



Hình 7.31. Đặc tuyến ra (a) và đặc tuyến truyền đạt (b) của transistor JFET kênh n

. + Đặc tuyến truyền đạt: (Hình 7.31b)

$$i_D = f(u_{GS}) \Big|_{u_{DS} = \text{const}} \quad (7.35)$$

Trường hợp $u_{GS} \neq 0$, mỗi đặc tuyến vẫn bao gồm 3 đoạn như trên, chỉ khác là do có thêm tác dụng của u_{GS} , chuyển tiếp p - n bị phân cực ngược nhiều hơn, trở kháng kênh dẫn tăng hơn và do đó giá trị dòng i_D nhỏ hơn. Trị số tuyệt đối của u_{GS} càng tăng, dòng i_D càng giảm, đặc

tuyến càng dịch về phía dưới. Mặt khác, điểm bắt đầu thắt kênh của mỗi đặc tuyến xê dịch về phía trái. Điểm bắt đầu xảy ra đánh thủng của từng đặc tuyến cũng dịch dần về bên trái.

Dạng của đặc tuyến này phản ánh quá trình điện trường điều khiển dòng điện máng: trị số tuyệt đối của u_{GS} càng tăng, vùng nghèo càng mở rộng, trở kháng kênh dẫn càng tăng và do đó dòng máng càng giảm. Khi u_{GS} đạt tới giá trị điện áp thắt U_p thì dòng máng giảm xuống bằng 0.

c) Các tham số đặc trưng cho JFET

+ Trở kháng vi phân ngõ vào

$$r_i = \left. \frac{\partial u_{GS}}{\partial i_G} \right|_{u_{DS} = \text{const}} \quad (7.36)$$

+ Trở kháng vi phân ngõ ra

$$r_D = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_{u_{GS} = \text{const}} \quad (7.37)$$

Đây cũng là nghịch đảo độ dốc đặc tuyến ra. Khi làm việc trong vùng bão hòa (vùng thắt kênh), giá trị r_D thường khá lớn (khoảng $500\text{k}\Omega$).

+ Hỗn dẫn (Độ dốc đặc tuyến đạt)

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{u_{DS} = \text{const}} \quad (7.38)$$

Trị số g_m phản ánh mức độ ảnh hưởng của điện áp điều khiển u_{GS} tới dòng máng. Các JFET thường có $g_m = (7 \div 10) \text{ mA/V}$.

+ Hệ số khuếch đại tĩnh

$$\mu = \left. \frac{\partial u_{GS}}{\partial u_{DS}} \right|_{i_D = \text{const}} \quad (7.39)$$

$$\mu = g_m r_D \quad (7.40)$$

Hệ số này so sánh mức độ ảnh hưởng đối với dòng máng của điện áp u_{GS} và u_{DS} . Hệ số μ càng lớn thể hiện tác dụng điều khiển của u_{GS} đối với dòng i_D càng nhạy (so với u_{DS}).

7.5.2. Transistor trường MOSFET

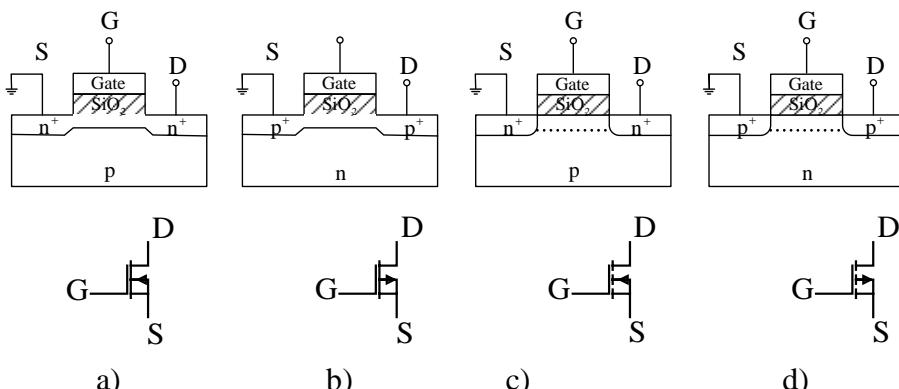
MOSFET, viết tắt của "Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor" trong tiếng Anh, có nghĩa là "transistor hiệu ứng trường Oxit Kim loại - Bán dẫn", là một thuật ngữ chỉ các transistor hiệu ứng trường được sử dụng rất phổ biến trong các mạch số và các mạch tương tự. Transistor MOSFET được xây dựng dựa trên lớp chuyển tiếp Oxit Kim loại và bán dẫn (chẳng hạn Oxit Bạc và bán dẫn Silic). MOSFET có hai loại là n-MOSFET và p-MOSFET.

a) Cấu tạo

Xét MOSFET kênh dẫn loại n.

Trên một khối bán dẫn loại p, người ta tạo ra hai vùng bán dẫn loại n có nồng độ tạp chất cao. Hai vùng này được nối thông với nhau bằng một kênh dẫn loại n có thể là kênh đặt sẵn hay kênh cảm ứng.

Trên hai khối bán dẫn n lấy ra hai điện cực là cực nguồn S và cực máng D. Phía đối diện với kênh dẫn sau khi phủ một lớp cách điện SiO_2 lấy ra điện cực thứ ba gọi là cực cửa G.



Hình 7.32. Cấu tạo, ký hiệu MOSFET kênh n đặt sẵn (a), kênh p đặt sẵn (b), kênh n cảm ứng (c) và kênh p cảm ứng (d)

b) Nguyên lý làm việc

+ Với kênh n đặt sẵn:

Khi $u_{DS} > 0$; $u_{GS} > 0$, các điện tử tự do từ vùng để được hút về phía gần cực cửa G làm cho kênh dẫn có nồng độ hạt dẫn tăng lên làm cho trở kháng kênh dẫn giảm nên dòng u_D tăng, ta nói MOSFET làm việc ở

chế độ giàu.

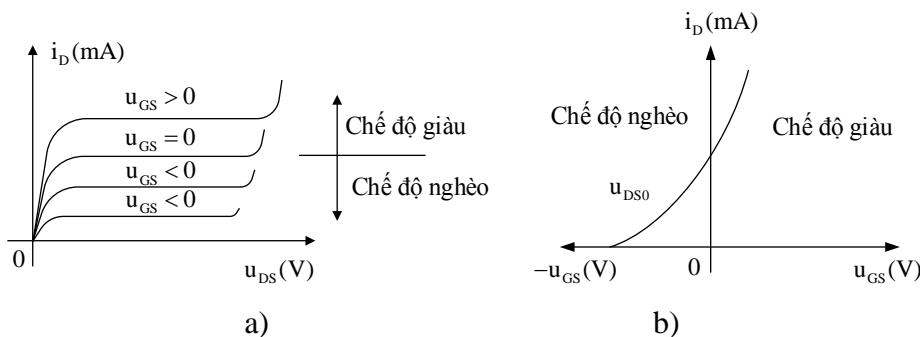
Nếu $u_{GS} < 0$, một số điện tử từ kênh dẫn bị đẩy ra khỏi kênh dẫn làm cho các hạt dẫn điện của kênh dẫn giảm làm cho trở kháng kênh dẫn tăng nên dòng i_D giảm, ta nói đèn làm việc ở chế độ nghèo.

+ Với kênh n cảm ứng:

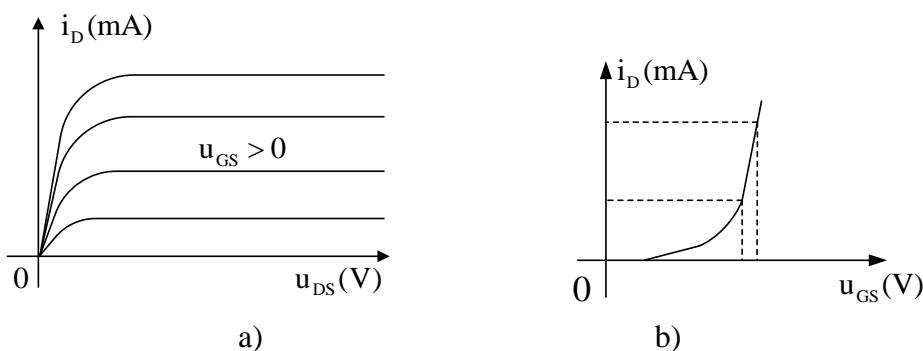
Khi $u_{DS} > 0$; $u_{GS} < 0$ nên dòng i_D chạy qua MOSFET bằng không, vì giữa cực D và cực S tồn tại một trở kháng rất lớn.

Khi $u_{DS} > 0$; $u_{GS} > 0$ nên các điện tử bị hút về phía cực G tập trung tạo thành kênh dẫn nối giữa cực D và cực S sẽ xuất hiện dòng dòng i_D . Khi u_{GS} càng lớn giá trị trở kháng kênh dẫn càng giảm nên dòng i_D càng tăng. Như vậy loại này chỉ làm việc ở chế độ giàu.

c) *Đặc tuyến Volt - Ampere*



Hình 7.33. Đặc tuyến ra (a) và đặc tuyến truyền đạt (b) kênh n đặt sẵn của MOSFET



Hình 7.34. Đặc tuyến ra (a) và đặc tuyến truyền đạt (b) kênh n cảm ứng của MOSFET

Tóm tắt nội dung chương 7

1. Nồng độ lỗ trống trong vùng hóa trị

$$p = N_V \cdot \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right)$$

2. Nồng độ điện tử tự do trong vùng dẫn

$$n = N_C \cdot \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{kT}\right)$$

3. Dòng điện qua chuyển tiếp p-n khi phân cực thuận

$$i = I_s \left(\exp \frac{qU}{kT} - 1 \right)$$

4. Diode bán dẫn là linh kiện gồm có một chuyển tiếp p-n và hai cực là anode được nối với bán dẫn p và cathode được nối tới bán dẫn n.

5. Giá trị trung bình của điện áp trên tải mạch chỉnh lưu hai nửa chu kỳ

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin(\omega t) d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2$$

6. Diode Zener cấu tạo từ lớp chuyển tiếp p-n, nhưng chế tạo bằng vật liệu chịu nhiệt và tỏa nhiệt tốt. Khi điện áp ngược đủ lớn sẽ xảy ra quá trình đánh thủng về điện mà ít khi đánh thủng về nhiệt, điện áp giữa cathode và anode hầu như không đổi được sử dụng làm phần tử ổn định điện áp.

7. Diode biến dung là loại linh kiện bán dẫn hai cực, trong đó chuyển tiếp p-n được chế tạo một cách đặc biệt sao cho điện dung của nó thay đổi nhiều theo điện áp ngược đặt vào.

8. BJT gồm 3 lớp bán dẫn ghép liên tiếp nhau, hai lớp ngoài cùng có tính dẫn điện cùng loại, lớp ở giữa có tính dẫn điện khác với hai lớp ngoài. Tuỳ theo cách sắp xếp các khối bán dẫn mà ta có transistor thuận p-n-p và transistor ngược n-p-n.

9. Hệ số truyền đạt dòng điện α của BJT

$$\alpha = I_C / I_E$$

10. Hệ số khuyếch đại dòng điện β của BJT $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

Câu hỏi và bài tập chương 7

7.1. Hãy định nghĩa vùng hóa trị, vùng dẫn và vùng cấm trong chất rắn cấu trúc tinh thể?

7.2. So sánh nồng độ electron và nồng độ lỗ trống trong chất bán dẫn thuần?

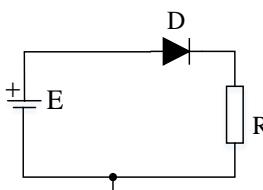
7.3. So sánh nồng độ electron và nồng độ lỗ trống trong chất bán dẫn pha tạp n, p?

7.4. Xác định chiều dòng điện một chiều I_{B0}, I_{C0}, I_{E0} khi phân cực cho transistor lưỡng cực n-p-n hoạt động ở chế độ khuếch đại

7.5. Xác định chiều dòng điện một chiều I_{B0}, I_{C0}, I_{E0} khi phân cực cho transistor lưỡng cực p-n-p hoạt động ở chế độ khuếch đại.

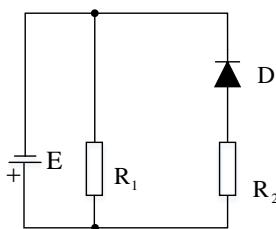
7.6. Xác định mỗi quan hệ dòng điện một chiều giữa các cực của transistor khi transistor hoạt động ở chế độ khuếch đại.

7.7. Mạch điện như Hình 7.35, Biết $U_D = 0,7V$, $E = 10V$, $R = 1k\Omega$. Tính dòng I trong mạch.



Hình 7.35

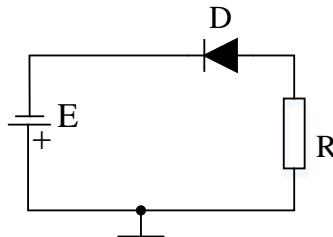
7.8. Cho mạch điện như Hình 7.36. Biết giá trị điện áp $U_D = 0,7V$, nguồn $E = -20V$, giá trị trở kháng của điện trở $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$. Tính dòng điện chạy qua điện trở R_2 ?



Hình 7.36

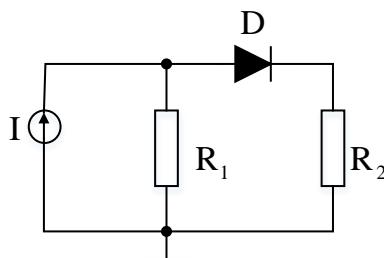
7.9. Cho mạch điện như Hình 7.37. Biết giá trị điện áp $U_D = 0,7V$, nguồn $E = -20V$ và giá trị trở kháng của điện trở $R=22k\Omega$.

- Tính điện áp trên điện trở R ?
- Tính dòng điện chạy qua điện trở R ?



Hình 7.37

7.10. Cho mạch điện như Hình 7.38. Biết giá trị điện áp $U_D = 0,7V$, nguồn dòng điện $I=10mA$, giá trị trở kháng của điện trở $R_1 = 2,2k\Omega$, $R_2 = 1,2 k\Omega$. Tính dòng điện chạy qua điện trở R_2 ?



Hình 7.38

Tài liệu đọc thêm chương 7

1. Đỗ Xuân Thụ, Đặng Văn Chuyết, Nguyễn Việt Nguyên. *Kỹ thuật điện tử*, Nxb Giáo dục, 2011.
2. Klaus Beuth. *Linh kiện điện tử* (bản dịch), Nxb Giáo dục Việt Nam, 2012.
3. Thomas L. Floyd, Yueming Yu, Yanhui Zhang. Electronic Devices, Prentice Hall Publisher, 2007.

Chương 8

KỸ THUẬT MẠCH ĐIỆN TỬ

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 8

Sau khi học xong Chương 8, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được nguyên lý hoạt động của các mạch điện tử;
- Giải thích được nguyên lý hoạt động của các mạch khuếch đại; Thiết lập chế độ làm việc cho các tầng khuếch đại và ghép nối các tầng khuếch đại;
- Vận dụng được các hiểu biết về mạch khuếch đại và bộ khuếch đại thuật toán trong phân tích, tính toán và thiết kế mạch điện tử.

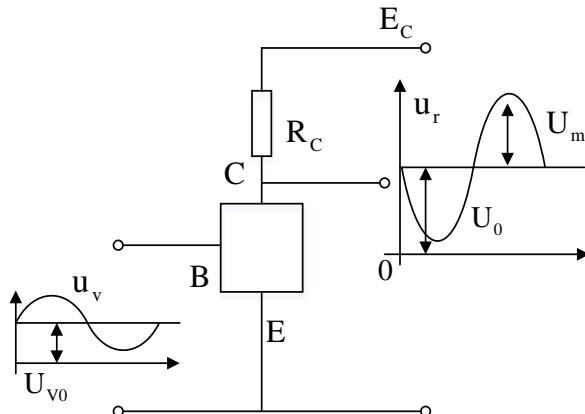
8.1. Những vấn đề chung mạch khuếch đại

8.1.1. Nguyên lí xây dựng một tầng khuếch đại

Một ứng dụng quan trọng nhất của transistor là sử dụng nó trong các mạng để làm tăng cường độ điện áp hay dòng điện của tín hiệu (thường gọi là mạch khuếch đại). Thực chất khuếch đại là một quá trình biến đổi năng lượng có điều khiển, ở đó năng lượng của nguồn cung cấp một chiều (không chứa đựng thông tin) được biến đổi thành dạng năng lượng xoay chiều. Nói cách khác, đây là một quá trình gia công xử lý thông tin dạng analog.

Hình 8.1 đưa ra cấu trúc nguyên lý để xây dựng một tầng khuếch đại. Phần tử cơ bản là phần tử điều khiển (transistor) có trở kháng thay đổi theo sự điều khiển của điện áp hay dòng điện đặt tới cực điều khiển

base của nó, qua đó điều khiển quy luật biến đổi dòng điện của mạch ra bao gồm transistor và điện trở R_C . Tại lối ra, ví dụ lấy giữa 2 cực collector và emitter, người ta nhận được một điện áp biến thiên cùng quy luật với tín hiệu vào nhưng độ lớn được tăng lên nhiều lần. Để đơn giản, giả thiết điện áp vào cực điều khiển có dạng hình sin. Từ sơ đồ hình 8.1. Ta thấy rằng dòng điện và điện áp ở mạch ra (tỉ lệ với dòng điện và điện áp tín hiệu vào) cần phải coi như là tổng các thành phần xoay chiều (dòng điện và điện áp) trên nền của thành phần một chiều I_0 và U_0 (Hình 8.1). Phải đảm bảo sao cho biên độ thành phần xoay chiều không vượt quá thành phần một chiều, nghĩa là $I_0 \geq I_m$ và $U_0 \geq U_m$. Nếu điều kiện đó không được thỏa mãn thì dòng điện ở mạch ra trong từng khoảng thời gian nhất định sẽ bằng không và sẽ làm méo dạng tín hiệu ra.



Hình 8.1. Nguyên lý xây dựng tầng khuếch đại

Để đảm bảo điều kiện làm việc cho tầng khuếch đại mạch ra của nó phải có thành phần dòng một chiều I_0 và điện áp một chiều U_0 . Tương tự, ở mạch vào, ngoài nguồn tín hiệu cần khuếch đại, người ta đặt thêm điện áp một chiều U_{v0} (hay là dòng điện một chiều I_{v0}). Thành phần dòng điện và điện áp một chiều xác định chế độ tĩnh của tầng khuếch đại. Tham số của chế độ tĩnh theo mạch vào (I_{v0}, U_{v0}) và theo mạch ra (I_0, U_0) đặc trưng cho trạng thái ban đầu của sơ đồ khi không có tín hiệu vào.

8.1.2. Các chỉ tiêu và tham số của một tầng khuếch đại

$$\text{- Hệ số khuếch đại: } K = \frac{\text{Đại lượng đầu ra}}{\text{Đại lượng đầu vào}}$$

Vì tầng khuếch đại có chứa các phần tử điện kháng nên K là một số phức $K = |K| \exp(j\varphi_k)$.

Khi ghép liên tiếp n tầng khuếch đại, với hệ số khuếch đại các tầng tương ứng là k_1, k_2, \dots, k_n thì hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại được xác định theo biểu thức: $K = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$

- Hệ số khuếch đại công suất (độ lợi công suất): $K_p = \frac{P_{Ra}}{P_{Vao}}$

- Trở kháng lối vào: $Z_{Vao} = \frac{U_{Vao}}{I_{Vao}}$

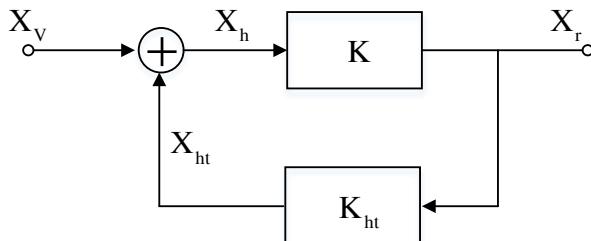
- Trở kháng lối ra: $Z_{Ra} = \frac{U_{Ra}}{I_{Ra}}$

Trong kỹ thuật mạch tương tự, để cải thiện các tính chất của bộ khuếch đại, nâng cao chất lượng của bộ khuếch đại, người ta sử dụng các bộ khuếch đại có hồi tiếp.

8.2. Hồi tiếp trong tầng khuếch đại

8.2.1. Khái niệm về hồi tiếp

Hồi tiếp là quá trình đưa một phần tín hiệu ra của mạng 4 cực tích cực về đầu vào thông qua một mạng 4 cực khác gọi là mạng hồi tiếp (Hình 8.2).



Hình 8.2. Sơ đồ khối bộ khuếch đại có hồi tiếp
trong đó:

K : Khâu khuếch đại;

K_{ht} : Khâu hồi tiếp;

X_v : Tín hiệu vào;

X_r : Tín hiệu ra;

X_h : Tín hiệu hiệu (hoặc tổng);

X_{ht} : Tín hiệu hồi tiếp.

Các phương pháp phân loại hồi tiếp:

+ Theo pha giữa X_{ht} và X_v ta có hai loại:

Hồi tiếp âm: X_{ht} ngược pha với X_v , làm cho hệ số khuếch đại của mạch giảm. Hồi tiếp âm có thể cải thiện các đặc tính của bộ khuếch đại.

Hồi tiếp dương: X_{ht} đồng pha với X_v , làm cho hệ số khuếch đại của mạch tăng. Hồi tiếp dương được sử dụng để tạo dao động.

+ Căn cứ vào tín hiệu hồi tiếp ta có hai loại hồi tiếp một chiều và hồi tiếp xoay chiều.

Hồi tiếp âm một chiều được dùng để ổn định chế độ công tác.

Hồi tiếp âm xoay chiều được dùng để ổn định các tham số của bộ khuếch đại.

+ Mạch điện của bộ khuếch đại có hồi tiếp được phân thành 4 loại:

Hồi tiếp nối tiếp - điện áp: Tín hiệu hồi tiếp đưa về đầu vào nối tiếp với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với điện áp ra.

Hồi tiếp song song - điện áp: Tín hiệu hồi tiếp đưa về đầu vào song song với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với điện áp ra.

Hồi tiếp nối tiếp - dòng điện: tín hiệu hồi tiếp đưa về đầu vào nối tiếp với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với dòng điện ra.

Hồi tiếp song song - dòng điện: tín hiệu hồi tiếp đưa về đầu vào song song với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với dòng điện ra.

8.2.2. Các phương trình cơ bản của mạch hồi tiếp

Sơ đồ khối toàn phần của bộ khuếch đại có hồi tiếp chỉ ra trên Hình 8.3.

trong đó:

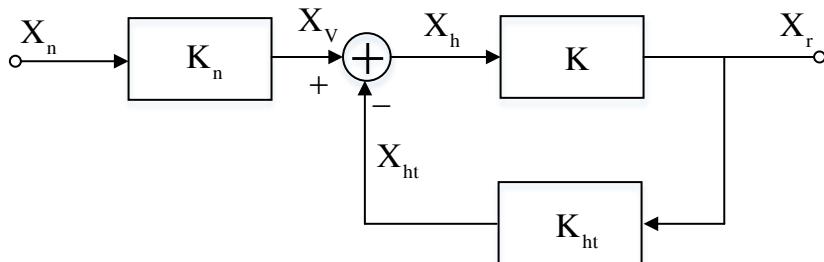
K_n : Khâu ghép với nguồn tín hiệu;

X_n : Tín hiệu nguồn đưa đến bộ khuếch đại

Giả thiết các khối đều là các hệ tuyến tính và tín hiệu chỉ chạy theo chiều mũi tên. Từ sơ đồ Hình 8.3 ta rút ra các quan hệ sau:

$$X_v = X_n \cdot K_n; X_r = K \cdot X_h; X_{ht} = X_r \cdot K_{ht}; X_h = X_v - X_{ht} \quad (8.1)$$

Từ các quan hệ này, ta có thể rút ra phương trình cơ bản của mạng bốn cực có hồi tiếp:



Hình 8.3. Sơ đồ khối toàn phần của bộ khuếch đại có hồi tiếp

$$K' = \frac{X_r}{X_v} = \frac{K}{1 + K \cdot K_{ht}} \quad (8.2)$$

$$K_{tp} = \frac{X_r}{X_n} = K_n \cdot K' \quad (8.3)$$

trong đó:

K' là hàm truyền đạt của mạng bốn cực tích cực có hồi tiếp;

K_{tp} là hàm truyền đạt toàn phần.

K_n là hàm truyền đạt của khâu ghép giữa nguồn tín hiệu X_n và bộ khuếch đại

Gọi: $K_v = K \cdot K_{ht}$ là hàm số truyền đạt vòng; $g = 1 + K \cdot K_{ht} = 1 + K_v$ là độ sâu hồi tiếp.

- Nếu $|1 + K \cdot K_{ht}| < 1$ ta có hồi tiếp dương

- Nếu $|1 + K \cdot K_{ht}| > 1$ ta có hồi tiếp âm

$$- \text{Nếu } K_v \gg 1 \text{ ta có } g = 1 + K_v \approx K_v; K' \approx \frac{1}{K_{ht}}; K_{tp} \approx \frac{K_n}{K_{ht}} \quad (8.4)$$

trường hợp này được gọi là hồi tiếp âm sâu.

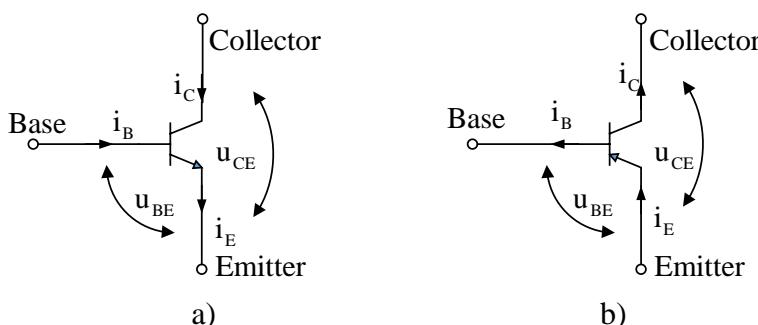
Như vậy, trong một hệ thống khép kín với hồi tiếp âm sâu, khi hàm số truyền đạt vòng có giá trị rất lớn, thì hàm truyền đạt của nó hầu như không phụ thuộc vào các tính chất của bộ khuếch đại mà chỉ phụ thuộc vào tính chất của khâu hồi tiếp. Sự thay đổi các tham số của phần tử tích cực và độ tạp tán của nó không ảnh hưởng tới các tính chất của bộ khuếch đại có hồi tiếp.

8.3. Thiết lập chế độ làm việc cho các tầng khuếch đại dùng transistor

8.3.1. Thiết lập chế độ làm việc cho các tầng dùng transistor lưỡng cực

a) Nguyên tắc chung phân cực cho transistor

Trong các tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ, điểm làm việc nằm trong miền tích cực của transistor lưỡng cực. Ở chế độ tĩnh (khi chưa có tín hiệu vào) trên các cực của transistor có các dòng điện tĩnh: $I_{B0}; I_{C0}; I_{E0}$ cũng như điện áp một chiều giữa các cực $U_{BE0}; U_{CE0}$. Điểm làm việc ứng với chế độ này gọi là điểm làm việc tĩnh.



Hình 8.4. Biểu diễn điện áp và dòng điện phân cực cho transistor n-p-n (a) và transistor p-n-p (b)

Để transistor làm việc ở chế độ khuếch đại thì cần có các điều kiện sau: chuyển tiếp giữa miền emitter và miền base (J_E) phải phân cực thuận, chuyển tiếp giữa miền base và miền collector (J_C) phải phân cực ngược.

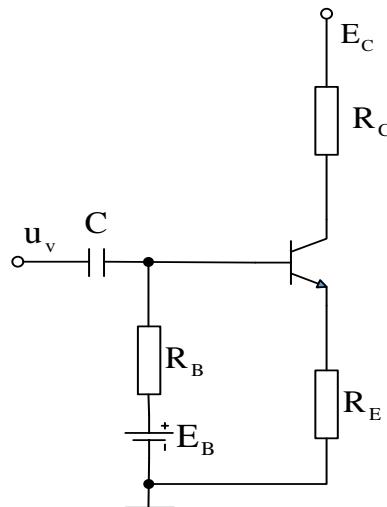
Đối với transistor n-p-n điều kiện phân cực để nó làm việc ở chế độ

khuêch đại là:

$$u_{BE} = V_B - V_E > 0; u_{CE} = V_C - V_E > 0 \quad (8.5)$$

trong đó V_E , V_B , V_C là điện thế các cực emitter, cực base và collector của transistor, với transistor p-n-p thì điều kiện để nó làm việc ở chế độ khuêch đại sẽ ngược lại so với transistor loại n-p-n.

b) Phân cực dùng nguồn một chiều



Hình 8.5. Phân cực dùng nguồn một chiều E_B

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng có chứa nguồn một chiều E_B trong Hình 8.5 ta có:

$$-E_B + R_B I_{B0} + U_{BE0} + R_E I_{E0} = 0$$

$$\text{Mà } I_{C0} \approx I_{E0}, I_{C0} = \beta I_{B0}; \Rightarrow -E_B + R_B \frac{I_{C0}}{\beta} + U_{BE0} + R_E I_{C0} = 0$$

$$I_{C0} = \frac{(E_B - U_{BE0})}{R_E + \frac{R_B}{\beta}} \quad (8.6)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng chứa R_C trong Hình 8.5:

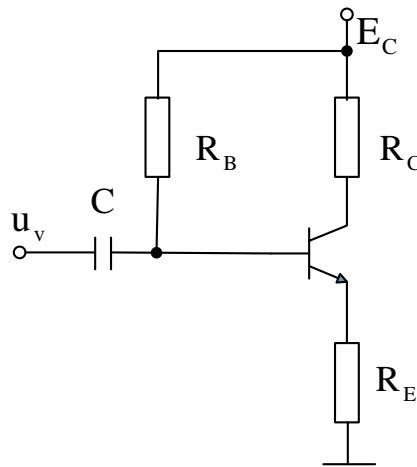
$$-E_C + R_C I_{C0} + U_{CE0} + R_E I_{C0} = 0$$

$$I_{C0} = -\frac{1}{R_C + R_E} U_{CE0} + \frac{1}{R_C + R_E} E_C \quad (8.7)$$

(8.7) là phương trình đường tải một chiều, trong đó $I_{C0}, I_{E0}, U_{CE0}, I_{B0}$ là tọa độ điểm tĩnh.

Để I_{CO} ổn định, phải chọn $R_E \gg R_B/\beta$ (thường chọn $R_B = \frac{1}{10}(1+\beta)R_E$)

c) Phân cực bằng dòng cố định



Hình 8.6. Phân cực dùng điện trở

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng có chứa R_B trong Hình 8.6 ta có:

$$-E_C + \frac{R_B I_{C0}}{\beta} + U_{BE0} + R_E I_{C0} = 0$$

$$I_{C0} = \frac{E_C - U_{BE0}}{(R_E + \frac{R_B}{\beta})} \quad (8.8)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho vòng chứa R_C ta có:

$$R_C I_{C0} + U_{CE0} + R_E I_{C0} = E_C$$

$$(R_C + R_E) I_{C0} = E_C - U_{CE0}$$

$$I_{C0} = -\frac{1}{R_C + R_E} U_{CE0} + \frac{1}{R_C + R_E} E_C \quad (8.9)$$

Công thức (8.9) là phương trình đường tải một chiều của mạch.

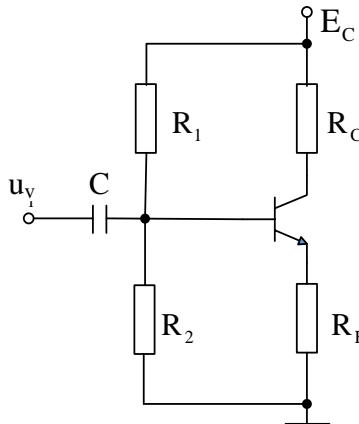
Trong sơ đồ Hình 8.6 việc cấp nguồn được thực hiện theo phương pháp định dòng. Điện áp U_{BE0} được lấy từ nguồn E_C dẫn qua điện trở R_B vào cực base. Điện trở R_B có trị số lớn hơn nhiều so với trở kháng một chiều của chuyển tiếp giữa cực base và cực emitter, do đó dòng định thiên I_{B0} được xác định gần đúng $I_{B0} = E_C / R_B$. Dòng điện một chiều ở đầu ra (dòng collector) I_{C0} và điện áp một chiều ở đầu ra U_{CE0} , $I_{C0} = \beta I_{B0}$,

$$U_{CE0} = E_C - I_{C0} R_C$$

d) Phân cực dùng điện trở phân áp

Sơ đồ phân cực dùng điện trở phân áp được thể hiện trên Hình 8.7.

Theo định lý Thevenin: $R_B = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$; $U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_C$



Hình 8.7. Phân cực dùng điện trở phân áp

Theo cách tính toán tương tự như mạch phân cực dùng điện áp U_B , ta có:

$$I_{CO} = \frac{U_B - U_{BE0}}{\left(R_E + \frac{R_B}{\beta} \right)} \quad (8.10)$$

$$I_{CO} = -\frac{1}{R_C + R_E} U_{CEO} + \frac{1}{R_C + R_E} E_C$$

Sơ đồ Hình 8.7 cung cấp điện áp cho cực base theo phương pháp định áp nhờ bộ phân áp R_1, R_2 mắc song song với nguồn collector E_C .

$$U_{BE0} = I_p R_2 = E_C - (I_p + I_{B0}) R_1$$

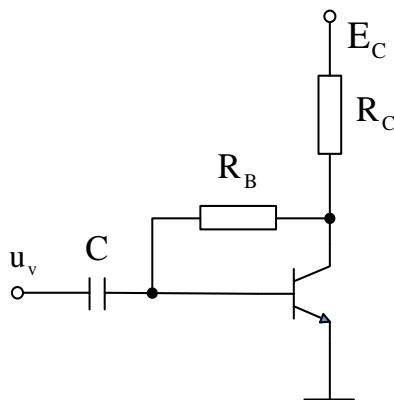
I_p là dòng chạy qua R_1, R_2 thường thì chọn $I_p \gg I_{B0}$ nên

$$U_{BE0} = I_p R_2 \approx E_C - I_p R_1$$

Ta thấy rằng U_{BE0} không phụ thuộc vào các tham số của transistor và nhiệt độ nên ổn định. I_p càng lớn thì U_{BE0} càng ổn định, nhưng khi đó R_1, R_2 phải có giá trị nhỏ (thường chọn $I_p = (0,3 \div 3)I_{Bmax}$).

I_{Bmax} là dòng xoay chiều trong mạch cực base với mức tín hiệu vào lớn nhất. Lúc này thì thiên áp gần như không phụ thuộc vào trị số dòng cực base I_{B0} , do đó có thể dùng cho mạch khuếch đại tín hiệu lớn (chế độ B). Tuy nhiên khi giá trị R_1, R_2 nhỏ thì công suất tiêu thụ nguồn cũng tăng.

e) Phân cực hồi tiếp từ collector



Hình 8.8. Phân cực hồi tiếp từ collector

Phân cực hồi tiếp từ collector được thực hiện phân áp thông qua điện trở R_B đưa về ngõ vào (cực base):

$$U_{BE0} = U_{CE0} - I_{B0}R_B = E_C - (I_{C0} + I_{B0})R_C - I_{B0}R_B$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 ta có:

$$\begin{aligned} -E_C + R_C(I_{C0} + I_{B0}) + R_B I_{B0} + U_{BE0} &= 0 \\ I_{C0} &= \frac{E_C - U_{BE0}}{R_C + \frac{R_B + R_C}{\beta}} \end{aligned} \quad (8.11)$$

$$U_{CE0} = E_C - I_{E0}R_C \text{ hoặc } U_{CE0} = I_{B0}R_B + U_{BE0} \approx I_{B0}R_B$$

8.3.2. Ôn định chế độ làm việc cho các tầng khuếch đại dùng transistor hiệu ứng trường

Về nguyên tắc, việc cung cấp và ổn định chế độ công tác đối với các tầng dùng transistor hiệu ứng trường cũng tương tự như đối với transistor lưỡng cực. Trong trường hợp khuếch đại tín hiệu, FET làm việc trong miền thắt. Ở chế độ tĩnh, trên các cực của FET có các dòng tĩnh I_{D0} , I_{G0} , I_{S0} và giữa các cực có các điện áp một chiều U_{GS0} và U_{DS0} . Do vậy vấn đề ổn định cũng là áp dụng các biện pháp giữ cho dòng điện máng I_{D0} ít biến đổi theo nhiệt độ, theo thời gian, ít phụ thuộc vào độ tạp tán tham số của FET và sự biến đổi của nguồn cung cấp.

So với transistor lưỡng cực, FET có ưu điểm đặc biệt là không yêu cầu dòng vào lớn (trở kháng vào cực lớn), do vậy nguồn tín hiệu chỉ cần công suất nhỏ, tức là hệ số khuếch đại công suất của tầng dùng FET lớn. Ngoài ra, điện dung ghép hồi tiếp nhỏ nên làm việc ổn định.

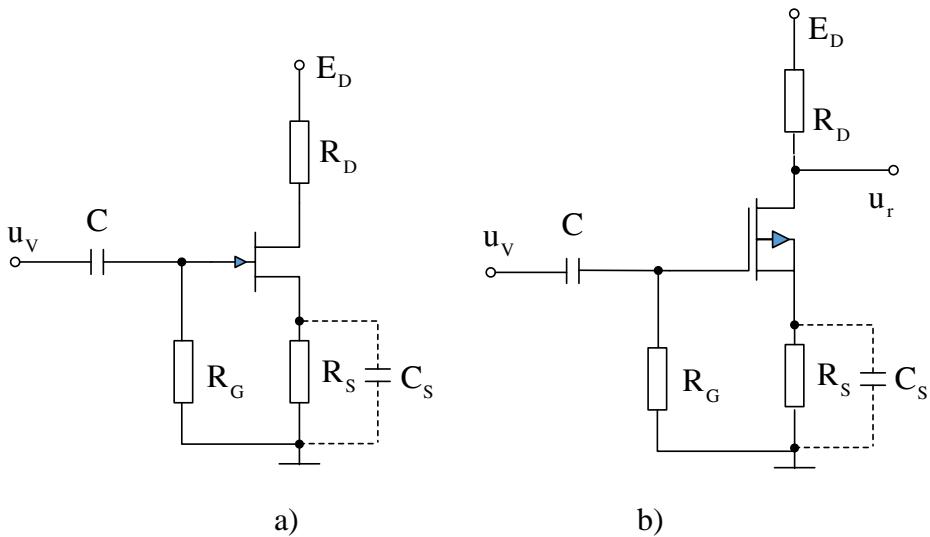
Nhược điểm của FET là hổ dãn nhỏ, các tham số: U_p (điện áp thắt) và I_{DSS} (dòng máng bão hòa) có độ tạp tần lớn.

Các sơ đồ ổn định điểm làm việc khi dùng FET cũng tương tự như khi dùng transistor lưỡng cực. Sơ đồ ổn định điểm làm việc dùng hồi tiếp âm dòng điện Hình 8.9.

Điện trở mắc ở cực nguồn R_S đóng vai trò phần tử hồi tiếp âm dòng

điện. Để tránh hồi tiếp âm xoay chiều, có thể mắc song song với R_S một tụ điện C_S có điện dung lớn. Đối với FET kênh có sẵn (Hình 8.9b), điện áp cực cửa so với cực nguồn chính là mạch thiên áp tự cấp với giá trị:

$$U_{GS} = -I_D R_S$$



Hình 8.9. Cung cấp và ổn định cho các tầng dùng FET với hồi tiếp âm dòng điện, a) Mạch dùng JFET; b) Mạch dùng MOSFET kênh có sẵn

8.4. Tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ

Các bộ khuếch đại gồm phần tử khuếch đại (phần tử tích cực) mắc với một số phần tử thụ động khác. Việc phân loại các bộ khuếch đại có thể dựa trên các yếu tố sau:

- Theo tham số của tín hiệu cần khuếch đại. Ta có khuếch đại tín hiệu nhỏ, khuếch đại tín hiệu lớn, khuếch đại tần số thấp, khuếch đại tần số cao; Khuếch đại tín hiệu liên tục, khuếch đại tín hiệu xung.
- Theo dạng phần tử dùng để khuếch đại. Theo cách phân loại này ta có các bộ khuếch đại dùng đèn điện tử chân không và dùng dụng cụ bán dẫn, vi mạch...
- Theo phương pháp khuếch đại dùng để điều khiển quá trình biến đổi năng lượng thành tín hiệu có ích ở đầu ra.

Các bộ khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng transistor là phần tử tích cực

(phần tử khuếch đại) được mắc với một số phần tử thụ động khác. Khi điểm công tác được lựa chọn phù hợp, các phần tử này được biểu diễn bằng một mạng bốn cực tuyến tính. Trong thực tế người ta hay dùng sơ đồ tương đương hình Π và các tham số hỗn hợp H dẫn nạp Y để phân tích tính toán các mạch khuếch đại dùng transistor. Việc sử dụng hệ thống tham số tuỳ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau.

Việc ghép nối đều phải được thực hiện ở cả đầu vào và đầu ra của các mạng bốn cực của bộ khuếch đại. Đầu vào ghép với nguồn tín hiệu, đầu ra được mô tả bằng phụ tải. Tuỳ thuộc vào tương quan giữa trở kháng của nguồn tín hiệu Z_n với trở kháng vào của mạng bốn cực Z_v và trở kháng phụ tải Z_t với trở kháng ra của mạng bốn cực Z_r , người ta có thể biểu diễn phần tử tích cực (khuếch đại) bằng sơ đồ nguồn dòng điện hoặc nguồn điện áp. Trong các tính toán sau này ta coi trở kháng Z_n và Z_t chỉ là thuần trở nghĩa là chỉ có R_n và R_t .

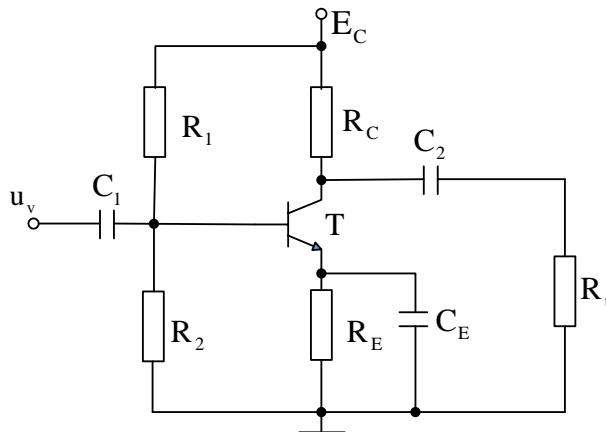
8.4.1. Tầng khuếch đại emitter chung (EC)

Trong sơ đồ khuếch đại EC (Hình 8.10) các tụ điện C_1, C_2 là các tụ điện nối tầng. Tụ điện C_1 ngăn cản sự ảnh hưởng của dòng một chiều giữa nguồn tín hiệu và mạch vào, tụ điện C_2 ngăn thành phần một chiều và chỉ cho thành phần xoay chiều ra tải. Điện trở R_1, R_2 là mạch phân áp xác định chế độ tĩnh của tầng, R_C tải một chiều của tầng, R_E điện trở ổn nhiệt cho tầng chính và dùng để hồi tiếp âm dòng điện, C_E thoát thành phần xoay chiều xuống đất để tránh hồi tiếp âm xoay chiều.

Nguyên lý làm việc của tầng EC như sau: Khi đưa điện áp xoay chiều tới đầu vào, xuất hiện dòng xoay chiều cực base của transistor và do đó xuất hiện dòng xoay chiều trên cực emitter, ở mạch ra xuất hiện dòng xoay chiều i_c . Dòng này gây hạ áp xoay chiều trên điện trở R_C , điện áp này qua tụ điện C_2 đưa đến đầu ra của tầng tức là tới tải R_t .

Khi cung cấp điện áp tới đầu vào của tầng thì trên cực base xuất hiện thành phần dòng xoay chiều i_b liên quan đến điện áp lối vào u_{BE} theo đặc tuyến vào của transistor. Vì dòng collector tỉ lệ với dòng base qua hệ số β nên trên collector cũng xuất hiện dòng xoay chiều i_c và điện áp xoay chiều u_{ra} liên hệ với dòng xoay chiều bằng đường tải xoay

chiều. Khi đó đường tải xoay chiều đặc trưng cho sự thay đổi tức thời dòng collector i_c và điện áp u_c , hay người ta gọi đó là sự dịch chuyển điểm làm việc.



Hình 8.10. Sơ đồ nguyên lý tầng khuếch đại emitter chung

Điểm làm việc dịch lên ứng với nửa chu kỳ dương và dịch chuyển xuống ứng với nửa chu kỳ âm của tín hiệu. Tín hiệu ra không bị méo khi ta chọn tín hiệu vào thích hợp và chế độ tinh đúng. Việc chọn chế độ tinh và tính toán các thông số phải dựa vào một mạch khuếch đại cụ thể. Các tham số ban đầu cần tính toán là biên độ điện áp ra, dòng điện tải, công suất tải và điện trở tải,... các tham số này có quan hệ chặt chẽ với nhau nên về nguyên tắc chỉ cần biết hai trong những tham số đó ta có thể tìm được các tham số còn lại. Để khảo sát các tham số của tầng với dòng xoay chiều cần chuyển sang sơ đồ tương đương (Hình 8.11).

+ Trở kháng vào của tầng:

$$R_v = R_1 // R_2 // r_v \quad (8.12)$$

trong đó: $r_v = r_B + (1+\beta)r_E$. Trở kháng ra của tầng: $R_r \approx R_C$.

+ Hệ số khuếch đại dòng điện: $K_i = \frac{i_t}{i_v}$

trong đó $i_t = \beta \cdot i_B \frac{R_C // R_t // r_C}{R_t}$

$$\text{Mặt khác ta lại có: } i_B = i_V \frac{R_V}{r_v}$$

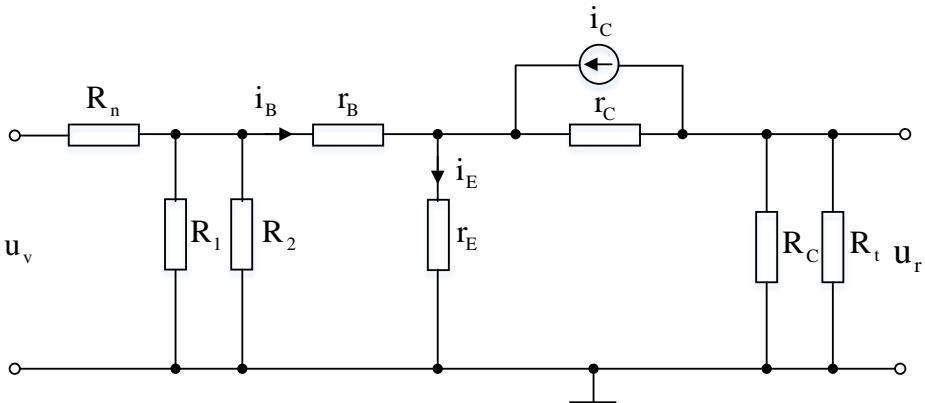
Do đó ta có hệ số khuếch đại dòng điện:

$$K_i = \beta \frac{R_V}{r_v} \frac{R_C // R_t // r_C}{R_t} \quad (8.13)$$

$$\text{Nếu } R_V \approx r_v; r_C \ll R_C // R_t \text{ thì ta có: } K_i = \beta \frac{R_C // R_t}{R_t} \quad (8.14)$$

Hệ số khuếch đại điện áp của tầng:

$$K_U = \frac{u_r}{u_v} = \frac{i_t R_t}{i_v (R_n + R_V)} = \beta \frac{R_C // R_t}{R_n + R_V} \quad (8.15)$$



Hình 8.11. Sơ đồ tương đương tầng khuếch đại emitter chung

8.4.2. Tầng khuếch đại collector chung (CC)

Sơ đồ collector chung hay còn gọi là sơ đồ lặp emitter vì điện áp ra lấy trên cực emitter của transistor, về trị số thì điện áp ra gần bằng điện áp vào và cùng pha với điện áp vào. Sơ đồ nguyên lý của mạch khuếch đại CC được thể hiện trên Hình 8.12.

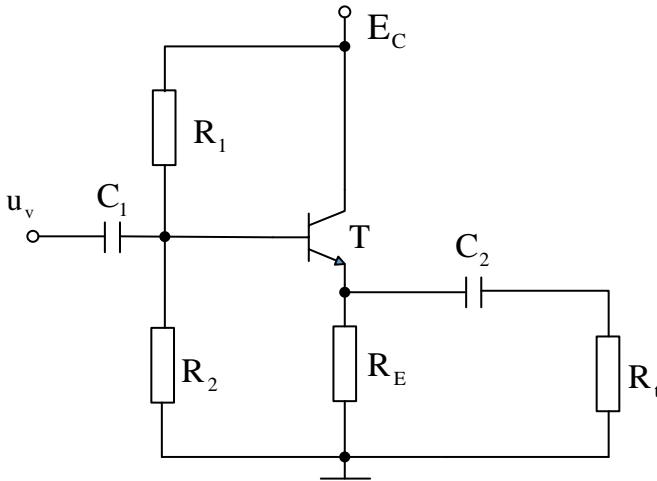
Điện trở R_E đóng vai trò như điện trở R_C của sơ đồ emitter chung nghĩa là tạo ra một điện áp biến đổi ở đầu ra trên nó. Tụ điện C_2 có nhiệm vụ đưa tín hiệu ra tải R_t , điện trở R_1, R_2 là bộ phân áp cấp điện một chiều cho cực base xác định chế độ tĩnh của tầng. Để tăng trở kháng vào người ta không mắc R_2 .

Để khảo sát các tham số của tầng với dòng xoay chiều cần chuyển sang sơ đồ tương đương (Hình 8.13).

Trở kháng vào của tầng:

$$R_v = R_1 // R_2 // r_v \quad (8.16)$$

Ta có $u_v = i_B [r_B + (1+\beta)(r_E + R_E // R_t)]$



Hình 8.12. Sơ đồ nguyên lý tầng khuếch đại collector chung

$$\text{Chia } u_v \text{ cho } i_B \text{ ta có: } u_v = i_B [r_B + (1+\beta)(r_E + R_E // R_t)] \quad (8.17)$$

Từ biểu thức trên ta thấy rằng trở kháng vào của tầng CC lớn hơn nhiều so với tầng EC vì r_E thường nhỏ hơn nhiều so với $(R_E // R_t)$, còn r_B nhỏ hơn $(1+\beta)(r_E + R_E // R_t)$ nên ta có trở kháng vào của tầng lặp emitter là: $R_v = R_1 // R_2 // (1+\beta)(R_E // R_t)$.

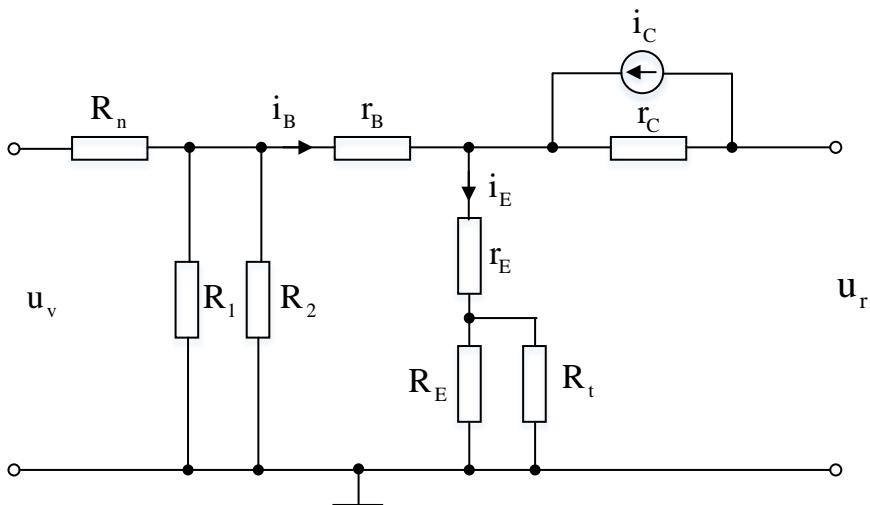
Trở kháng vào lớn là một ưu điểm lớn của tầng khuếch đại CC, do vậy tầng khuếch đại CC thường được dùng để phối hợp với các nguồn tín hiệu có trở kháng trong lớn.

Trở kháng ra của tầng

$$R_r = R_E // \left(r_E + \frac{r_B + R_n // R_1 // R_2}{1+b} \right) = R_E // r_E \quad (8.18)$$

Trở kháng ra này nhỏ cỡ $10 \div 50 \Omega$. Nó được dùng để phối hợp

mạch ra của tầng khuếch đại có trở kháng tải nhỏ.



Hình 8.13. Sơ đồ tương đương tầng khuếch đại collector chung
Dòng điện qua điện trở R_t :

$$i_t = \frac{u_{Rt}}{R_t} = (1+\beta) i_B \frac{R_E // R_t}{R_t}$$

$$\text{Ta có } u_v = i_v R_v; i_B = \frac{u_v}{r_v} \text{ suy ra ta có } i_B = i_v \frac{R_v}{r_v}$$

$$\text{Do đó: } i_t = \frac{u_{Rt}}{R_t} = (1+\beta) i_v \frac{R_v}{r_v} \frac{R_E // R_t}{R_t} \quad (8.19)$$

Hệ số khuếch đại dòng điện $K_i = (1+\beta) \frac{R_v}{r_v} \frac{R_E // R_t}{R_t}$. Nếu $R_v = r_v$ thì:

$$K_i = (1+\beta) \frac{R_E // R_t}{R_t} \quad (8.20)$$

Hệ số khuếch đại điện áp:

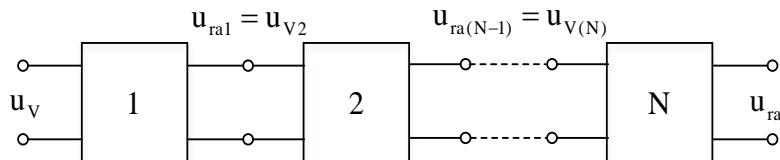
$$K_U = \frac{u_{Rt}}{u_v} = \frac{i_t R_t}{i_v (R_v + R_n)} = (1+\beta) \frac{R_E // R_t}{R_n + R_v} \quad (8.21)$$

Nếu $R_v \gg R_n$ và $R_v \approx (1+\beta)(R_E // R_t)$

Ta có $K_U \approx 1$.

8.5. Mạch ghép giữa các tầng khuếch đại

Một bộ khuếch đại thường gồm nhiều tầng măc nối tiếp nhau như Hình 8.14. Vì thực tế một tầng khuếch đại không đảm bảo đủ hệ số khuếch đại cần thiết. Ở đây tín hiệu ra của tầng đầu hay tầng trung gian bất kì sẽ là tín hiệu vào cho tầng sau nó và tải của tầng trước là trở kháng vào của tầng sau. Trở kháng vào và ra của bộ khuếch đại sẽ được tính theo tầng đầu và cuối.



Hình 8.14. Sơ đồ tổng quát ghép nối giữa các tầng khuếch đại

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại sẽ là tích hệ số khuếch đại của các tầng:

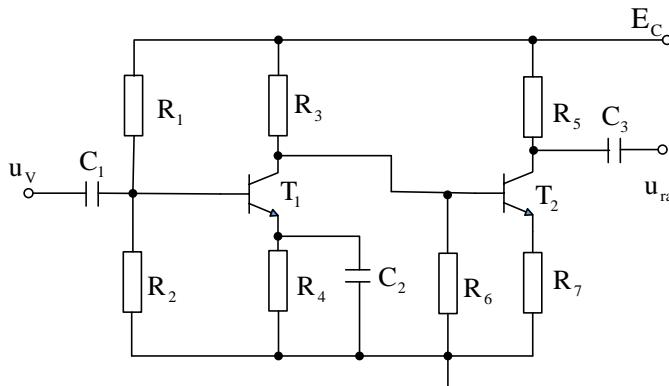
$$K_U = k_1 \cdot k_2 \dots k_N \quad (8.22)$$

trong đó k_1, k_2, \dots, k_n lần lượt là hệ số khuếch đại của các tầng $1, 2, \dots, N$.

Vิệc ghép giữa các tầng có thể được thực hiện bằng tụ điện, biến áp hay ghép trực tiếp.

8.5.1. Ghép trực tiếp

Ghép trực tiếp là ghép tín hiệu từ collector của transistor trước được ghép trực tiếp vào cực base của transistor sau (Hình 8.15).

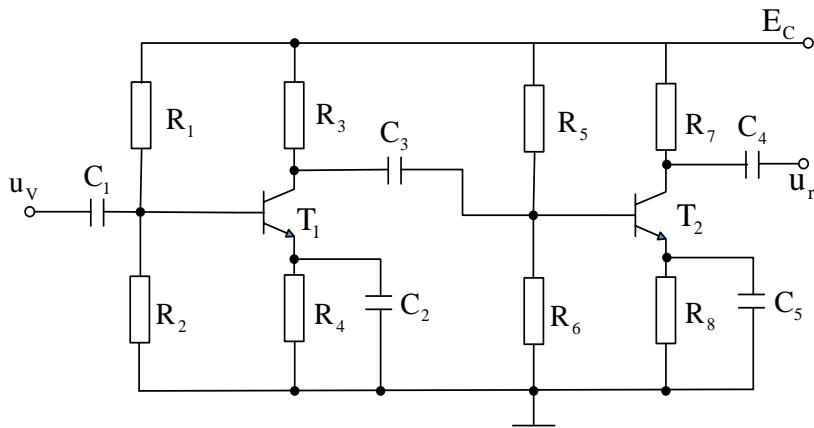


Hình 8.15. Tầng khuếch đại ghép trực tiếp

Cách ghép trực tiếp làm giảm méo tần số thấp trong bộ khuếch đại, được dùng trong bộ khuếch đại tín hiệu có thành phần một chiều.

8.5.2. Ghép tầng bằng tụ điện

Bộ khuếch đại ghép điện dung được thể hiện trên hình 8.16. Xuất phát từ hệ số khuếch đại yêu cầu. Việc tính toán các tầng (chọn và đảm bảo chế độ tĩnh), tính toán chế độ xoay chiều phải tuân theo thứ tự từ tầng cuối cùng trở về tầng đầu tiên.



Hình 8.16. Tầng khuếch đại ghép tụ điện

Trước hết tầng này phải đảm bảo đưa ra tải R_t công suất tín hiệu yêu cầu. Dựa vào hệ số khuếch đại tầng cuối cùng, ta xác định các hệ số tín hiệu vào của nó, và đó là cơ sở để tính toán cho tầng sau đó, cứ như vậy ta tính toán cho các tầng còn lại của bộ khuếch đại.

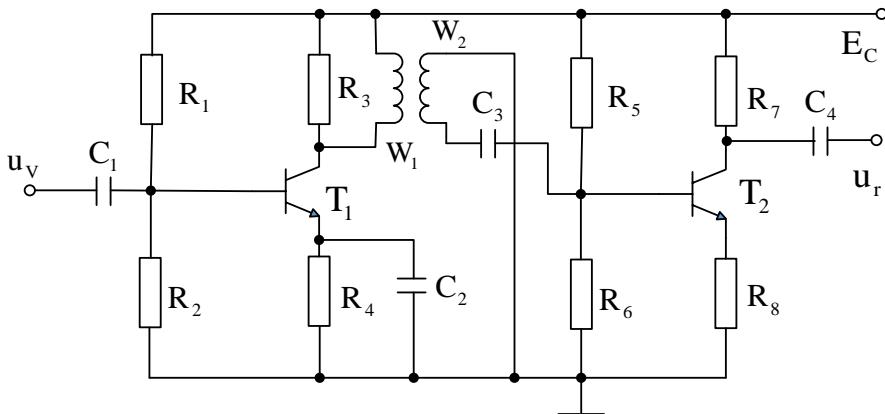
Các bộ khuếch đại đều có hệ số khuếch đại giảm về hai phía là tần số thấp và tần số cao. Ở miền tần số thấp, khi tải thuận trở thì hệ số khuếch đại giảm là do tụ điện trong sơ đồ quyết định, còn ở tần số cao thì chủ yếu là do các tham số của transistor quyết định, cụ thể là:

Ở tần số thấp: Khi tần số giảm thì độ dãn điện của các tụ điện nối tầng sẽ giảm. Do đó có hạ áp trên các tụ điện nên điện áp của nguồn tín hiệu đặt vào tầng đầu tiên hay điện áp ra tầng trước đặt vào tầng sau sẽ bị giảm. Hạ áp làm giảm biên độ tín hiệu lối ra của các tầng của bộ khuếch đại nói chung tức là giảm hệ số khuếch đại ở miền tần số thấp.

Tụ điện C_E cũng làm giảm hệ số khuếch đại ở miền tần thấp vì nó làm tăng mức độ hồi tiếp âm dòng điện xoay chiều trên R_E .

Việc giảm độ lớn của hệ số khuếch đại ở tần số thấp được đặc trưng bởi hệ số méo tần số thấp của bộ khuếch đại. $M_t = \frac{K_0}{K_t}$

8.5.3. Ghép tầng bằng biến áp



Hình 8.17. Tầng khuếch đại ghép biến áp

Cuộn sơ cấp W_1 của biến áp mắc vào collector T_1 , cuộn thứ cấp W_2 mắc vào cực base T_2 qua tụ điện C_3 . Ghép tầng bằng biến áp cách ly được điện áp một chiều giữa các tầng và có thể làm tăng hệ số khuếch đại chung về điện áp hay dòng điện phụ thuộc vào biến áp tăng hay giảm.

Ưu điểm của mạch này là nguồn cung cấp cho collector của transistor lớn, vì điện áp một chiều cuộn dây bé do đó cho phép nguồn có điện áp thấp. Ngoài ra ghép biến áp còn dễ dàng phối hợp trở kháng và thay đổi cực tính điện áp tín hiệu trên các cuộn dây.

8.6. Mạch khuếch đại công suất

8.6.1. Các yêu cầu về chỉ tiêu kỹ thuật của tầng khuếch đại công suất

Chỉ tiêu chất lượng của các tầng khuếch đại công suất (KDGS) được đánh giá thông qua các tham số kỹ thuật như sau:

- + Công suất ra P_{ra} : Là công suất của tín hiệu có ích đưa ra tải. Đây

là một trong những tham số quan trọng nhất của tầng KĐCS.

+ Hệ số khuếch đại công suất K_p : Là tỷ số giữa công suất ra và công suất vào của tầng khuếch đại: $K_p = \frac{P_{ra}}{P_v}$ (8.23)

+ Hiệu suất η : Là tỷ số giữa công suất ra có ích P_{ra} và công suất cung cấp một chiều P_0 : $\eta = \frac{P_{ra}}{P_0}$ (8.24)

Hiệu suất càng lớn thì tổn hao điện năng càng nhỏ và chế độ nhiệt của transistor càng đảm bảo tốt.

+ Dải tần công tác: ($f_{min} \div f_{Max}$)

+ Độ chọn lọc: Tầng KĐCS cần phải đảm bảo độ chọn lọc tốt trên hai phương diện:

- Có khả năng khuếch đại tín hiệu có ích và loại bỏ các tín hiệu không mong muốn xuất hiện trên đầu vào của tầng khuếch đại.

- Có khả năng loại bỏ các thành phần hài bậc cao, mà nguyên nhân là do transistor làm việc ở chế độ phi tuyến với tín hiệu lớn sinh ra làm méo dạng tín hiệu.

+ Trở kháng vào và trở kháng ra: Đây cũng là những tham số cần quan tâm nhằm xác định điều kiện phối hợp trở kháng với tải ở đầu ra và nguồn tín hiệu ở đầu vào.

8.6.2. Phân loại mạch khuếch đại công suất

Tầng KĐCS có thể được phân loại dựa vào các căn cứ sau:

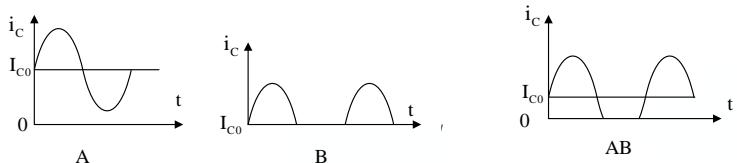
+ Theo tần số làm việc: Tầng KĐCS có thể được xây dựng để làm việc ở các dải tần số thấp, dải tần số trung gian (IF), dải tần số cao (HF) và dải tần số siêu cao (VHF, UHF...).

+ Theo công suất: Tầng KĐCS được phân thành các loại KĐCS có công suất rất nhỏ (vài chục mW), công suất nhỏ (vài W), công suất trung bình (hàng chục đến hàng trăm W) và công suất rất lớn (hàng chục kW và lớn hơn).

+ Theo tải của tầng KĐCS: Theo đó tầng KĐCS được phân thành

các loại KĐCS tải không cộng hưởng và KĐCS tải cộng hưởng (có tính chất chọn lọc).

- + Theo mạch điện: Ta có các tầng KĐCS mắc theo sơ đồ tầng đơn và sơ đồ đẩy kéo.
- + Các chế độ làm việc tầng khuếch đại công suất.

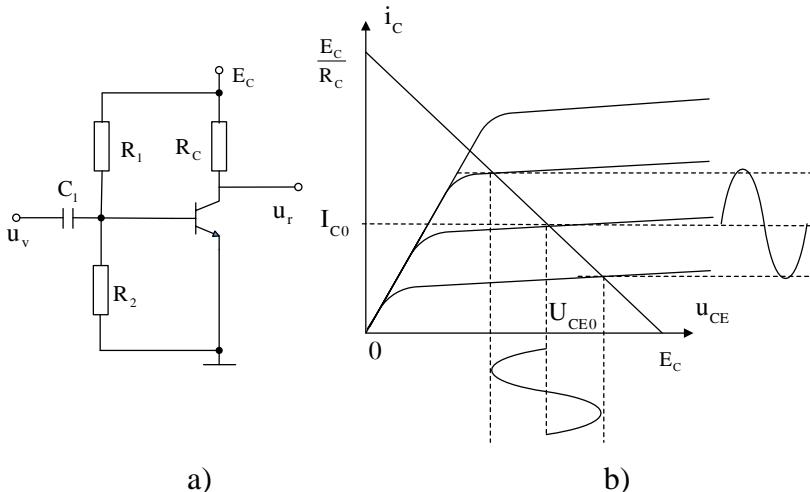


Hình 8.18. Các chế độ làm việc tầng khuếch đại công suất

8.6.3. Tầng khuếch đại công suất đơn

Tầng khuếch đại đơn hay dùng sơ đồ emitter chung hoặc sơ đồ lặp emitter vì các sơ đồ này có hệ số khuếch đại dòng điện lớn và méo phi tuyến nhỏ. Mặt khác, do tầng khuếch đại dải rộng, không tải (hoặc nhỏ) có tính chất chọn lọc tần số, nên thường chọn chế độ công tác loại A. Chế độ A bộ khuếch đại làm việc gần như tuyến tính nên góc cắt $\theta = \frac{T}{2} = 180^\circ$ và do đó hiệu suất thấp.

a) Sơ đồ emitter chung



Hình 8.19. Sơ đồ tầng khuếch đại công suất emitter chung (a); Minh họa nguyên tắc làm việc (b)

Hình 8.19a biểu diễn sơ đồ emitter chung và minh họa nguyên tắc làm việc của tầng khuếch đại chế độ A. Tải của tầng khuếch đại dải rộng trong trường hợp này là tải điện trở (R_C). Khi đó đặc tuyến động là đoạn thẳng cắt trực tung tại E_C / R_C và trực hoành tại E_C theo phương trình:

$$I_c R_c = E_c - U_{CE0} \quad (8.25)$$

Hiệu suất của mạch rất thấp: $\eta \leq 25\%$

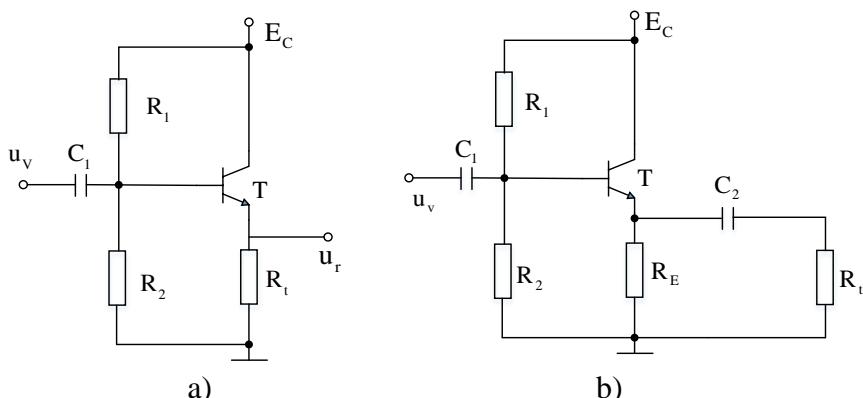
Công suất ra của tầng khuếch đại sẽ đạt được cực đại nếu khu vực làm việc chiếm phần lớn đoạn thẳng của đường đặc tuyến động, khi đó $I_{C_{max}} = \frac{E_c}{2R_c}$; $U_{mMax} = \frac{E_c}{2}$

$$P_{Max} = \frac{E_c^2}{8R_c} \quad (8.26)$$

Với giá trị trở kháng tải tối ưu là: $R_{Copt} = \frac{E_c}{2I_{C0}}$ (8.27)

Để tăng hiệu suất của mạch, ta có thể thay điện trở R_C bằng một cuộn cảm hoặc dùng ghép biến áp. Khi đó ở chế độ tĩnh thì $U_{CE0} = E_c$, $U_{mMAX} = E_c$, công suất ra tăng hai lần và hiệu suất đạt xấp xỉ 50%.

b) Sơ đồ lắp emitter



Hình 8.20. Sơ đồ lắp emitter: a) Ghép trực tiếp với tải;
b) Ghép điện dung với tải

Sơ đồ lắp emitter (collector chung) đặc biệt thích hợp với tầng KĐCS vì dễ phối hợp trở kháng với tải. Quan sát sơ đồ Hình 8.20a ta thấy tải R_t vẫn mắc giữa hai cực emitter và collector (collector là điểm chung). Đặc điểm của sơ đồ này yêu cầu điện áp nguồn tín hiệu vào u_v có biên độ đủ lớn, vì tầng khuếch đại có hệ số khuếch đại điện áp nhỏ hơn 1.

Trường hợp yêu cầu dòng một chiều không đi qua tải, ta dùng sơ đồ lắp emitter ghép điện dung với tải như Hình 8.20b. Do tải tương đương xoay chiều ở sơ đồ này giảm đi, nên công suất ra cực đại và hiệu suất của mạch cũng giảm theo. Để khắc phục, có thể thay thế điện trở R_E bằng một nguồn dòng điện.

8.6.4. Tầng khuếch đại công suất mắc dây kéo

Để tăng công suất, hiệu suất và giảm méo phi tuyén, người ta thường dùng cách mắc dây kéo. Tầng khuếch đại dây kéo là tầng gồm có hai phần tử tích cực mắc chung tải, có thể làm việc ở chế độ A, AB hoặc B nhưng thông thường hay dùng chế độ B ($\theta = 90^\circ$) hoặc AB (có góc cắt $90^\circ < \theta < 180^\circ$) để tăng hiệu suất. Ở chế độ B, điểm làm việc được chọn sao cho dòng điện ra ở chế độ tĩnh bằng không và điện áp ra ở chế độ tĩnh bằng điện áp nguồn cung cấp. Hai transistor luân phiên làm việc trong từng nửa chu kì (dương hoặc âm). Hai nửa tín hiệu ra sẽ được tổng hợp lại thành tín hiệu hoàn chỉnh i_t ở trên tải chung.

Công suất có ích mà hai transistor đưa ra tải chung được xác định qua biểu thức:

$$P_{\text{Max}} \approx \frac{E_c^2}{2R_t} \quad (8.28)$$

Hiệu suất cực đại của mạch dây kéo:

$$\eta_{\text{Max}} = \frac{P_{\text{Max}}}{P_0} \approx 78.5\% \quad (8.29)$$

Ta thấy rằng khi mắc dây kéo thì công suất ra và hiệu suất lớn hơn khá nhiều so với tầng khuếch đại công suất đơn.

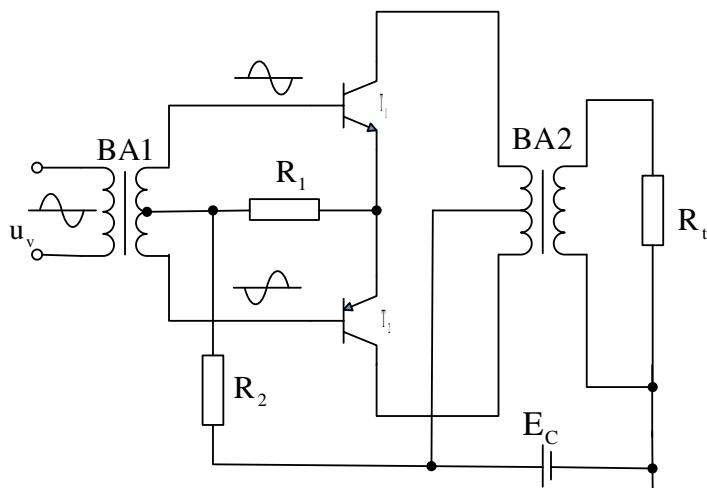
Có thể phân các tầng khuếch đại dây kéo ra làm hai loại: Dây kéo song song và dây kéo nối tiếp. Sơ đồ dây kéo song song có các phần tử

tích cực đầu song song về mặt một chiều. Ngược lại sơ đồ dây kéo nối tiếp có các phần tử tích cực đấu nối tiếp về mặt một chiều. Ngoài ra trong các sơ đồ KĐCS mắc dây kéo có thể dùng các transistor cùng loại hoặc khác loại.

a) Tầng khuếch đại công suất dây kéo song song

Các sơ đồ dây kéo song song đều dùng biến áp ra để phối hợp giữa hai nửa tải. Mạch điện nguyên lý của một tầng KĐCS dùng hai transistor cùng loại mắc dây kéo song song chỉ ra trên Hình 8.21.

Để hai transistor T_1 và T_2 luân phiên làm việc, cần phải dùng một biến áp BA1 đảo pha ở đầu vào để cung cấp hai điện áp ngược pha cho hai transistor. Biến áp BA2 làm nhiệm vụ biến đổi từ đối xứng thành không đối xứng ở đầu ra. Mạch phân áp R_1 , R_2 , làm nhiệm vụ xác định điểm làm việc tĩnh ở chế độ AB. Khi chọn $R_2 = 0$ thì tầng khuếch đại sẽ làm việc ở chế độ B.



Hình 8.21. Tầng khuếch đại công suất dây kéo song song

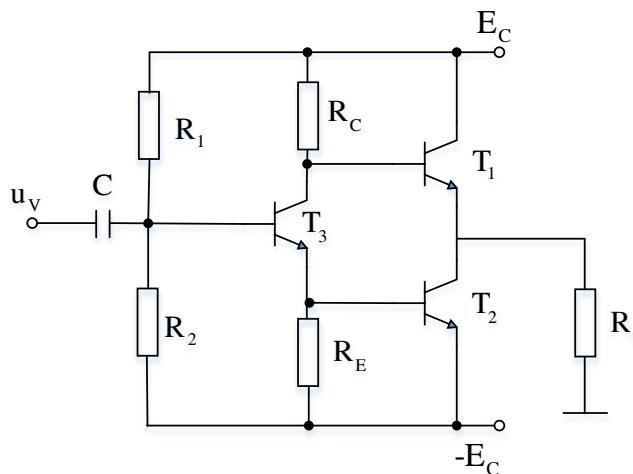
Tương tự, ta có thể xét đối với các sơ đồ dây kéo song song dùng transistor khác loại.

Sơ đồ dây kéo song song có ưu điểm là hiệu suất cao, nguồn cung cấp yêu cầu nhỏ, tải được cách điện về phương diện một chiều. Tuy vậy, sơ đồ này có nhược điểm đáng kể là biến áp có kích thước lớn, giá thành

cao, dải tần làm việc hẹp và khó có thể thực hiện được dưới dạng mạch hỗn hợp.

b) *Tầng khuếch đại công suất đẩy kéo nối tiếp dùng transistor cùng loại*

Sơ đồ mạch điện tầng KĐCS đẩy kéo nối tiếp dùng transistor cùng loại được trình bày trên Hình 8.22. Để tạo tín hiệu ngược pha đưa vào base hai transistor T_1 và T_2 ta dùng tầng khuếch đại đảo pha T_3 . Thay cho nguồn cung cấp cần có điểm giữa đấu đất, ta dùng nguồn đối xứng E_C ở tầng ra, T_1 được mắc theo kiểu collector chung và T_2 theo kiểu emitter chung. T_3 ngoài nhiệm vụ khuếch đại đảo pha còn làm nhiệm vụ định điểm làm việc cho T_1 và T_2 nhờ điện áp tĩnh trên collector và emitter của nó. Các điện trở R_C và R_E được chọn theo yêu cầu để tạo ra điện áp đối xứng và ngược pha.

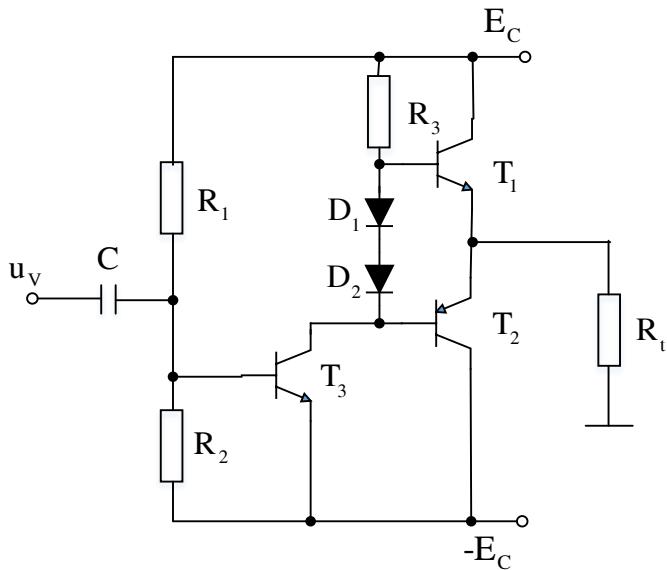


Hình 8.22. Tầng khuếch đại công suất đẩy kéo nối tiếp dùng transistor cùng loại

c) *Tầng khuếch đại công suất đẩy kéo nối tiếp dùng transistor khác loại*

Sơ đồ mạch điện tầng KĐCS đẩy kéo nối tiếp dùng transistor khác loại được trình bày trên Hình 8.23. Ở đây transistor T_3 làm nhiệm vụ khuếch đại đảo pha. Điện áp đặt vào base của hai transistor T_1 , T_2 là đồng pha chỉ khác nhau một giá trị không đổi (hai lần điện áp thông của diode), nên hai transistor này thỏa mãn điều kiện luân phiên làm việc (do

chung khác loại). Điểm làm việc của T_3 được chọn sao cho khi không có tín hiệu vào, điện thế emitter của T_1 , T_2 bằng không, lúc này điện áp trên tải cũng bằng không.



Hình 8.23. Tầng khuếch đại công suất dây kéo nối tiếp dùng transistor bù (khác loại)

Cả hai transistor T_1 , T_2 đều mắc theo sơ đồ lắp emitter (collector chung) và có chung tải R_t , hệ số khuếch đại điện áp của mạch này $K_u \approx 1$.

8.7. Bộ khuếch đại thuật toán và ứng dụng

Mạch khuếch đại thuật toán (KĐTT) (Hình 8.24) được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau của kỹ thuật điện tử. Mạch KĐTT cũng giống như các mạch khuếch đại thông thường đều được dùng để khuếch đại điện áp, dòng điện hoặc công suất các tín hiệu. Nhưng nó khác mạch khuếch đại thông thường cơ bản là ở chỗ tính chất của mạch khuếch đại thông thường phụ thuộc trực tiếp vào kết cấu bên trong của mạch, còn tính chất của mạch KĐTT hoàn toàn có thể thay đổi được và chỉ phụ thuộc vào các linh kiện mắc ở mạch ngoài. Chính vì lẽ đó mạch KĐTT được chế tạo hàng loạt có tính công nghiệp, còn trong thực tế thì tùy yêu cầu, chức năng mà mắc thêm các linh kiện phù hợp với mạch điện cần thiết kế. Để thực hiện được ý tưởng trên, bộ

KĐTT phải có hệ số khuếch đại (K) rất lớn, trở kháng vào (Z_v) lớn và trở kháng ra (Z_r) rất nhỏ.

Về bản chất bộ KĐTT khuếch đại hiệu điện áp giữa hai đầu vào P và N (Hình 8.24).

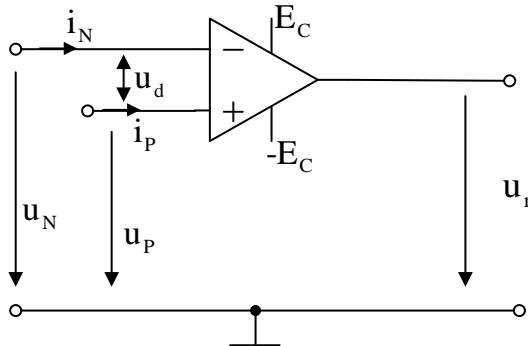
Gọi điện áp giữa hai đầu vào P và N là u_d , ta có:

$$u_d = u_P - u_N \quad (8.30)$$

trong đó:

u_P là điện áp trên đầu vào P đối với đất.

u_N là điện áp trên đầu vào N đối với đất.



Hình 8.24. Ký hiệu bộ khuếch đại thuât toán

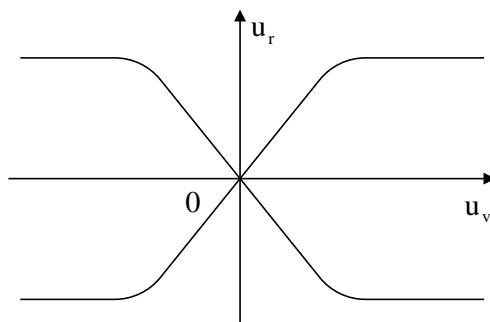
Với K_0 là hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuât toán. Điện áp ra được tính:

$$u_r = K_0 u_d = K_0 (u_P - u_N) \quad (8.31)$$

Trong trường hợp: $u_N = 0$ thì $u_r = K_0 u_P$. Điện áp ra (u_r) đồng pha với điện áp vào u_P ta gọi cửa vào P là cửa vào không đảo (hoặc cửa vào thuận) của bộ KĐTT và ký hiệu bằng dấu (+).

Trong trường hợp $u_P = 0$ thì $u_r = -K_0 u_N$. Điện áp ra (u_r) ngược pha với điện áp vào u_N , ta gọi cửa vào N là cửa vào đảo của bộ KĐTT và ký hiệu trên sơ đồ bằng dấu (-).

Ngoài ra bộ KĐTT còn có hai đầu vào đầu với nguồn cung cấp đối xứng là $\pm E_C$ và các cửa để chỉnh lệch không và bù tần số.



Hình 8.25. Đặc tuyến truyền đạt bộ khuếch đại thuât toán

Một bộ KĐTT lý tưởng có những tính chất cơ bản sau:

+ Trở kháng vào: $Z_v = \infty$

+ Trở kháng ra: $Z_r = 0$

+ Hệ số khuếch đại: $K_0 = \infty$

Trong thực tế chế tạo không bao giờ có được bộ KĐTT lý tưởng mà chỉ có các bộ KĐTT gần lý tưởng. Để đánh giá các bộ KĐTT thực so với các bộ KĐTT lý tưởng chúng ta cần căn cứ vào các tham số tương ứng của chúng.

8.7.1. Hệ số khuếch đại hiệu

Ta gọi hệ số khuếch đại hiệu khi không tải là K_0 được xác định theo biểu thức:

$$K_0 = \frac{u_r}{u_d} = \frac{u_r}{u_p - u_n} = \begin{cases} \frac{u_r}{u_p} & \text{khi } u_n = 0 \\ -\frac{u_r}{u_n} & \text{khi } u_p = 0 \end{cases} \quad (8.32)$$

Ở khoảng tần số thấp K_0 gần như không thay đổi, thường ký hiệu $K_0 = K_{00}$. Đôi với các bộ KĐTT thông dụng, K_0 có giá trị từ $10^3 \div 10^6$, và có đặc tuyến truyền đạt được mô tả trên Hình 8.25.

Rõ ràng trên đặc tuyến truyền đạt đã chỉ rõ: Điện áp ra u_r tỷ lệ với U_d trong dải điện áp u_{rmin} đến u_{rmax} , dải điện áp này được gọi là dải biến đổi điện áp ra của bộ KĐTT. Ngoài dải đó điện áp ra không thay đổi và

lúc đó không phụ thuộc vào độ lớn của điện áp vào tương ứng, bộ KĐTT làm việc trong chế độ bão hoà.

Khi điện áp đầu vào là điện áp một chiều và điện áp có tần số thấp thì lúc đó hệ số khuếch đại K_0 sẽ không phụ thuộc vào tần số và $K_0 = K_{00}$. Khi tần số tăng đến một giá trị nào đó thì K_0 giảm, ở tần số giới hạn: $K_0 = \frac{K_{00}}{\sqrt{2}}$

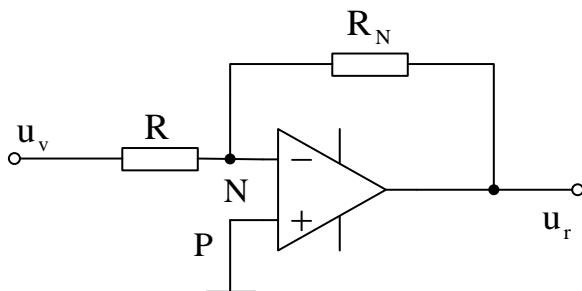
Do tần số giới hạn dưới của bộ KĐTT $f_d = 0$ nên độ rộng dải tần làm việc B của bộ KĐTT đúng bằng tần số giới hạn trên của nó. Khi hệ số khuếch đại K_0 giảm dần theo sự tăng của tần số thì giữa điện áp ra và điện áp vào cũng xuất hiện một góc lệch pha phụ thuộc tần số. Trong những điều kiện nhất định, góc lệch pha này sẽ gây ảnh hưởng đến tính ổn định của bộ KĐTT.

8.7.2. Các sơ đồ cơ bản của bộ khuếch đại thuật toán

Khi dùng bộ KĐTT, ta thường dùng hồi tiếp âm mà không dùng hồi tiếp dương, vì hồi tiếp dương làm cho bộ KĐTT làm việc ở trạng thái bão hoà là trạng thái chỉ dùng trong chế độ khoá.

a) Sơ đồ khuếch đại đảo

Sơ đồ mạch điện dùng bộ KĐTT ở chế độ KĐ đảo được trình bày trên Hình 8.26:



Hình 8.26. Sơ đồ khuếch đại đảo dùng KĐTT

Ta có $K_0 = \infty$, $r_d = \infty$, do vậy:

$$u_N = -\frac{u_r}{K_0} \quad (8.33)$$

Vì u_r hữu hạn, $K_0 = \infty$ nên $u_N = 0$.

Viết phương trình dòng điện nút cho nút N ta có

$$\frac{u_v}{R} + \frac{u_r}{R_N} = 0 \quad (8.34)$$

$$u_r = -\frac{R_N}{R} u_v \quad (8.35)$$

Do có hồi tiếp âm qua R_N nên trong quá trình làm việc điện áp ra u_r sẽ biến thiên sao cho $u_N \approx 0$. Chính vì thế, cửa đảo N trong sơ đồ này còn được gọi là điểm đất ảo. Theo công thức (8.35) hệ số khuếch đại khi có hồi tiếp âm được xác định bằng:

$$K' = \frac{R_N}{R} < K_0 \quad (8.36)$$

Biểu thức này cho thấy rõ ràng hệ số khuếch đại của bộ KĐTT giảm khi có hồi tiếp âm và chỉ phụ thuộc vào các linh kiện mắc ở mạch ngoài.

Trở kháng vào của mạch được tính:

$$Z_v = \frac{u_v}{i_v} = \frac{u_v}{u_v R} = R \quad (8.37)$$

b) Sơ đồ khuếch đại thuận

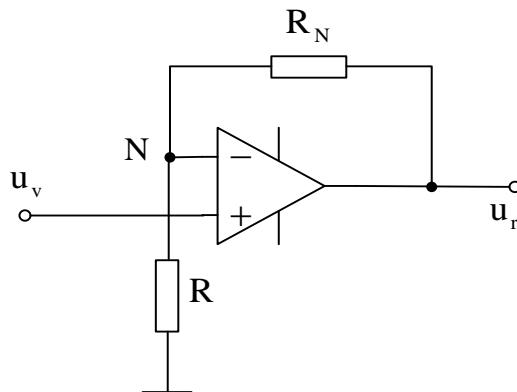
Sơ đồ mạch điện dùng bộ KĐTT ở chế độ KĐ thuận được trình bày trên Hình 8.27. Với các thông số $K_0 = \infty$, $r_d = \infty$, ta có:

Vì $K_0 = \infty$ và u_r hữu hạn nên $u_d \approx 0$ nghĩa là: $u_v = u_N$. Mặt khác theo sơ đồ Hình 8.27 ta có thể tính được u_N như sau: $u_N = u_r \frac{R}{R+R_N}$

$$\text{Suy ra: } u_r = \left(1 + \frac{R_N}{R}\right) u_v \quad (8.38)$$

Hệ số khuếch đại của mạch được tính:

$$K' = 1 + \frac{R_N}{R} \quad (8.39)$$



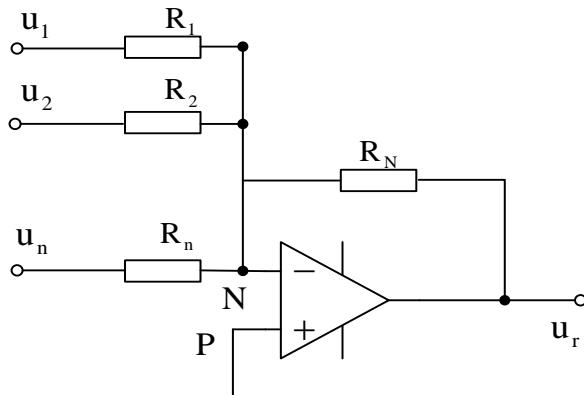
Hình 8.27. Bộ khuếch đại thuật toán thuận

c) *Mạch công đảo*

Sơ đồ mạch công đảo được cho trên Hình 8.28. Tại nút N ta có phương trình dòng điện nút như sau: $\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \dots + \frac{u_n}{R_n} + \frac{u_r}{R_N} = 0$

Từ đây, ta có thể rút ra quan hệ giữa điện áp ra và các điện áp vào:

$$u_r = - \left(\frac{R_N}{R_1} u_1 + \frac{R_N}{R_2} u_2 + \dots + \frac{R_N}{R_n} u_n \right) \quad (8.40)$$



Hình 8.28. Mạch công đảo

d) *Mạch trù*

Sơ đồ nguyên lý mạch trù dùng bộ KĐTT được thể hiện trên Hình 8.29. Điện áp vào cửa thuận:

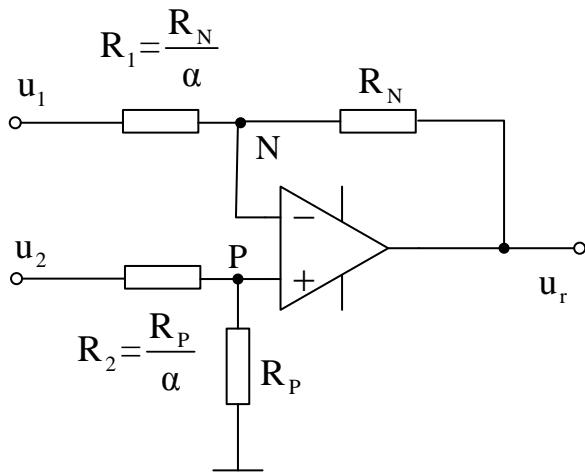
$$u_p = u_2 \frac{R_p}{R_p + R_p/\alpha} \quad (8.41)$$

Điện áp vào cửa đảo:

$$u_N = \frac{R_N}{R_N + \frac{R_N}{\alpha}} (u_1 - u_r) + u_r \quad (8.42)$$

Vì $u_d = 0$ nên $u_P = u_N$, do vậy ta có

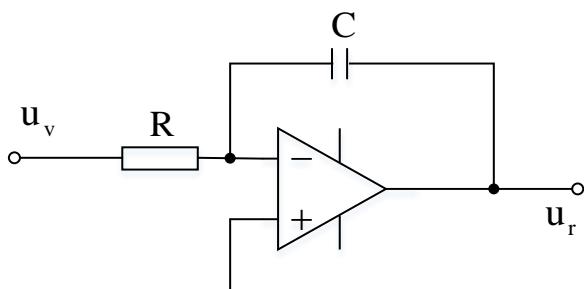
$$u_r = \alpha(u_2 - u_1) \quad (8.43)$$



Hình 8.29. Mạch trù

e) Mạch tích phân đảo

Sơ đồ mạch tích phân đảo được biểu diễn Hình 8.30



Hình 8.30. Mạch tích phân đảo

Xét tại nút N ta có: $i_R + i_C = 0$ Hay $\frac{u_v}{R} + C \frac{du_r}{dt} = 0$

$$u_r = -\frac{1}{RC} \int u_v(t) dt \quad (8.44)$$

Từ công thức (8.44) ta thấy điện áp ra là tích phân của điện áp vào.

Tóm tắt nội dung chương 8

1. Hồi tiếp là quá trình ghép một phần tín hiệu ra của mạng 4 cực tích cực về đầu vào thông qua một mạng 4 cực khác.

2. Hàm truyền đạt của mạng 4 cực tích cực có hồi tiếp

$$K' = \frac{X_r}{X_v} = \frac{K}{1+K \cdot K_{ht}}$$

3. Phương trình đường tải một chiều

$$I_{C0} = -\frac{1}{R_C + R_E} U_{CEO} + \frac{1}{R_C + R_E} E_C$$

4. Hệ số khuếch đại dòng điện tầng khuếch đại EC

$$K_i = \beta \frac{R_v}{r_v} \frac{R_c // R_t // r_c}{R_t}$$

5. Hệ số khuếch đại điện áp của tầng khuếch đại EC

$$K_U = \frac{u_r}{u_v} = \frac{i_t R_t}{i_v (R_n + R_v)} = \beta \frac{R_c // R_t}{R_n + R_v}$$

6. Hệ số khuếch đại dòng điện tầng khuếch đại CC

$$K_i = (1 + \beta) \frac{R_e // R_t}{R_t}$$

7. Hệ số khuếch đại điện áp tầng khuếch đại CC

$$K_U = \frac{u_{Rt}}{u_v} = \frac{i_t R_t}{i_v (R_v + R_n)} = (1 + \beta) \frac{R_e // R_t}{R_n + R_v}$$

8. Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại gồm nhiều tầng mốc nối tiếp

$$K_U = k_1 \cdot k_2 \cdots k_n$$

9. Hệ số méo tần số thấp của bộ khuếch đại khi ghép tầng bằng tụ điện

$$M_t = \frac{K_0}{K_t}$$

10. Hệ số khuếch đại của mạch KĐCS

$$K_p = \frac{P_r}{P_v}$$

11. Hiệu suất của mạch KĐCS

$$\eta = \frac{P_r}{P_0}$$

12. Công suất ra cực đại của mạch KĐCS EC

$$P_{\text{Max}} = \frac{E_c^2}{8R_c}$$

13. Công suất ra cực đại của mạch KĐCS mắc dây kéo

$$P_{\text{Max}} \approx \frac{E_c^2}{2R_t}$$

14. Hiệu suất cực đại của mạch KĐCS mắc dây kéo:

$$\eta_{\text{Max}} = \frac{P_{\text{Max}}}{P_0}$$

15. Hệ số khuếch đại hiệu khi không tải của bộ khuếch đại thuật toán

$$K_0 = \frac{u_r}{u_d} = \frac{u_r}{u_p - u_n} = \begin{cases} \frac{u_r}{u_p} & \text{khi } u_n = 0 \\ -\frac{u_r}{u_n} & \text{khi } u_p = 0 \end{cases}$$

16. Điện áp ra của mạch khuếch đại đảo

$$u_r = -\frac{R_N}{R_1} u_v$$

17. Điện áp ra của mạch khuếch đại thuận

$$u_r = \left(1 + \frac{R_N}{R_1} \right) u_v$$

18. Điện áp ra của mạch cộng đảo

$$u_r = - \left(\frac{R_N}{R_1} u_1 + \frac{R_N}{R_2} u_2 + \dots + \frac{R_N}{R_n} u_n \right)$$

19. Điện áp ra của mạch tích phân đảo

$$u_r = -\frac{1}{RC} \int u_v(t) dt$$

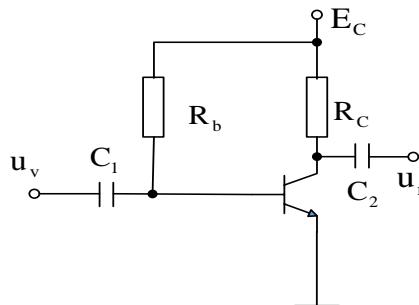
Câu hỏi và bài tập chương 8

8.1. Hãy phân biệt các loại hồi tiếp: Hồi tiếp dòng điện, Hồi tiếp điện áp, hồi tiếp song song và hồi tiếp nối tiếp.

8.2. Để transistor BJT làm việc ở chế độ khuếch đại thì chuyển tiếp giữa miền emitter và miền base, chuyển tiếp giữa miền base và miền collector phải thỏa mãn điều kiện gì?

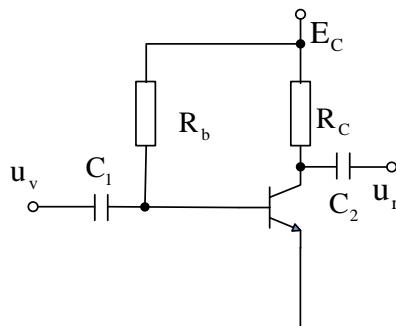
8.3. Cho mạch điện như Hình 8.31. Biết dòng $I_{C0}=5\text{mA}$; Hệ số $\beta=100$; $U_{CE0}=5\text{V}$; thiên áp $U_{BE0} = 0,6\text{V}$; $E_C = 10\text{V}$.

- a) Tính trở kháng R_C
- b) Tính điện áp U_C so với đất.



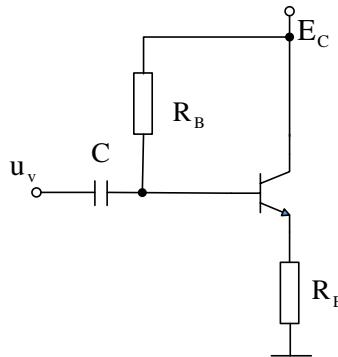
Hình 8.31

8.4. Cho mạch điện như Hình 8.32. Biết $R_b=220\text{k}\Omega$; $R_C=2\text{k}\Omega$; $\beta=50$; $U_{BE0}=0,5\text{V}$; $E_C = 10\text{V}$. Hãy xác định các thông số tĩnh của mạch điện: dòng I_{B0} , I_{C0} , I_{E0} điện áp U_{CE0} .



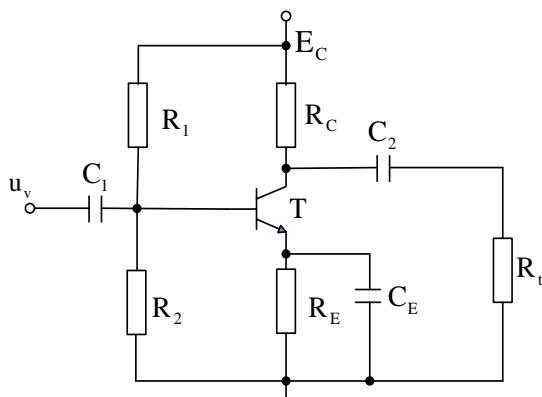
Hình 8.32

8.5. Cho mạch điện như Hình 8.33. Biết: $E_C=12V$; $R_B=300k\Omega$; $R_E=2,7k\Omega$; $\beta=100$; $U_{BE0}=0,5V$; Xác định các tham số tĩnh của mạch điện.



Hình 8.33

8.6. Cho mạch khuếch đại dùng transistor lưỡng cực như Hình 8.34. Biết $E_C=10V$; $R_C=5k\Omega$; $R_E=0,2R_C$; $R_1=85k\Omega$; $R_2=15k\Omega$; $U_{CEO}=4V$; $I_{C0} \approx I_{E0}$; $\beta=50$. Hãy xác định các tham số tĩnh của transistor.

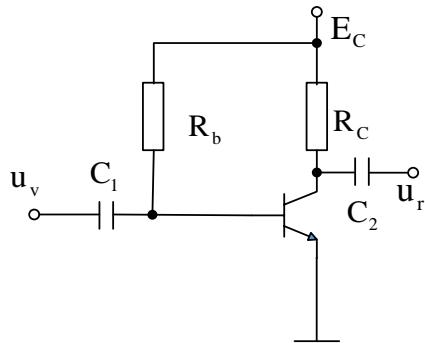


Hình 8.34

8.7. Cho tầng khuếch đại dùng BJT như trên Hình 8.35. Biết $E_C=12V$; $R_b=470\Omega$; $R_C=3k\Omega$; $C_1=10\mu F$; $C_2=10\mu F$; $\beta=100$; $r_0=50k\Omega$; $U_{BE0}=0,5V$

- Xác định r_e .
- Xác định trở kháng vào của tầng R_v .
- Xác định trở kháng ra của tầng R_f (với $r_0=\infty$).

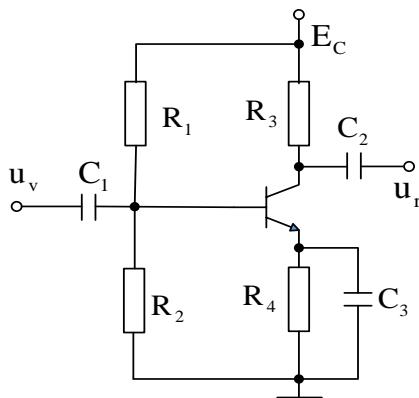
- d) Xác định hệ số khuếch đại điện áp K_u (với $r_0 = \infty$).
- e) Xác định hệ số khuếch đại dòng điện K_i (với $r_0 = \infty$).



Hình 8.35

8.8. Cho tầng khuếch đại dùng transistor lưỡng cực (BJT) như trên Hình 8.36. Biết: $E_C = 22V$; $R_1 = 56K\Omega$; $R_2 = 8,2k\Omega$; $R_3 = 6,8k\Omega$; $R_4 = 1,5k\Omega$; $C_1 = 10\mu F$; $C_2 = 10\mu F$; $C_3 = 20\mu F$; $\beta = 90$.

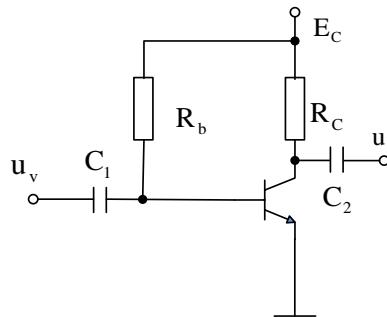
- a) Xác định r_e ;
- b) Xác định trở kháng vào của tầng R_v ;
- c) Xác định trở kháng ra của tầng R_{ra} (với $r_0 = \infty$);
- d) Xác định hệ số khuếch đại điện áp K_u (với $r_0 = \infty$);
- e) Xác định hệ số khuếch đại dòng điện K_i (với $r_0 = \infty$).



Hình 8.36

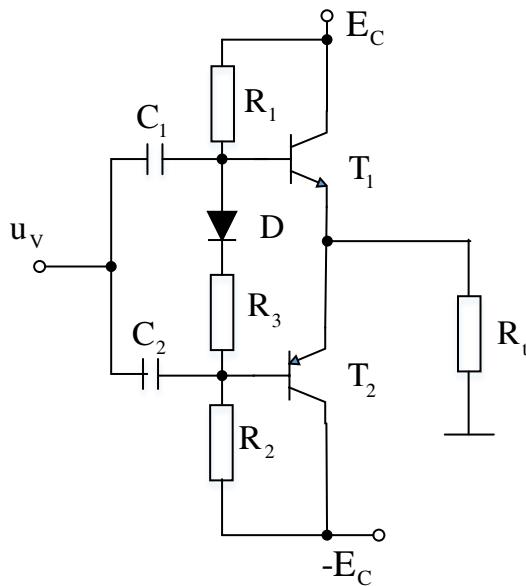
8.9. Cho mạch khuếch đại công suất như Hình 8.37. Biết: $E_C = 12V$; $R_C = 20\Omega$; $R_b = 2k\Omega$; $U_{BE} = 0,5V$; $\beta = 50$. Dòng điện vào có biên độ $i_v = i_B = 5mA$.

- a) Xác định điểm làm việc tĩnh;
- b) Xác định dòng i_C ứng với $i_v = 5mA$.



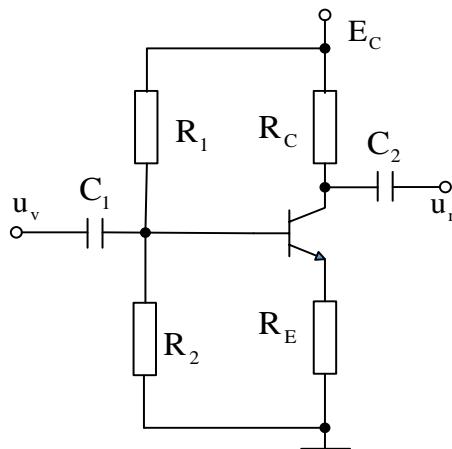
Hình 8.37

8.10. Cho bộ KĐCS dùng transistor lý tưởng làm việc ở chế độ B mắc đắng kéo như Hình 8.38. Cho biết $E_C = 25V$; $R_t = 4\Omega$. Hãy xác định công suất tiêu tán trên mỗi transistor (P_C), công suất ra (P_{ra}), công suất nguồn cung cấp (P_0) và hiệu suất μ . Với u_v hiệu dụng (rms) là 12V.



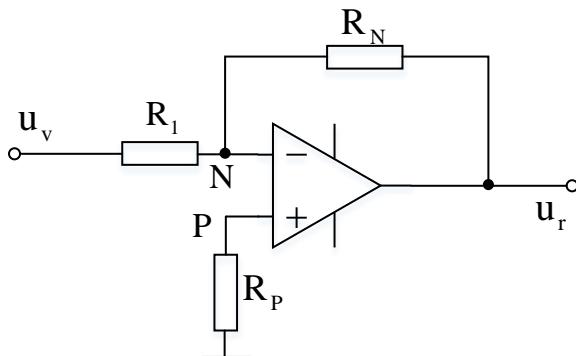
Hình 8.38

8.11. Cho tầng KĐCS làm việc ở chế độ A như Hình 8.39. Hãy xác định dòng tĩnh I_{CO} và công suất tiêu thụ từ nguồn cung cấp P_0 . Biết: $R_1 = 20\Omega$; $R_2 = 1k\Omega$; $R_C = 8\Omega$; $R_E = 0,5\Omega$; $E_C = 24V$.



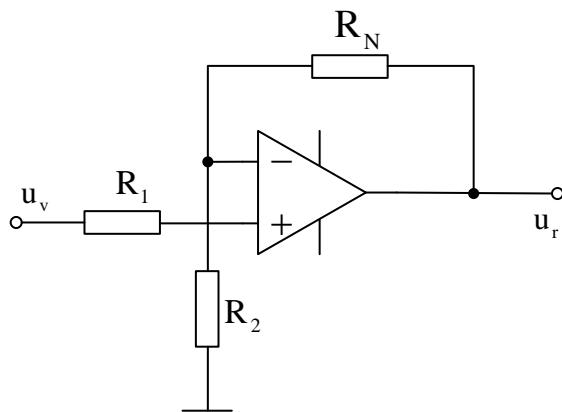
Hình 8.39

8.12. Cho mạch KĐTT Hình 8.40. (Biết khuếch đại thuật toán là lý tưởng). Cho biết: $R_1=10k\Omega$; $R_N=500k\Omega$; $R_P=10k\Omega$; . Viết biểu thức tính u_r . Tính u_r nếu $u_v = 0,2V$.



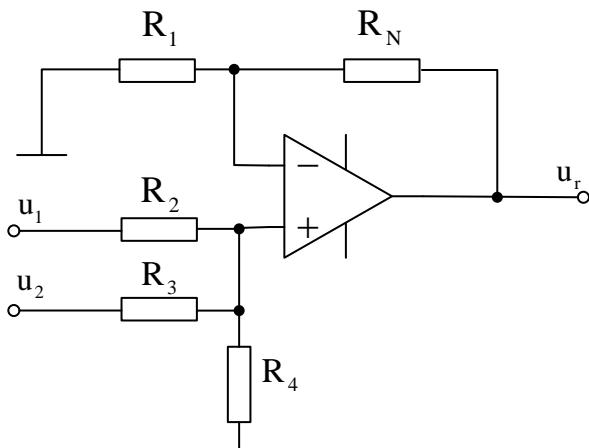
Hình 8.40

8.13. Cho mạch KĐTT như Hình 8.41. (Biết khuếch đại thuật toán là lý tưởng). Cho biết: $R_1=20k\Omega$; $R_N=780k\Omega$; $R_2=20k\Omega$. Viết biểu thức tính u_r . Tính u_r nếu $u_v = 0,3V$.



Hình 8.41

8.14. Cho mạch KĐTT như Hình 8.42. (Biết khuếch đại thuật toán là lý tưởng). Cho biết: $R_1=20k\Omega$; $R_N=500k\Omega$; $R_2=20k\Omega$; $R_3=10k\Omega$; $R_4=30k\Omega$. Tính u_r nếu $u_1=300mV$; $u_2=400mV$.



Hình 8.42

Tài liệu đọc thêm chương 8

1. Phạm Minh Hà. *Kỹ thuật mạch điện tử*, Nxb Khoa học & Kỹ thuật, 2008.
2. Trần Thé San, Tăng Văn Mùi. *Hướng dẫn đọc sơ đồ mạch điện*, Nxb Khoa học & Kỹ thuật, 2015.
3. Charles Platt. *Make: Electronics: Learning Through Discovery*, Maker Media Publisher, Inc; 2 edition, 2015.

Chương 9

KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ SỐ

MỤC TIÊU HỌC TẬP CHƯƠNG 9

Sau khi học xong Chương 9, sinh viên có khả năng:

- Trình bày được nguyên lý hoạt động của các phần tử logic, mạch logic tổ hợp và các trigo;
- Thiết lập được bảng chân lý, viết được biểu thức hàm logic cho một số bài toán cụ thể;
- Trình bày được phương pháp thiết kế các mạch logic tổ hợp;
- Giải thích, phân tích, tính toán được các mạch logic tổ hợp.

9.1. Hệ thống đếm và mã số

9.1.1. Các hệ thống đếm

Hệ thống đếm là phương pháp biểu diễn các số bằng tập hợp các ký hiệu gọi là các chữ số (Digits). Số lượng các chữ số dùng trong một hệ thống đếm gọi là cơ số của hệ đếm.

Hệ đếm thập phân dùng 10 chữ số: 0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Cơ số của hệ đếm là 10, ta gọi là hệ thập phân hoặc hệ 10 (Decimal). Hệ đếm nhị phân chỉ dùng có hai chữ số: 0 và 1, ta còn gọi là hệ đếm 2 (Binary). Hệ đếm bát phân người ta dùng 8 chữ số: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Cơ số của hệ thống đếm là $8 = 2^3$, còn gọi là hệ đếm 8 (Octal). Hệ thập lục phân dùng 16 chữ số, hệ có cơ số đếm là $16 = 2^4$, còn gọi là hệ đếm 16 hoặc hệ 16

(Hexadecimal). Các chữ số dùng trong hệ đếm này là: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

Trong các hệ đếm, một số được viết ra thường có ý nghĩa về số lượng như sau:

$$N = a_{n-1}r^{n-1} + \dots + a_0r^0 + a_{-1}r^{-1} + a_{-2}r^{-2} + \dots \quad (9.1)$$

trong đó: a_n, a_{n-1} là chữ số của các hàng; r^n, r^{n-1} là trọng số của các hàng.

Trong cách biểu diễn con số ở dạng số nhị phân mỗi một hàng người ta còn gọi là một bit, hàng ngoài cùng bên trái là bit có ý nghĩa lớn nhất (MSB: Most Significant Bit), hàng tận cùng bên phải là bit có ý nghĩa nhỏ nhất (LSB: Least Significant Bit).

9.1.2. Chuyển đổi một số từ hệ đếm này sang hệ đếm khác

+ Chuyển từ các hệ đếm khác nhau sang hệ đếm thập phân:

Để chuyển một số viết ở hệ đếm bất kỳ sang hệ đếm thập phân ta viết chúng dưới dạng tổng quát (9.1) với các chữ số và trọng số.

Ví dụ 9.1:

$$(1101)_2 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = (13)_{10}$$

$$(123)_8 = 1 \cdot 8^2 + 2 \cdot 8^1 + 3 \cdot 8^0 = (83)_{10}$$

$$(3FF)_{16} = 3 \cdot 16^2 + 15 \cdot 16^1 + 15 \cdot 16^0 = (1023)_{10}$$

+ Chuyển từ hệ thập phân sang các hệ đếm khác:

Muốn chuyển một số nguyên ở hệ 10 sang hệ khác ta lấy số ở hệ 10 chia liên tiếp cho cơ số của hệ đếm cần chuyển sang cho đến khi kết quả chia bằng 0. Số dư của các lần chia chính là các chữ số của các hàng và chúng được viết theo chiều ngược lại, nghĩa là số dư của lần chia đầu tiên nằm ở hàng có trọng số nhỏ nhất (LSB), số dư của lần chia cuối cùng nằm ở hàng có trọng số lớn nhất (MSB).

Ví dụ 9.2: Chuyển số $(24)_{10}$ sang hệ 2:

Bước	Chia	Kết quả	Dư	
1	$24/2$	12	0	LSB
2	$12/2$	6	0	
3	$6/2$	3	0	
4	$3/2$	1	1	
5	$1/2$	0	1	MSB
Kết quả biểu diễn nhị phân: $(11000)_2$				

Ví dụ 9.3: Chuyển số $(24)_{10}$ sang hệ 8 ta làm như sau:

Bước	Chia	Kết quả	Dư	
1	$24/8$	3	0	LSB
2	$3/8$	0	3	MSB
Kết quả biểu diễn bát phân: $(30)_8$				

Ví dụ 9.4: Chuyển số $(24)_{10}$ sang hệ 16 ta làm như sau:

Bước	Chia	Kết quả	Dư	
1	$24/16$	1	8	LSB
2	$1/16$	0	1	MSB
Kết quả biểu diễn thập lục phân: $(18)_{16}$				

9.1.3. Các phép tính số học trong hệ đếm nhị phân

+ Phép cộng:

Phép tính cộng trong hệ đếm nhị phân được thực hiện theo các quy tắc giống như phép cộng trong hệ thống đếm thập phân, chỉ khác là số nhớ chuyển lên hàng trên khi tổng các bit có cùng trọng số bằng 2.

Quy tắc chung:

$$0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1; 1 + 1 = 1 \quad (9.2)$$

+ Phép nhân:

Quy tắc chung:

$$0 \times 0 = 0; 0 \times 1 = 0; 1 \times 0 = 0; 1 \times 1 = 1 \quad (9.3)$$

9.2. Đại số logic

9.2.1. Các phép tính cơ bản trong đại số logic

Đại số logic còn được gọi là Đại số Boole. Đặc điểm của đại số logic là các hàm và biến chỉ nhận một trong hai giá trị 0 hoặc 1.

a) Các phép tính cơ bản

Phép cộng logic: $y = x_1 + x_2 \quad (9.4)$

Phép nhân logic: $y = x_1 \cdot x_2 \quad (9.5)$

Phép phủ định: $y = \bar{x} \quad (9.6)$

b) Các luật cơ bản

+ Các mệnh đề cơ sở: $x + \bar{x} = 1; x \cdot \bar{x} = 0; x + 1 = 1; x \cdot 1 = x \quad (9.7)$

+ Luật đồng nhất: $x + x = x; x \cdot x = x \quad (9.8)$

+ Luật phủ định của phủ định: $\bar{\bar{x}} = x$

+ Luật kết hợp:

$$x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3; (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) \quad (9.9)$$

+ Luật giao hoán: $x_1 + x_2 = x_2 + x_1; x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1 \quad (9.10)$

+ Luật phân phối: $x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 \quad (9.11)$

+ Định lý DE MORGAN:

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}; \overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \quad (9.12)$$

9.2.2. Phương pháp biểu diễn hàm logic

a) Khái niệm minterm và Maxterm

Một hàm logic có n biến, mỗi biến có thể nhận một trong hai giá trị 0 hoặc 1, như vậy ta sẽ có 2^n tổ hợp biến. Mỗi tổ hợp biến ta có thể

tạo thành một số hạng là tích tất cả các biến có trong cùng một tổ hợp biến. Các số hạng này được gọi là minterm.

Mỗi tổ hợp biến ta cũng có thể tạo thành một số hạng là tổng tất cả các biến có trong cùng một tổ hợp biến các số hạng này được gọi là Maxterm.

Ví dụ 9.5: Bảng biểu diễn minterm và Maxterm

TT	Biến				minterm	Maxterm
	x_0	x_1	x_2	x_3		
0	0	0	0	0	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 = m_0$	$\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 = M_9$
1	0	0	0	1	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 = m_1$	$\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + x_3 = M_8$
2	0	0	1	0	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 = m_2$	$\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + x_2 + \bar{x}_3 = M_7$
3	0	0	1	1	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 = m_3$	$\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + x_2 + x_3 = M_6$
4	0	1	0	0	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 = m_4$	$\bar{x}_0 + x_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 = M_5$
5	0	1	0	1	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 = m_5$	$\bar{x}_0 + x_1 + \bar{x}_2 + x_3 = M_4$
6	0	1	1	0	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 = m_6$	$\bar{x}_0 + x_1 + x_2 + \bar{x}_3 = M_3$
7	0	1	1	1	$\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3 = m_7$	$\bar{x}_0 + x_1 + x_2 + x_3 = M_2$
8	1	0	0	0	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 = m_8$	$x_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 = M_1$
9	1	0	0	1	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 = m_9$	$x_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + x_3 = M_0$

b) Phương pháp biểu diễn hàm logic

+ Bảng chân lý:

Bảng chân lý (hay còn gọi là bảng trạng thái) là bảng miêu tả quan hệ giữa các giá trị của hàm số tương ứng với mọi giá trị có thể của biến số. Trong đó có các cột ghi các giá trị của các biến đầu vào và cột ghi các giá trị của hàm đầu ra tương ứng với từng trường hợp biến.

Ví dụ 9.6: Cho hàm logic: $y = x_1 x_2$. Biểu diễn bảng trạng thái của hàm y

Biến đầu vào		Hàm đầu ra
x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

+ Phương trình logic:

Phương trình logic cho thấy rõ mối quan hệ giữa hàm và biến thông qua các phép toán logic.

Phương trình logic có thể được xác lập theo hai cách:

Cách 1: Lấy tổng các minterm:

Cách 2: Lấy tích của các Maxterm:

Ví dụ 9.7: Một hàm 2 biến có bảng chân lý như sau:

Biến đầu vào		Hàm đầu ra	m	M
x_1	x_2	y		
0	0	0	m_0	M_3
0	1	1	m_1	M_2
1	0	1	m_2	M_1
1	1	0	m_3	M_0

Lấy theo minterm: $y = m_1 + m_2 = \bar{x}_1x_2 + x_1\bar{x}_2$

Lấy theo Maxterm: $y = M_0M_3 = (x_1+x_2)(\bar{x}_1+\bar{x}_2)$

+ Bảng Karnaugh:

Khi một hàm logic có số lượng biến tương đối nhỏ người ta thường biểu diễn chúng dưới dạng bảng gọi là bảng Karnaugh hay bìa Karnaugh. Theo phương pháp này, một hàm n biến được biểu diễn trên một bảng gồm 2^n ô vuông. Chẳng hạn, một hàm 4 biến sẽ được biểu diễn thông qua một bảng Karnaugh có 16 ô (Bảng 9.1). Mỗi ô vuông

tương ứng với một minterm của hàm cần biểu diễn. Lưu ý rằng các tổ hợp biến được xếp theo thứ tự của mã Gray.

Bảng 9.1. Bảng Karnaugh cho hàm 4 biến

$x_2x_3 \backslash x_0x_1$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

Trong các ô của bảng Karnaugh, nếu ứng với tổ hợp biến nào mà hàm có giá trị là 1 thì ô vuông đó được ghi giá trị 1. Còn các tổ hợp biến hàm có giá trị 0 thì bỏ trống (hoặc ghi 0). Bảng Karnaugh có thể được thiết lập từ bảng chân lý hoặc phương trình logic, ngược lại từ bảng Karnaugh ta cũng có thể tìm được phương trình logic đơn giản, rút gọn hàm logic. Dựa vào bảng Karnaugh ta xác định hàm y bằng tổng các minterm ứng với hàm $y = 1$.

c) Phương pháp tối giản hàm logic

Phương pháp rút gọn hàm Boole bằng bảng Karnaugh cần tiến hành theo các bước sau:

Bước 1: Đưa hàm Boole về dạng tổng các minterm có giá trị bằng 1.

Bước 2: Xác lập chính xác bảng Karnaugh các minterm được sắp xếp theo trình tự của mã Gray. Chỉ điền 1 vào các ô ứng với minterm có mặt trong phương trình, các ô ứng với các minterm không có mặt trong phương trình thì để trống.

Bước 3: Vẽ các đường hình chữ nhật hoặc hình vuông bao quanh các ô liền kề có giá trị bằng 1. Khi vẽ cần tuân theo quy tắc sau:

- Các đường bao quanh phải là hình chữ nhật hay hình vuông và trong đó chỉ chứa ô có giá trị bằng 1.

- Số ô chứa trong đường bao phải là 2^n (với $n=1,2,3,\dots$) tức là bằng 2,4,8,...

- Các hàng trên cùng và các hàng cuối cùng cũng được xem là các hàng kế cận. Các cột tận cùng bên trái và các cột tận cùng bên phải cũng được xem là các cột kế cận.

Mỗi đường bao khép kín phải chứa tối đa số ô có giá trị bằng 1. Điều này cũng có nghĩa là tổng các đường bao quanh này càng nhỏ càng tốt. Số hạng tối giản bằng số đường bao khép kín các ô. Số đường này càng ít hàm Boolean càng được rút gọn.

Sau khi đã thực hiện phép ghép dán các ô kế cận để tìm được các phần tử tối giản, dạng rút gọn của hàm Boolean chính là tổng các phần tử tối giản trong đường bao và các phần tử ở ngoài các đường bao không thể ghép được với một ô nào khác nữa.

Ví dụ 9.8: Cho hàm logic

$$y = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 + \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3 + x_0\bar{x}_1x_2x_3 + x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$$

Hãy lập bảng Karnaugh và tối thiểu hàm này bằng phương pháp bảng Karnaugh.

Giải:

x_2x_3	00	01	11	10
x_0x_1	00	1	1	
00				
01				
11				
10			1	1

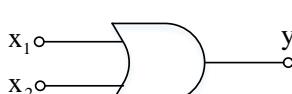
$$y = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2 + x_0\bar{x}_1x_2$$

9.3. Các hàm logic cơ bản

+ *Hàm Hoặc (OR):*

- Hàm logic: $y=x_1+x_2$

- Ký hiệu:



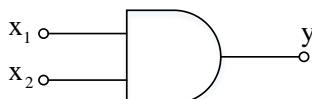
- Bảng chân lý:

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

+ *Hàm Và (AND)*:

- Hàm logic: $y=x_1x_2$

- Ký hiệu:



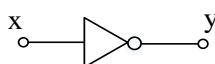
- Bảng chân lý:

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

+ *Hàm phủ định (NOT)*:

- Hàm logic: $y=\bar{x}$

- Ký hiệu:



- Bảng chân lý:

x	y
0	1
1	0

+ *Hàm Không Hoặc (NOR)*:

- Hàm logic: $y=\overline{x_1+x_2}$

- Ký hiệu:



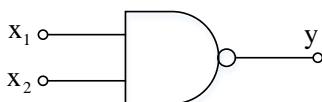
- Bảng chân lý:

x_1	x_2	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

+ *Hàm Không Và (NAND)*:

- Hàm logic: $y = \overline{x_1 x_2}$

- Ký hiệu:



- Bảng chân lý:

x_1	x_2	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

+ *Hàm Hoặc Tuyệt Đối (XOR)*:

Hàm logic: $y = x_1 \oplus x_2 = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2$

- Ký hiệu:



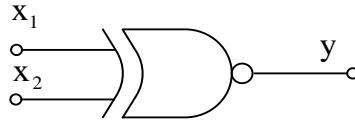
- Bảng chân lý:

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

+ *Hàm Không Hoặc Tuyệt Đối (XNOR):*

Hàm logic: $y = \overline{x_1 \oplus x_2} = x_1 x_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2$

- Ký hiệu:



- Bảng chân lý:

x_1	x_2	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

9.4. Mạch logic tổ hợp

9.4.1. Phương pháp thiết kế các mạch logic tổ hợp

Với một mạch logic tổ hợp bất kỳ, nếu cho trước chức năng ta đều có thể thiết kế và thực hiện được. Các bước tiến hành như sau:

Bước 1. Từ yêu cầu chức năng; lập bảng chân lý của hàm.

Bước 2. Từ bảng chân lý suy ra phương trình logic.

Bước 3. Tối giản hóa hàm logic.

Bước 4. Từ hàm logic thiết kế mạch thực hiện bằng các phần tử cơ bản.

9.4.2. Mạch tính toán số học

+ *Bộ tổng bán phần (Half Adder - HA):*

Mạch bán tổng có hai lối vào x_1 và x_2 , hai lối ra là tổng S (Sum) và lối ra nhớ C_{Out} (Carry - out). Bảng chân lý của bộ bán tổng được mô tả trên Bảng 9.2

Bảng 9.2. Bảng chân lý bộ bán tổng

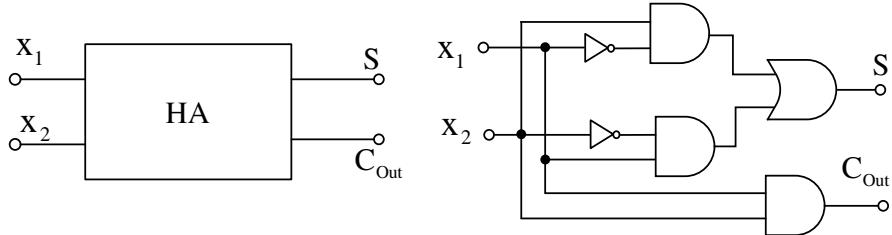
x_1	x_2	S	C_{Out}
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Với Số nhị phân 1 bit ta có;

Hàm logic HA:

$$\begin{cases} S = x_1 \oplus x_2 \\ C_{\text{Out}} = x_1 x_2 \end{cases} \quad (9.13)$$

Sơ đồ khối và sơ đồ mạch logic tổng bán phần được nêu trên Hình 9.1.



Hình 9.1. Sơ đồ khối và sơ đồ logic HA

+ Bộ tổng toàn phần (Full Adder - FA):

Bộ tổng toàn phần có ba lối vào x_1, x_2, C_{In} (Carry - in), hai lối ra là tổng S và lối ra nhớ chuyển sang hàng sau C_{Out} , (Carry - out). Bảng chân lý của bộ tổng toàn phần được mô tả bởi Bảng 9.3

Bảng 9.3. Bảng chân lý bộ tổng toàn phần

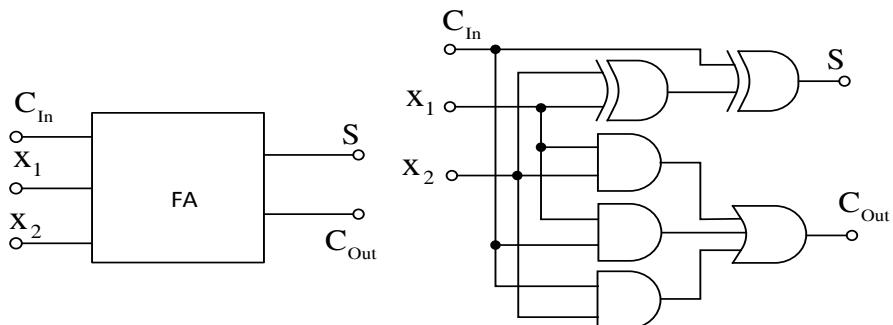
x_1	x_2	C_{In}	S	C_{Out}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Từ bảng chân lý ta rút ra phương trình logic:

Hàm logic của FA:

$$\begin{cases} S = x_1 \oplus x_2 \oplus C_{\text{In}} \\ C_{\text{Out}} = x_1 x_2 + x_1 C_{\text{In}} + x_2 C_{\text{In}} \end{cases} \quad (9.14)$$

Sơ đồ khối và sơ đồ mạch logic tổng toàn phần được nêu trên Hình 9.2.



Hình 9.2. Sơ đồ khối và mạch logic mạch tổng toàn phần

9.4.3. Mạch hiệu

+ *Mạch hiệu bán phần (Half Subtractor - HS):*

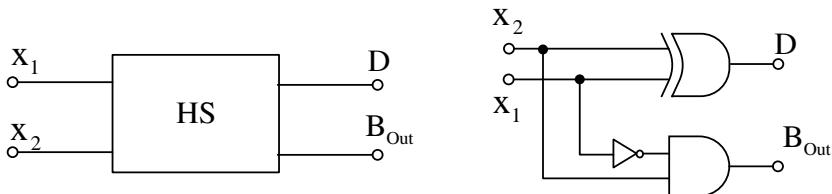
Mạch hiệu bán phần là một mạch logic thực hiện phép trừ 2 số nhị phân 1 bit. Đầu vào là x_1, x_2 , lối ra là hiệu D (Difference) và lối ra B_{out} (Borrow out) được thể hiện Hình 9.3. Bảng chân lý của bộ hiệu bán phần được mô tả bởi Bảng 9.4

Bảng 9.4. Bảng chân lý hiệu bán phần

Đầu vào		Đầu ra	
x_1	x_2	D	B_{out}
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Từ bảng chân lý ta có hàm logic HS:

$$\begin{cases} D = x_1 \oplus x_2 \\ B_{out} = \bar{x}_1 x_2 \end{cases} \quad (9.15)$$



Hình 9.3. Sơ đồ khối và mạch logic HS

+ *Mạch hiệu toàn phần (Full Subtractor - FS):*

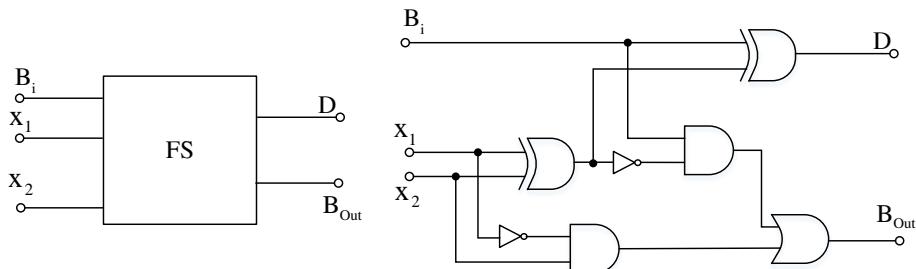
Mạch hiệu toàn phần có 3 lối vào \$x_1, x_2, B_i\$, hai lối ra là hiệu \$D\$ và lối ra \$B_{out}\$. Bảng chân lý của bộ hiệu toàn phần được mô tả bởi Bảng 9.5.

Bảng 9.5. Bảng chân lý hiệu toàn phần

Đầu vào			Đầu ra	
\$x_1\$	\$x_2\$	\$B_i\$	\$D\$	\$B_{out}\$
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

Từ bảng chân lý ta có hàm logic HS:

$$\begin{cases} D = x_1 \oplus x_2 \oplus B_i \\ B_{out} = \bar{x}_1 x_2 + \bar{x}_1 B_i + x_2 B_i \end{cases} \quad (9.16)$$



Hình 9.4. Sơ đồ khối và mạch logic FS

9.4.4. Mạch so sánh

+ Mạch so sánh bằng nhau 1 bit:

Có 2 số x_1 và x_2 là 2 số nhị phân 1 bit

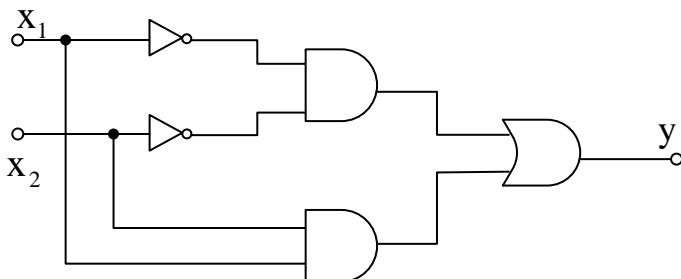
$$\begin{cases} x_1 = x_2 \Rightarrow y = 1 \\ x_1 \neq x_2 \Rightarrow y = 0 \end{cases} \quad (9.17)$$

Từ công thức (9.17) ta lập được bảng chân lý như Bảng 9.6.

Bảng 9.6. Bảng chân lý của XNOR

x_1	x_2	y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Từ bảng chân lý ta suy ra hàm logic: $y = \bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2$



Hình 9.5. Mạch so sánh 2 số x_1 và x_2

+ Mạch so sánh bằng nhau hai số nhị phân 4 bit:

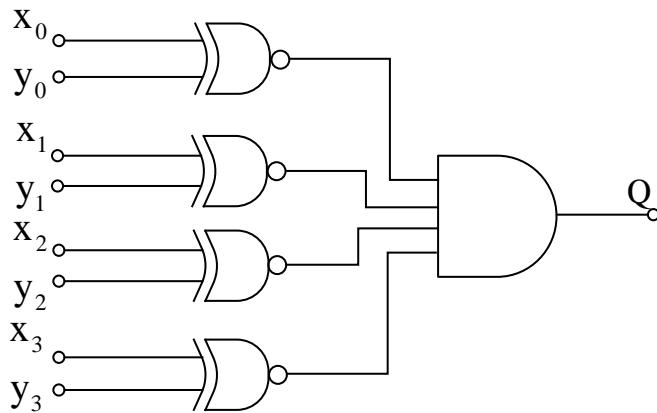
Ta có 2 số nhị phân 4 bit: $X = x_3x_2x_1x_0$ và $Y = y_3y_2y_1y_0$

Khi 2 số bằng nhau lối ra $Q = 1$.

Khi 2 số khác nhau lối ra $Q = 0$.

Khi $X = Y$: lối ra của các XNOR đều bằng 1, 4 lối vào mạch AND đều là 1, vậy lối ra $Q = 1$.

Khi có 1 bit tương ứng của X và Y khác nhau sẽ có mức 0 đưa vào mạch AND và lối ra $Q = 0$.



Hình 9.6. Mạch so sánh 2 số nhị phân 4 bit

+ Bộ so sánh 1 bit:

Bộ so sánh là mạch điện thực hiện chức năng logic so sánh 2 số

Cho 2 bit x_1 và x_2 nếu $x_1 > x_2$ lối ra $y_2 = 1, y_1 = 0$

$x_1 < x_2$ lối ra $y_2 = 0, y_1 = 1$

$x_1 = x_2$ lối ra $y_2 = y_1 = 0, y = 1$

Từ đây ta lập được bảng chân lý như Bảng 9.7.

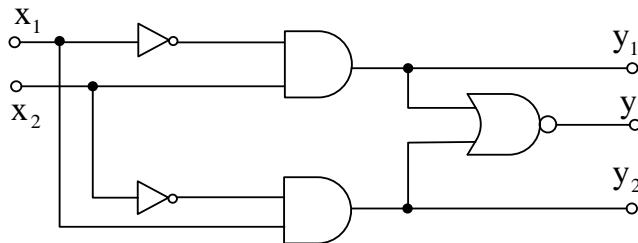
Bảng 9.7. Bảng chân lý của bộ so sánh 1 bit

x_1	x_2	y_2	y_1	y	Kết quả
0	0	0	0	1	$x_1 = x_2$
0	1	0	1	0	$x_1 < x_2$
1	0	1	0	0	$x_1 > x_2$
1	1	0	0	1	$x_1 = x_2$

Từ bảng chân lý ta có hàm logic:

$$y_2 = x_1 \bar{x}_2; y_1 = \bar{x}_1 x_2; y = \overline{\bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2}$$

Các hàm logic trên tương ứng với sơ đồ Hình 9.7.



Hình 9.7. Sơ đồ logic mạch so sánh 1 bit

9.4.5. Hợp kênh MUX (multiplexer)

Bộ hợp kênh hay còn gọi là bộ ghép kênh là một mạch logic tổ hợp làm chức năng chọn lọc, truyền dữ liệu từ nhiều lối vào ghép về một lối ra. Các lối vào của bộ hợp kênh gồm hai loại: Các lối vào dữ liệu và các lối vào điều khiển chọn kênh. Nếu số lối vào dữ liệu là n thì số lối vào điều khiển tối thiểu $s = \log_2 n$.

Tùy theo tổ hợp các giá trị ở lối vào điều khiển chọn kênh mà lối ra được nối với một lối vào dữ liệu tương ứng. Để người dùng không bị nhầm lẫn trong việc xác định địa chỉ kênh, các nhà sản xuất vi mạch đã dùng các chỉ số kênh $0, 1, 2, \dots$ trùng với số nhị phân của tổ hợp lối vào điều khiển. Ví dụ trường hợp bộ hợp kênh có 4 lối vào dữ liệu kí hiệu là D_0, D_1, D_2, D_3 ; hai lối vào điều khiển là a_1, a_2 . Lối ra được kí hiệu là Y .

Sơ đồ khái mô tả chức năng hoạt động của bộ hợp kênh 4 lối vào dữ liệu, một lối ra dữ liệu được trình bày trên Hình 9.8a.

Bảng chân lý của bộ hợp kênh 4 đường được trình bày trên Bảng 9.8.

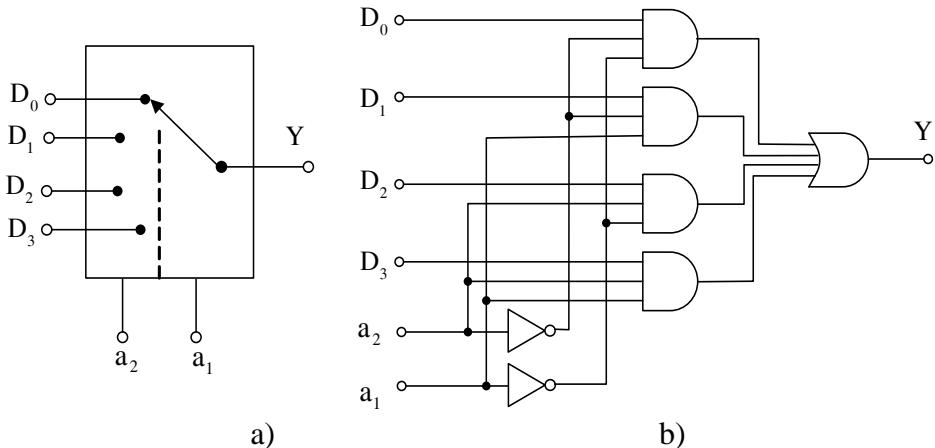
Bảng 9.8. Bảng chân lý bộ hợp kênh 4 lối vào và 1 lối ra dữ liệu

Lối vào dữ liệu	a_2	a_1	Y
D_0	0	0	D_0
D_1	0	1	D_1
D_2	1	0	D_2
D_3	1	1	D_3

Từ bảng chân lý ta có thể tìm được phương trình logic của bộ hợp kênh này:

$$Y = \bar{a}_1 \bar{a}_2 D_0 + a_1 \bar{a}_2 D_1 + \bar{a}_1 a_2 D_2 + a_1 a_2 D_3 \quad (9.18)$$

Sơ đồ logic bộ hợp kênh trình bày trên hình 9.8b



Hình 9.8. a) Sơ đồ khối; b) Sơ đồ logic của bộ hợp kênh 4 đường vào dữ liệu

9.4.6. Bộ phân kênh DEMUX (demultiplexer)

Bộ phân kênh là một mạch logic tổ hợp có một lối vào và nhiều lối ra dữ liệu. Khác với bộ hợp kênh, bộ phân kênh làm chức năng chọn lọc, truyền dữ liệu từ một lối vào dữ liệu và đưa đến các lối ra riêng biệt. Cũng giống bộ hợp kênh, bộ phân kênh cũng có các lối vào điều khiển để chọn lối ra. Lối vào được nối với lối ra nào là tùy theo tổ hợp các giá trị của lối vào điều khiển.

Sơ đồ khái mô tả chức năng hoạt động của bộ phân kênh 4 lối ra được trình bày trên Hình 9.9a.

Từ sơ đồ khái trên ta thấy bộ phân kênh này có 2 đầu vào điều khiển là a_1, a_2 , một lối vào dữ liệu D và 4 lối ra dữ liệu được ký hiệu là y_0, y_1, y_2, y_3 . Ta có thể lập bảng chân lý biểu diễn sự hoạt động của bộ phân kênh được thể hiện trên Bảng 9.9.

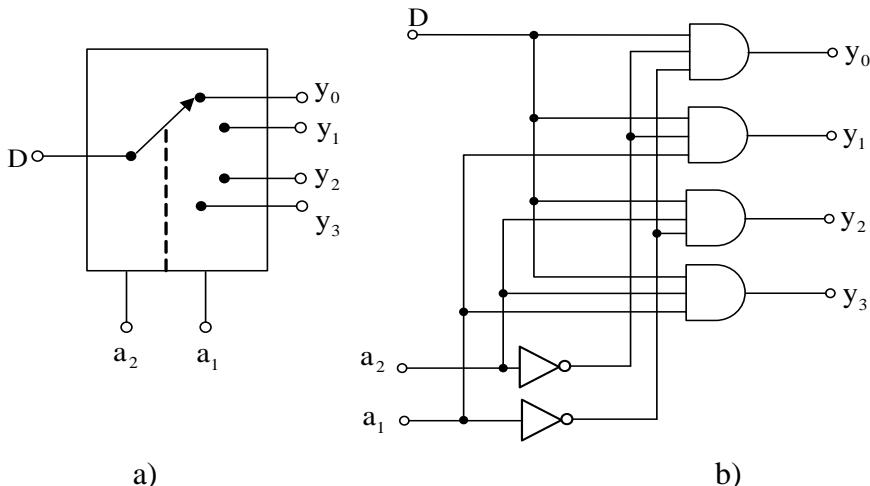
Bảng 9.9. Bảng chân lý bộ phân kênh 1 lối vào và 4 lối ra

a_2	a_1	y_0	y_1	y_2	y_3
0	0	D	0	0	0
0	1	0	D	0	0
1	0	0	0	D	0
1	1	0	0	0	D

Từ Bảng 9.9 ta có thể thiết lập các phương trình logic của bộ phân kênh, Ta có phương trình logic của bộ phân kênh:

$$y_0 = \bar{a}_1 \bar{a}_2 D; y_1 = a_1 \bar{a}_2 D; y_2 = \bar{a}_1 a_2 D; y_3 = a_1 a_2 D \quad (9.19)$$

Từ các phương trình logic trên ta xây dựng được sơ đồ logic của bộ phân kênh, được thể hiện trên Hình 9.9b.



Hình 9.9. Sơ đồ khối a) và sơ đồ logic (b) bộ phân kênh 1 lối vào, 4 lối ra

9.4.7. Mạch mã hóa và giải mã

a) Mạch mã hóa (Encoder)

Máy tính điện tử chỉ tiếp nhận thông tin dưới dạng nhị phân, vì vậy các số liệu, các lệnh cho máy tính thực hiện đều phải được mã hóa dưới dạng nhị phân, mỗi chữ số thập phân đều được biểu diễn bằng một từ mã nhị phân 4 bit.

+ Sơ đồ biến đổi mã nhị phân sang mã bù nhị phân:

Theo định nghĩa, số bù nhị phân B của số nhị phân A là một số mà khi cộng với số nhị phân A thì cho ta một số mà tất cả các bit bằng 0 và

một số nhớ bằng 1 ở bit có ý nghĩa lớn nhất. Quy tắc tìm số bù nhị phân như sau:

Bước 1. Viết số đó dưới dạng nhị phân.

Bước 2. Đảo các bit của từ nhị phân.

Bước 3. Cộng thêm 1 vào hàng có trọng số bé nhất.

Dựa vào quy tắc trên ta có thể lập được bảng chân lý của bộ biến đổi mã có các đầu vào là a_0, a_1, a_2, a_3 là mã nhị phân 4 bit, bốn đầu ra là 4 bit mã bù nhị phân b_0, b_1, b_2, b_3

Từ Bảng 9.10 ta tìm được các phương trình logic biểu diễn phép biến đổi mã nhị phân 4 bit sang mã bù nhị phân 4 bit. Hình 9.10 là sơ đồ logic bộ biến đổi mã nhị phân 4 bit sang mã bù nhị phân 4 bit.

Bảng 9.10. Bảng chân lý bộ biến đổi mã nhị phân sang mã bù nhị phân

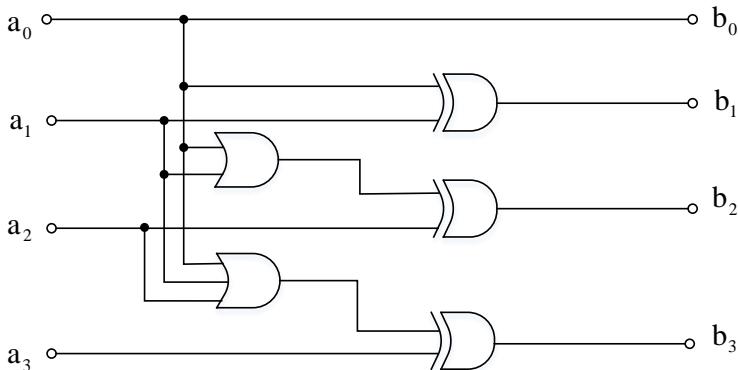
Số thập phân	Mã nhị phân				Mã bù nhị phân			
	a_3	a_2	a_1	a_0	b_3	b_2	b_1	b_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1
2	0	0	1	0	1	1	1	0
3	0	0	1	1	1	1	0	1
4	0	1	0	0	1	1	0	0
5	0	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	0
7	0	1	1	1	1	0	0	1
8	1	0	0	0	1	0	0	0
9	1	0	0	1	0	1	1	1
10	1	0	1	0	0	1	1	0
11	1	0	1	1	0	1	0	1
12	1	1	0	0	0	1	0	0
13	1	1	0	1	0	0	1	1
14	1	1	1	0	0	0	1	0
15	1	1	1	1	0	0	0	1

Phương trình logic bộ biến đổi mã:

$$b_0 = a_0; b_1 = a_0 \oplus a_1; b_2 = (a_0 + a_1) \oplus a_2; b_3 = (a_0 + a_1 + a_2) \oplus a_3 \quad (9.20)$$

Từ bảng chân lý vận dụng đại số Boole ta có thể tìm được các phương trình logic biểu diễn phép biến đổi mã nhị phân sang mã bù nhị phân.

Từ hệ phương trình này ta xây dựng được sơ đồ logic của hàm biến đổi dùng các phần tử hoặc tuyệt đối và hoặc.



Hình 9.10. Sơ đồ logic bộ biến đổi mã nhị phân sang mã bù nhị phân

+ Sơ đồ biến đổi mã nhị phân sang mã Gray:

Bảng 9.11. Bảng chân lý bộ biến đổi mã nhị phân sang mã Gray

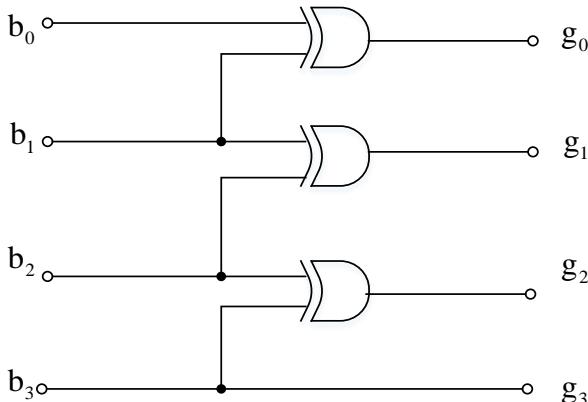
TP	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀	g ₃	g ₂	g ₁	g ₀
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	0	1	1	1
6	0	1	1	0	0	1	0	1
7	0	1	1	1	0	1	0	0
8	1	0	0	0	1	1	0	0
9	1	0	0	1	1	1	0	1
10	1	0	1	0	1	1	1	1

TP	b_3	b_2	b_1	b_0	g_3	g_2	g_1	g_0
11	1	0	1	1	1	1	1	0
12	1	1	0	0	1	0	1	0
13	1	1	0	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1	0	0	1
15	1	1	1	1	1	0	0	0

Từ bảng chân lý ta có phương trình logic biến đổi từ mã nhị phân sang mã Gray:

$$g_0 = b_0 \oplus b_1; g_1 = b_1 \oplus b_2; g_2 = b_2 \oplus b_3; g_3 = b_3 \quad (9.21)$$

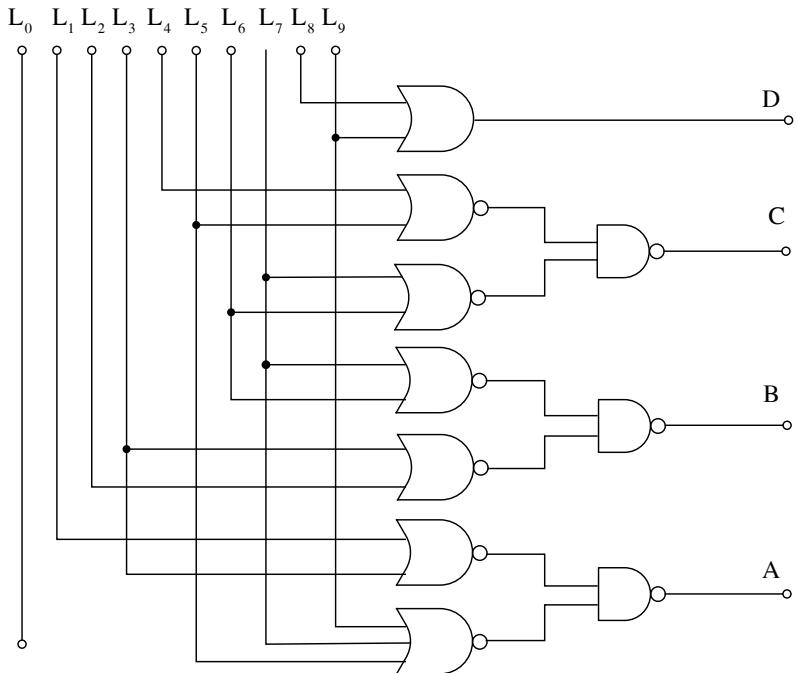
Từ phương trình logic ta có sơ đồ logic biến đổi từ mã nhị phân sang mã Gray:



Hình 9.11. Sơ đồ logic bộ biến đổi mã nhị phân sang mã Gray

+ Sơ đồ biến đổi mã thập phân sang mã nhị phân BCD:

Bộ chuyển đổi mã thập phân sang mã BCD có 10 lối vào L_0 đến L_9 ứng với các số từ 0 đến 9 của hệ 10 và lối ra A, B, C, D ứng với một từ nhị phân 4 bit mã BCD.



Hình 9.12. Sơ đồ logic bộ biến đổi mã nhị phân sang BCD

Bảng 9.12. Bảng chân lý của phép biến đổi thập phân sang BCD

N	L ₉	L ₈	L ₇	L ₆	L ₅	L ₄	L ₃	L ₂	L ₁	L ₀	D	C	B	A	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1

Từ bảng chân lý ta có hệ phương trình:

$$A = L_1 + L_3 + L_5 + L_7 + L_9 = \overline{(L_1 + L_3)} \cdot \overline{(L_5 + L_7 + L_9)}$$

$$B = L_2 + L_3 + L_6 + L_7 = \overline{\overline{(L_2 + L_3)}} \cdot \overline{\overline{(L_6 + L_7)}} \quad (9.22)$$

$$C = L_4 + L_5 + L_6 + L_7 = \overline{\overline{(L_4 + L_5)}} \cdot \overline{\overline{(L_6 + L_7)}}$$

$$D = L_8 + L_9$$

Từ hệ phương trình trên, ta dễ dàng thiết kế bộ biến đổi mã thập phân sang mã BCD bằng các phần tử hoặc có nhiều lối vào. Tuy nhiên, trong thực tế, ta thường gấp các phần tử logic cơ bản có hai lối vào, do đó ở đây ta sẽ thiết kế bộ biến đổi mã từ các phần tử logic 2 và 3 lối vào (Hình 9.12).

b) Mạch giải mã (Decoder)

Quá trình ngược với mã hoá được gọi là giải mã. Nghĩa là từ một tổ hợp giá trị của nhóm mã n chữ số hệ 2 ta tìm lại được 1 trong N ký hiệu hoặc số tương ứng với tổ hợp đó. Về thực chất, các bộ giải mã cũng có các bộ biến đổi mã, chúng biến đổi từ các mã nhị phân, BCD sang mã thập phân hay mã 7 đoạn.

Sau đây ta xét bộ giải mã BCD sang thập phân. Bộ giải mã BCD sang thập phân có các lối vào là A, B, C, D và các lối ra là L₀ đến L₉ biểu diễn các số thập phân từ 0, 1... 9. Bảng chân lý cho trên Bảng 9.13.

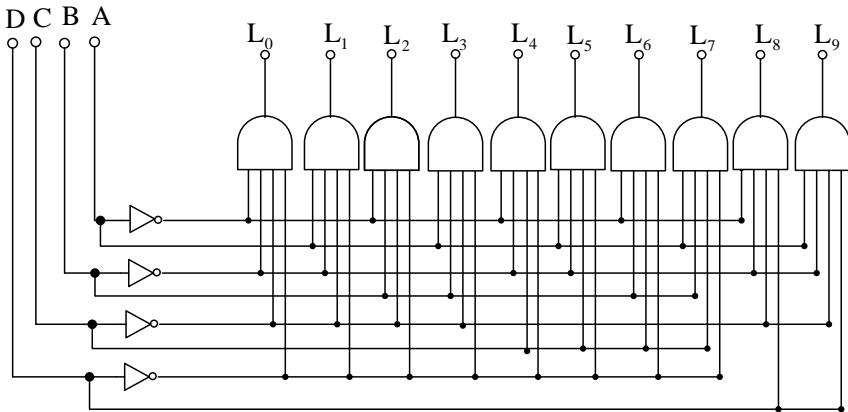
Bảng 9.13. Bảng chân lý bộ giải mã BCD sang mã thập phân

D	C	B	A	L ₀	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Từ bảng chân lý ta có thể suy ra phương trình logic của bộ giải mã: Từ hàm logic, ta có thể xây dựng sơ đồ giải mã.

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}; \quad L_1 = A\bar{B}\bar{C}\bar{D}; \quad L_2 = \bar{A}\bar{B}C\bar{D}; \quad L_3 = AB\bar{C}\bar{D}; \\
 L_4 &= \bar{A}\bar{B}CD; \quad L_5 = A\bar{B}CD; \quad L_6 = \bar{ABC}\bar{D}; \\
 L_7 &= ABC\bar{D}; \quad L_8 = \bar{AB}\bar{C}D; \quad L_9 = A\bar{B}\bar{C}D
 \end{aligned} \tag{9.23}$$

Sơ đồ bố trí mạch như trên Hình 9.13.



Hình 9.13. Sơ đồ logic bộ biến đổi mã BCD sang thập phân

9.5. Trigô

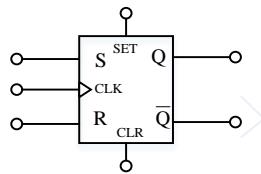
Trigô FF (Flip - Flop) là một phần tử nhớ có 2 trạng thái cân bằng ổn định tương ứng với 2 mức logic 0 và 1. Dưới tác dụng của các tín hiệu điều khiển ở lối vào, trigô có thể chuyển về một trong hai trạng thái cân bằng và giữ nguyên trạng thái đó chừng nào chưa có tín hiệu điều khiển làm thay đổi trạng thái của nó.

Trạng thái tiếp theo của trigô phụ thuộc không những vào tín hiệu ở lối vào mà còn phụ thuộc vào cả trạng thái hiện tại của nó đang chạy. Trigô được tạo thành từ các phần tử logic cơ bản. Có nhiều loại trigô, trong mục này chúng ta chỉ nghiên cứu một số loại trigô điển hình được dùng nhiều trong kỹ thuật số, đó là các trigô RS, trigô JK và trigô D.

9.5.1. Trigô RS

Trigô RS là một phần tử nhớ cơ bản có hai trạng thái cân bằng bền nó có 2 lối vào R, S và 2 lối ra Q và \bar{Q} . Hai lối ra này bao giờ cũng ở trong trạng thái ngược nhau.

Ký hiệu logic của nó được trình bày trên Hình 9.14



Hình 9.14. Ký hiệu trigor RS

Hoạt động của trigor tuân theo bảng chân lý cho trên Bảng 9.14. Trong đó lối vào S (Set) là lối vào đặt, R (Reset) là lối vào xóa. Chỉ số n chỉ trạng thái khởi đầu, n+1 chỉ trạng thái lúc kết thúc.

Bảng 9.14. Bảng chân lý trigor RS

R_n	S_n	Q_{n+1}	Chế độ hoạt động
0	0	Q_n	Nhớ
0	1	1	Xác lập
1	0	0	Xóa
1	1	Không cho phép	

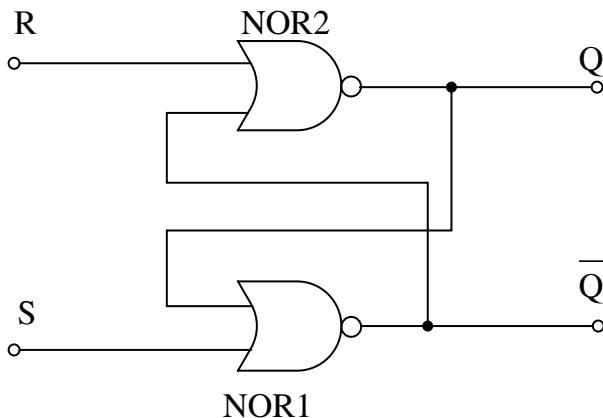
Từ bảng chân lý ta có phương trình logic

$$Q_{n+1} = S_n + \bar{R}_n Q_n \quad (9.24)$$

Phương trình trên cho ta thấy: lối ra không những là hàm số của lối vào mà còn phụ thuộc vào trạng thái trước đó của lối ra.

Từ hàm logic trên, ta xây dựng sơ đồ logic của trigor RS từ mạch NOR, lối vào tác động ở mức cao. Để tránh trường hợp $S=R=1$, xung đưa vào để đặt và xóa là các xung kim dương.

Chúng ta khảo sát hoạt động của trigor RS ứng với các tổ hợp biến khác nhau nêu trong Bảng 9.14. Sơ đồ logic được trình bày trên Hình 9.15.



Hình 9.15. Sơ đồ logic trigorf RS

Từ sơ đồ logic hình 9.15 chúng ta thấy:

+ Khi $S = 0, R = 0$: Lối ra vẫn giữ trạng thái cũ $Q_n; \bar{Q}_n$: Trạng thái nhớ.

Nếu trạng thái ban đầu $Q_n = 0$, cả hai lối vào của cửa logic NOR1 đều bằng 0 nên lối ra của nó là $\bar{Q} = 1$ và lối ra của NOR2 là $Q_{n+1} = 0$ trùng với trạng thái ban đầu trước đó. Tức là nó đã nhớ trạng thái $Q = 0$.

Nếu trạng thái ban đầu $Q_n = 1$ thì lối ra $\bar{Q} = 0$ và lối ra của NOR2 là $Q_{n+1} = 1$ trùng với trạng thái ban đầu trước đó. Tức là nó đã nhớ trạng thái $Q = 1$.

+ Khi $S = 1, R = 0$: Lối ra $Q_{n+1} = 1$: Trạng thái xác lập.

Lúc khởi đầu $S_n = 1, R_n = 0$ lối ra NOR1 là $\bar{Q} = 0$, cả hai lối vào của NOR2 đều bằng 0 nên lối ra Q của nó ở trạng thái kết thúc $Q_{n+1} = 1$: trạng thái xác lập.

+ Khi $S = 0, R = 1$: Lối ra $Q_{n+1} = 0$: Trạng thái xoá.

Nếu lúc khởi đầu $S_n = 0; R_n = 1$ mạch logic NOR2 có một lối vào $R_n = 1$, nên lối ra của nó $Q = 0$, cả hai lối vào của NOR1 đều bằng 0

nên lối ra $\bar{Q} = 1$, vậy trạng thái kết thúc của trigor $Q_{n+1} = 0$ ứng với trạng thái xoá của trigor.

+ Trạng thái cấm.

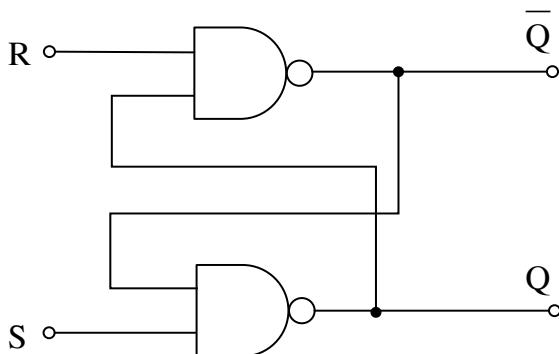
Nếu lúc khởi đầu $S_n = 1, R_n = 1$, cả hai lối ra của trigor Q và \bar{Q} đều bằng 0,

Ta cũng có thể xây dựng trigor RS không đồng bộ tác động bằng mức logic thấp từ hai phần tử logic NAND, ký hiệu logic được nêu trên Hình 9.16. Bảng 9.15 Miêu tả hoạt động của trigor này.

Bảng 9.15. Bảng chân lý của trigor RS lối vào tác động thấp.

\bar{R}_n	\bar{S}_n	Q_{n+1}	Chế độ hoạt động
1	1	Q_n	Nhớ
0	1	0	Xác lập
1	0	1	Xoá
0	0	Không cho phép	Cấm dùng

Chỉ số n trong bảng chân lý 9.14 chỉ trạng thái khởi đầu, n+1 chỉ trạng thái lúc kết thúc. Sơ đồ logic được cho trên Hình 9.16.

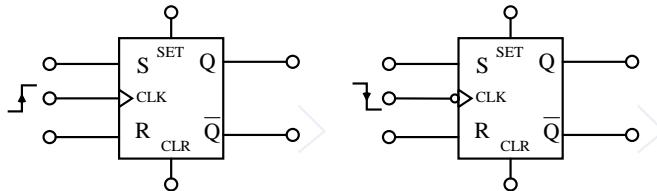


Hình 9.16. Sơ đồ logic trigor RS sử dụng cổng NAND

Hoạt động của sơ đồ Hình 9.16 cũng tương tự như sơ đồ Hình 9.15.

Trigor RS nhạy cảm với tác động của đầu vào R và S, trạng thái của Trigor sẽ không ổn định khi lối vào chịu ảnh hưởng của nhiễu. Để khắc

phục nhược điểm trên người ta dùng trigơ RST có thêm một đầu vào xung nhịp CLOCK điều khiển chung cho cả hai lối vào, chỉ khi nào có tác động của xung nhịp này thì trigơ mới chuyển trạng thái theo tác động của R hay S. Ký hiệu của trigơ RST cho trên Hình 9.17. Bảng 9.16 là bảng chân lý của trigơ RST.



Hình 9.17. Sơ đồ ký hiệu trigơ RST

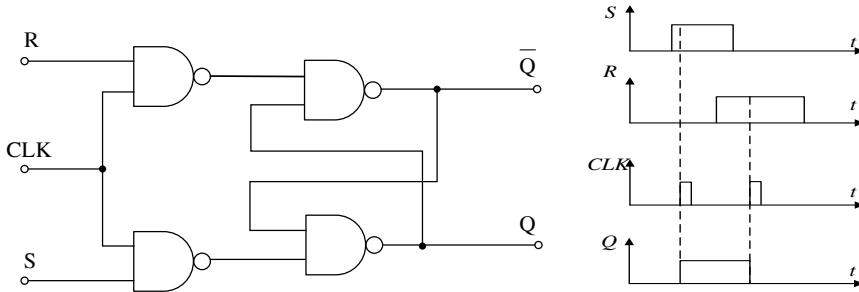
Trên bảng chân lý của trigơ RST: t_n chỉ thời điểm trước khi có xung nhịp tác dụng, t_{n+1} là thời điểm sau khi có một xung nhịp tác dụng. Chỉ số n chỉ trạng thái trước khi có xung nhịp tác dụng $n+1$ chỉ trạng thái sau khi có xung nhịp tác dụng.

Bảng 9.16. Bảng chân lý của trigơ RST.

t_n		t_{n+1}
S_n	R_n	Q_{n+1}
0	0	Q_n
1	0	1
0	1	0
1	1	Không cho phép

Lối vào xung nhịp (Clock Pulse được ký hiệu là CLK) điều khiển chung cho cả 2 lối vào S và R. Các giá trị lối vào R và S chỉ làm cho trigơ hoạt động khi có xung nhịp CLK tác dụng.

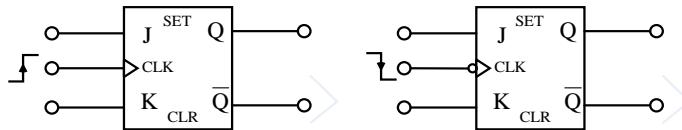
Sự chuyển trạng thái của trigơ RST và tất cả các loại trigơ đồng bộ khác xảy ra có thể vào thời điểm sau khi xung nhịp đã chuyển từ mức logic 0 lên mức logic 1 hoặc sau khi xung nhịp đã chuyển từ mức logic 1 về mức logic 0. Sơ đồ logic của trigơ RST và giản đồ xung diễn tả trạng thái hoạt động của trigơ được trình bày trên Hình 9.18.



Hình 9.18. Sơ đồ logic và giản đồ xung

9.5.2. Trigơ JK

Trên Hình 9.19 là sơ đồ ký hiệu của trigơ JK. Trigơ JK tương tự trigơ RS: J tương ứng với S, K tương ứng với R. Nhưng khác với trigơ RS, trigơ JK không có trạng thái cầm mà khi $J = K = 1$ lối ra đổi trạng thái ngược lại với trạng thái cũ trước đó, t_n thời điểm trước khi có xung nhịp t_{n+1} thời điểm sau khi có một xung nhịp tác dụng vào trigơ. Chỉ số n chỉ trạng thái của trigơ trước khi có xung nhịp tác dụng $n+1$ trạng thái sau khi có một xung nhịp tác dụng vào trigơ.



Hình 9.19. Sơ đồ ký hiệu trigơ JK

Bảng 9.17. Bảng chân lý của trigơ JK.

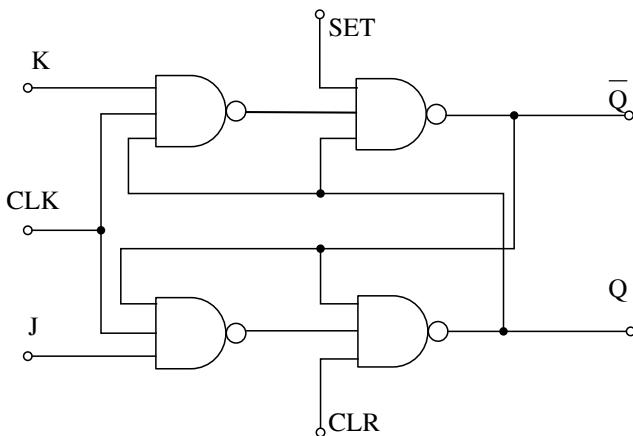
t_n		t_{n+1}
J_n	K_n	Q_{n+1}
0	0	Q_n
1	0	1
0	1	0
1	1	\bar{Q}_n

Phương trình logic của trigơ JK: $Q_{n+1} = J_n \bar{Q}_n + \bar{K}_n Q_n$

Sơ đồ logic của trigơ JK cho trên Hình 9.20.

Các trigơ JK trong thực tế ngoài các lối vào JK hoạt động đồng bộ với lối vào xung nhịp CLK, trigơ còn có lối vào không đồng bộ là lối vào xóa CLR và lối vào đặt Set. Hai lối vào này hoạt động độc lập không phụ thuộc vào xung nhịp và các lối vào J, K. Trạng thái ra của trigơ JK phụ thuộc vào các mức điện áp ở lối vào không đồng bộ này.

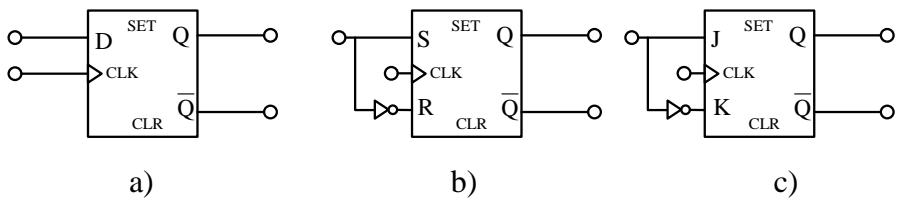
Khi J, K để ở mức cao, cứ mỗi lần có xung nhịp tác dụng trigơ lại chuyển trạng thái một lần, sau hai nhịp tác dụng trigơ lại chuyển về trạng thái cũ, người ta dùng trường hợp này để tạo thành bộ đếm nhị phân từ các trigơ JK.



Hình 9.20. Sơ đồ logic trigơ JK

9.5.3. Trigơ D

Trigơ D là loại trigơ được dùng nhiều trong các bộ ghi lưu trữ các bit thông tin nhị phân. Ký hiệu logic của trigơ D được cho trên Hình 9.21. Nó có một lối vào dữ liệu được ký hiệu bằng chữ D hoạt động đồng bộ với lối vào xung nhịp CLK, trigơ D hoạt động theo nguyên tắc sau: số liệu ở lối vào D sẽ được chuyển đến lối ra Q của trigơ sau một xung nhịp, tức là số liệu được chuyển đến lối ra chậm nhất một khoảng thời gian bằng độ rộng của xung nhịp. Chính vì vậy mà nó có tên là trigơ Delay (D). Trigơ D có thể xây dựng từ trigơ RS hoặc trigơ JK khi ta mắc như Hình 9.21b,c.



Hình 9.21. Sơ đồ ký hiệu trigor D

Bảng chân lý trigor D được thể hiện trên Bảng 9.18.

Bảng 9.18. Bảng chân lý của trigor D

t_n		t_{n+1}
CLK	D_n	Q_{n+1}
0	x	Q_n
1	0	0
1	1	1

Tóm tắt nội dung chương 9

1. Hệ thống đếm là phương pháp biểu diễn các số bằng tập hợp các ký hiệu gọi là các chữ số. Số lượng các chữ số dùng trong một hệ thống đếm gọi là cơ sở của hệ đếm.

2. Phép cộng logic

$$y = x_1 + x_2$$

3. Phép nhân logic

$$y = x_1 \cdot x_2$$

4. Phép phủ định

$$y = \bar{x}$$

5. Các mệnh đề cơ sở:

$$x + \bar{x} = 1; x \cdot \bar{x} = 0; x + 1 = 1; x \cdot 1 = x$$

6. Định luật hấp thụ:

$$x + x = x; x \cdot x = x$$

7. Định luật phủ định của phủ định

$$\bar{\bar{x}} = x$$

8. Định luật kết hợp:

$$x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3; (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3)$$

9. Định luật giao hoán:

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1; x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$$

10. Định luật phân phối:

$$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3$$

11. Định lý DE MORGAN:

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}; \overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$$

12. Hàm Hoặc (OR)

$$y = x_1 + x_2$$

13. Hàm Và (AND)

$$y = x_1 \cdot x_2$$

14. Hàm Đảo (NOT)

$$y = \bar{x}$$

15. Hàm Không Hoặc (NOR)

$$y = \overline{x_1 + x_2}$$

16. Hàm Không Và (NAND)

$$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$$

17. Hàm Hoặc Tuyệt Đôi (XOR)

$$y = x_1 \oplus x_2 = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2$$

18. Hàm Không Hoặc Tuyệt Đôi (XNOR)

$$y = \overline{x_1 \oplus x_2} = x_1 x_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2$$

19. Hàm logic bộ tổng bán phần (HA)

$$\begin{cases} S = x_1 \oplus x_2 \\ C_{\text{Out}} = x_1 x_2 \end{cases}$$

20. Hàm logic bộ tổng toàn phần (FA)

$$\begin{cases} S = x_1 \oplus x_2 \oplus C_{\text{In}} \\ C_{\text{Out}} = x_1 x_2 + x_1 C_{\text{In}} + x_2 C_{\text{In}} \end{cases}$$

21. Hàm logic mạch hiệu bán phần (HS)

$$\begin{cases} D = x_1 \oplus x_2 \\ B_{\text{Out}} = \bar{x}_1 x_2 \end{cases}$$

22. Hàm logic mạch hiệu toàn phần (FS)

$$\begin{cases} D = x_1 \oplus x_2 \oplus B_i \\ B_{\text{Out}} = \bar{x}_1 x_2 + \bar{x}_1 B_i + x_2 B_i \end{cases}$$

23. Phương trình logic của bộ hợp kêt

$$Y = \bar{a}_1 \bar{a}_2 D_0 + a_1 \bar{a}_2 D_1 + \bar{a}_1 a_2 D_2 + a_1 a_2 D_3$$

24. Phương trình logic của bộ phân kênh

$$y_0 = \bar{a}_1 \bar{a}_2 D; y_1 = a_1 \bar{a}_2 D; y_2 = \bar{a}_1 a_2 D; y_3 = a_1 a_2 D$$

25. Phương trình biến đổi mã nhị phân sang mã bù nhị phân:

$$b_0 = a_0; b_1 = a_0 \oplus a_1; b_2 = (a_0 + a_1) \oplus a_2; b_3 = (a_0 + a_1 + a_2) \oplus a_3$$

26. Phương trình biến đổi mã nhị phân sang mã Gray:

$$g_0 = b_0 \oplus b_1; g_1 = b_1 \oplus b_2; g_2 = b_2 \oplus b_3; g_3 = b_3$$

27. Phương trình biến đổi mã thập phân sang mã nhị phân BCD:

$$A = L_1 + L_3 + L_5 + L_7 + L_9 = \overline{(L_1 + L_3)} \cdot \overline{(L_5 + L_7 + L_9)}$$

$$B = L_2 + L_3 + L_6 + L_7 = \overline{(L_2 + L_3)} \cdot \overline{(L_6 + L_7)}$$

$$C = L_4 + L_5 + L_6 + L_7 = \overline{(L_4 + L_5)} \cdot \overline{(L_6 + L_7)}$$

$$D = L_8 + L_9$$

28. Phương trình bộ giải mã BCD sang thập phân.

$$L_0 = \bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}; L_1 = A \bar{B} \bar{C} \bar{D}; L_2 = \bar{A} B \bar{C} \bar{D}; L_3 = A B \bar{C} \bar{D};$$

$$L_4 = \bar{A} \bar{B} C \bar{D}; L_5 = A \bar{B} C \bar{D}; L_6 = \bar{A} B C \bar{D};$$

$$L_7 = A B C \bar{D}; L_8 = \bar{A} \bar{B} \bar{C} D; L_9 = A \bar{B} \bar{C} D$$

29. Phương trình logic của trigor RS

$$Q_{n+1} = S_n + \bar{R}_n Q_n$$

30. Phương trình logic của trigor JK

$$Q_{n+1} = J_n \bar{Q}_n + \bar{K}_n Q_n$$

31. Phương trình logic của trigor D

$$Q_{n+1} = J_n \bar{Q}_n + \bar{K}_n Q_n$$

Câu hỏi và bài tập chương 9

- 9.1.** Trình bày biểu thức và bảng chân lý của các hàm logic cơ bản.
- 9.2.** Trình bày phương pháp thiết kế các mạch logic tổ hợp.
- 9.3.** Thế nào là bộ hợp kênh? Trình bày nguyên lý hoạt động của bộ hợp kênh 4 lối vào và 1 lối ra dữ liệu.
- 9.4.** Trigơ là gì? Trình bày nguyên lý hoạt động của trigơ RS.
- 9.5.** Biểu diễn các số sau sang hệ nhị phân (binary)
- a. 25
 - b. 14
 - c. 27
 - d. 34
- 9.6.** Biểu diễn các số hệ thập lục phân (hex) sau sang hệ nhị phân (binary)
- a. 23
 - b. 14
 - c. C06A
 - d. 5DEF
- 9.7.** Biểu diễn các số nhị phân sau sang hệ thập phân (decimal)
- a. 01101001
 - b. 01111111
 - c. 10000000
 - d. 11111111
- 9.8.** Biểu diễn các số hệ thập lục phân (hex) sau sang hệ thập phân (decimal)
- a. 1F
 - b. 10
 - c. FF
 - d. 03

9.9. Biểu diễn các số hệ thập phân sau sang hệ thập lục phân (hex)

- a. 100
- b. 128
- c. 127
- d. 256

9.10. Biểu diễn các số hệ nhị phân sau sang hệ thập lục phân (hex)

- a. 01111100
- b. 10110001
- c. 111100101011100000
- d. 0110110100110111101

9.11. Đổi các số thập lục phân sau sang hệ bát phân (octal)

- a. 1023
- b. ABCD

9.12. Lấy bù 1 các số sau

- a. 01111010
- b. 11101001

9.13. Lấy bù 2 các số sau

- a. 10101100
- b. 01010100

9.14. Cho các mã nhị phân sau, hãy đổi sang mã Gray

- a. 0111
- b. 1000

9.15. Cho các mã Gray sau, hãy đổi sang mã nhị phân

- a. 0110
- b. 1111

9.16. Chứng minh các đẳng thức sau bằng đại số

- a. $x_3 + x_1x_2 + \bar{x}_1x_3 = (x_1 + x_3)(x_2 + x_3)$
- b. $\overline{x_1 \oplus x_2} = \bar{x}_1 \oplus x_2$
- c. $x_1x_2(x_1 \oplus x_2 \oplus x_3) = x_1x_2x_3$

9.17. Cho bảng chân lý sau:

x_2	x_1	x_0	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Viết hàm y dưới dạng tổng và tích

9.18. Biểu diễn hàm số sau dưới dạng bảng Karnaugh

$$y(x_0, x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 + x_0 \bar{x}_1 x_3 + x_0 x_2 x_3 + \bar{x}_0 \bar{x}_2$$

9.19. Biểu diễn hàm số sau dưới dạng bảng Karnaugh

$$y(x_0, x_1, x_2, x_3) = \sum(0, 1, 2, 4, 6, 8, 12)$$

9.20. Dùng bảng Karnaugh rút gọn hàm

$$y(x_0, x_1, x_2, x_3) = \sum(0, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14)$$

Tài liệu đọc thêm chương 9

1. Trần Thị Thúy Hà, Đỗ Mạnh Hà. *Giáo trình điện tử số*, Nxb Thông tin & Truyền thông, 2009.
2. Trần Văn Minh, *Giáo trình Kỹ thuật số*, Nxb Bưu điện, 2002.
3. Nguyễn Thúy Vân, *Kỹ thuật số*, Nxb Khoa học & Kỹ thuật, 2008.
4. Charles H. Roth Jr., Larry L Kinney, *Fundamentals of logic design*, Seventh edition, Cengage Learning, 2014.

Phần IV

ĐỒ ÁN MÔN HỌC

MỤC TIÊU HỌC TẬP PHẦN IV

Sau khi học xong Phần IV, sinh viên có khả năng:

- Mô tả được, giải thích được cấu tạo và nguyên tắc hoạt động của một số thiết bị và các mạch điện, điện tử;
- Hiểu được vai trò của các khái niệm, nguyên lý, định luật đã học trong việc nghiên cứu, chế tạo các thiết bị và các mạch điện, điện tử trong đời sống, khoa học và kỹ thuật;
- Vận dụng được các kiến thức đã học ở các phần I, II, III vào các học phần tiếp theo trong chương trình học tập và thực tiễn cuộc sống.

IV.1. Giới thiệu

Đồ án (project) của học phần Kỹ thuật điện, điện tử là phần nội dung thứ tư trong tổng số bốn nội dung của học phần. Trong phần này, dưới sự hướng dẫn của giảng viên, sinh viên sẽ áp dụng những kiến thức, nguyên lý, định luật,... đã được học ở phần I, II, III để tìm hiểu, phân tích, giải thích cấu tạo và nguyên tắc hoạt động của các thiết bị và các mạch điện, điện tử thông dụng.

Việc thực hiện đồ án trong phần cuối của học phần Kỹ thuật điện, điện tử sẽ góp phần hình thành và rèn luyện rất nhiều năng lực cần có của một kỹ sư khối ngành kỹ thuật công nghệ. Đó là năng lực hình thành ý tưởng, thiết kế, thực hiện và vận hành - phù hợp với chủ trương đào tạo tiếp cận CDIO (Conceive - Design - Implement - Operate) của Trường Đại học Vinh. Ngoài ra, việc thực hiện một đồ án sẽ góp phần hình thành và rèn luyện cho sinh viên kỹ năng làm việc nhóm một cách hiệu quả.

Các sinh viên thuộc khối ngành kỹ thuật công nghệ sẽ được chia thành 5 nhóm để thuận tiện trong việc phân công đề tài và thực hiện đồ án. Cụ thể:

- Các ngành: Kỹ thuật xây dựng; Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông - *gọi tắt là KTXD*;
- Các ngành: Công nghệ thực phẩm; Công nghệ kỹ thuật hóa học - *gọi tắt là CTTP*;
- Ngành Công nghệ thông tin - *gọi tắt là CNTT*;
- Các ngành: Công nghệ kỹ thuật điện, điện tử; Kỹ thuật điện tử viễn thông; Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa - *gọi tắt là KTD, VT, TĐH*);
- Các ngành: Công nghệ kỹ thuật ô tô; Công nghệ kỹ thuật nhiệt - *gọi tắt là CNKTOTO*.

IV.2. Các chủ đề cho từng nhóm ngành

Mỗi nhóm sinh viên có thể chọn chủ đề làm đồ án trong danh mục các chủ đề chung hoặc danh mục dành riêng với sự đồng ý của giảng viên hướng dẫn.

IV.2.1. Một số chủ đề chung

- Trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động của một số máy điện thông

dụng như: quạt điện xoay chiều, quạt điện một chiều, quạt lò thổi, quạt trần, máy bơm nước gia đình, máy khoan, máy cắt, máy biến thế loại nhỏ.

- Trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động, đọc tên và thông số các linh kiện, vẽ mạch của các thiết bị điện tử đơn giản, thông dụng như: Điều khiển tivi, điều khiển quạt, chìa khóa điều khiển từ xa của ô tô, xe máy; chấn lưu (ballast), chân đèn chữ U, bộ nguồn đèn ống LED,...

- Trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động của một số mạch điện, điện tử thông dụng.

- Tính toán, thiết kế và chế tạo các mạch điện, điện tử thông dụng.

IV.2.2. Một số chủ đề riêng

KTXD.1. Tính toán và thiết kế mạch điện chiếu sáng dân dụng cơ bản.

KTXD.2. Giải thích được các mạch điện sử dụng trong các máy xây dựng.

KTXD.3. Giải thích được một số sơ đồ nối điện trong các công trình xây dựng.

KTXD.4. Tính toán và lựa chọn các loại nguồn điện sử dụng trong các công trình xây dựng.

KTXD.5. Tính toán và lựa chọn dây dẫn và thiết bị bảo vệ hạ áp.

CTTP.1. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch điện, nguyên lý hoạt động của máy xay sinh tố gia đình.

CTTP.2. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch điện, nguyên lý hoạt động của máy sấy thực phẩm.

CTTP.3. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch điện, nguyên lý hoạt động của tủ lạnh, tủ đông dùng để bảo quản thực phẩm.

CTTP.4. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch điện, nguyên lý hoạt động của máy phân loại thực phẩm.

CTTP.4. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch điện, nguyên lý hoạt động của tủ nấu cơm công nghiệp.

CTTP.5. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch điện, nguyên lý hoạt động của thiết bị đo độc tố và ô nhiễm trong kiểm nghiệm vệ sinh, an toàn thực phẩm.

CTTP.6. Tính toán và thiết kế mạch điện chiếu sáng cơ bản trong một phân xưởng nhà máy chế biến thực phẩm.

CNTT.1. Phân tích cấu tạo, nguyên lý hoạt động của bộ nguồn máy vi tính.

CNTT.2. Phân tích cấu tạo và nguyên lý hoạt động mạch khuếch đại âm thanh.

CNTT.3. Tìm hiểu chức năng các khối trong main máy vi tính.

CNTT.4. Phân tích, thiết kế và mô phỏng các mạch nguồn đơn giản.

CNTT.5. Phân tích, thiết kế và mô phỏng bộ khuếch đại âm thanh công suất nhỏ.

KTD,VT,TDH.1. Phân tích cấu tạo, vai trò, nguyên lý hoạt động của máy biến áp mini ở ngõ vào radio, cassette.

KTD,VT,TDH.2. Phân tích cấu tạo, nguyên lý hoạt động, vai trò của tụ, nguyên tắc thay đổi tốc độ quay của quạt cây, quạt trần, máy bơm.

KTD,VT,TDH.3. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch, nguyên tắc hoạt động của điều khiển tivi.

KTD,VT,TDH.4. Phân tích cấu tạo, vai trò, nguyên tắc hoạt động của mạch chọn sóng trên điện thoại di động, tivi.

KTD,VT,TDH.5. Phân tích cấu tạo, nguyên lý hoạt động của mạch điều khiển đổi chiều động cơ trên ôtô đồ chơi khi tiến và lùi.

KTD,VT,TDH.6. Phân tích cấu tạo, vai trò, nguyên lý hoạt động, nguyên tắc tự ngắt của ấm đun nước siêu tốc, nồi cơm điện.

CNKTOTO.1. Phân tích sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động của gương gập điện ô tô.

CNKTOTO.2. Phân tích sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động của cần gạt kính ô tô.

CNKTOTO.3. Phân tích sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động của đèn xi-nhan (signal) ô tô.

CNKTOTO.4. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch, nguyên tắc hoạt động của máy phát điện trên ô tô, xe máy.

CNKTOTO.5. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch, nguyên tắc hoạt động của củ đè (starter) trên ô tô, xe máy.

CNKTOTO.6. Phân tích sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động của đèn trần ô tô.

CNKTOTO.7. Phân tích sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động của đèn chiếu sáng (đèn pha) ô tô.

CNKTOTO.8. Phân tích sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động của đèn phanh ô tô.

CNKTOTO.9. Phân tích cấu tạo, sơ đồ mạch, nguyên tắc hoạt động của máy điều hòa không khí và quạt gió trên ô tô.

IV.3. Hình thức tổ chức hướng dẫn và thực hiện đồ án

IV.3.1. Giảng viên hướng dẫn

- Căn cứ danh sách sinh viên của lớp được phân công, giảng viên chia lớp thành các nhóm sinh viên cùng ngành học. Mỗi nhóm từ 2 đến 4 sinh viên. Chỉ định 1 sinh viên làm nhóm trưởng. Có thể cho sinh viên tự thành lập nhóm và đề xuất nhóm trưởng.

- Giảng viên chỉ định đề tài hoặc cho từng nhóm sinh viên lựa đề tài phù hợp trong danh mục gợi ý ở trên.

- Giảng viên lấy thông tin liên lạc của từng nhóm sinh viên và cung cấp kênh liên lạc (<http://my.vinhuni.edu.vn>, <http://canbo.vinhuni.edu.vn>, điện thoại, facebook, zalo,...) của mình cho sinh viên để tư vấn, hướng dẫn, theo dõi thuận tiện và hiệu quả nhất. Đồng thời lên lịch để thống nhất thời gian, địa điểm gặp nhau hàng tuần.

- Trao đổi với từng nhóm sinh viên và thống nhất mục tiêu, sản phẩm của từng đề tài cụ thể.

IV.3.2. Nhóm sinh viên thực hiện

- Thành lập nhóm và đề xuất nhóm trưởng nếu giảng viên không chỉ định.

- Đề xuất đề tài hoặc nhận đề tài từ giảng viên hướng dẫn. Tất cả các đề tài đều phải thực hiện trên sản phẩm thật kèm poster và quyển in báo cáo đồ án.

- Phân công nhiệm vụ cho từng thành viên; Triển khai thực hiện đồ án nhằm đạt được mục tiêu và sản phẩm đã thống nhất với giảng viên.

- Trong quá trình thực hiện đồ án, cần liên hệ chặt chẽ với giảng viên hướng dẫn để được tư vấn, hỗ trợ và hướng dẫn.

IV.3.3. Kế hoạch thực hiện đồ án

Thời lượng của phần đồ án theo đề cương chiếm 1 tín chỉ trong tổng số 4 tín chỉ. Tuy vậy, thời gian thực hiện đồ án sẽ diễn ra trong khoảng 8 tuần cuối của học kỳ (trên tổng số 15 tuần). Cụ thể theo Bảng IV.1 dưới đây:

Bảng IV.1. Kế hoạch thực hiện đồ án

Thời gian	Công việc	Người thực hiện	Ghi chú
Tuần 8	Gặp mặt và giao đề tài cho các nhóm sinh viên	- GVHD - Sinh viên	Gặp mặt và giao đề tài trực tiếp tại phòng học
Tuần 9 đến tuần 15	Thực hiện đề tài đồ án	- GVHD - Sinh viên	Liên hệ qua http://my.vinhuni.edu.vn , http://canbo.vinhuni.edu.vn , điện thoại, facebook, zalo,... và gặp trực tiếp theo lịch thống nhất.
Tuần 16	Đánh giá đồ án	- GVHD - Sinh viên	Đánh giá trên cơ sở hỏi ván đáp, nội dung poster, quyển báo cáo, sản phẩm thật, quá trình thực hiện đồ án.

IV.4. Báo cáo đồ án

Đồ án sau khi thực hiện xong phải được nhóm sinh viên báo cáo trực tiếp trước Hội đồng thông qua quyển báo cáo, file trình chiếu và poster.

IV.4.1. Cấu trúc của bản in quyển báo cáo đồ án

- Bìa (làm theo mẫu ở Hình IV.1).
- Mục lục (1 trang).
- Mở đầu (trình bày lý do lựa chọn đề tài, mục tiêu thực hiện đề tài, phân công nhiệm vụ trong nhóm) (1 trang).

- Phần 1: Cấu tạo... (*trình bày cấu tạo chi tiết của thiết bị, có ảnh chụp thật, chụp chi tiết, có hình vẽ nếu cần,... Hình ảnh phải có chủ thích đầy đủ*) (từ 3 đến 5 trang).

- Phần 2: Nguyên lý... (*trình bày cơ sở lý thuyết, sơ đồ/hình vẽ nguyên lý, đồng thời trình bày nguyên lý trên ảnh chụp thật; Đề cập đến các nguyên lý, định luật, công thức... đã học để trình bày cụ thể, chi tiết, định lượng về nguyên lý hoạt động của thiết bị*) (từ 5 đến 10 trang).

- Kết luận (*trình bày những kết luận quan trọng sau khi thực hiện nội dung đồ án*) (1 trang).

- Tài liệu tham khảo (*khoảng từ 3 đến 10 tài liệu*).

- Tự đánh giá: Nhóm trưởng (hoặc thành viên chủ chốt) đánh giá về hoạt động của các thành viên trong nhóm, cho điểm từng thành viên bao gồm cả bản thân mình (trang cuối cùng của đồ án).

Thể thức trình bày nội dung quyển báo cáo:

- Dùng font Times New Roman, size 14;

- Chọn khổ giấy in: A4 (21 cm x 29,7 cm);

- Lê trang (Margins) như sau:

Trên (Top): 2,0 cm; Dưới (Bottom): 2,0 cm;

Trái (Left): 3,0 cm; Phải (Right): 2,0 cm;

- Khoảng cách giữa các đoạn: Trước (Before): 0 pt; Sau (After): 3÷6 pt;

- Khoảng cách giữa các dòng trong 1 đoạn (Line spacing): từ 1,2 đến 1,5 lines;

- Số trang: đặt ở phía dưới trang (Bottom), căn chính giữa trang (Centre);

- Thụt lề dòng đầu mỗi đoạn (Indent): nhấn phím Tab. Tuyệt đối không dùng nhấn phím cách (ô trống - spacebar) để thụt lề dòng đầu.

Phần **Tài liệu tham khảo** cần trình bày theo thể thức như sau:

- Nếu tài liệu tham khảo là sách, luận án, báo cáo: Ghi đầy đủ: Tên các tác giả hoặc cơ quan ban hành, *Tên sách, luận án, báo cáo* (in nghiêng), Nhà xuất bản, Nơi xuất bản, Năm xuất bản.

Ví dụ: Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Kỹ thuật điện*, Nhà xuất bản Khoa học & kỹ thuật, Hà Nội, 2005.

- Nếu tài liệu tham khảo là bài báo trong tạp chí, bài trong một cuốn sách... cần ghi các thông tin: Tên các tác giả, Tên bài báo (“đặt trong ngoặc kép không in nghiêng”), *Tên tạp chí hoặc tên sách* (in nghiêng), Tập (không có dấu ngăn cách), số, năm xuất bản, các số trang.

Ví dụ: Lê Xuân Sanh, Trần Vũ Kiên, “Nghiên cứu thiết kế hệ thống giám sát - điều khiển từ xa cho lưới phân phối điện hạ áp”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, Số 60, 2018, tr19-24.

- Nếu tài liệu tham khảo là các trang trên Internet: cần ghi đúng tên tác giả, địa chỉ Website, thời gian truy cập địa chỉ đó.

Ví dụ: Hồ Thành, *Thiết kế mạch điện thông minh và tiết kiệm điện*, <http://www.husta.org/cuoc-thi-sang-tao-thanh-thieu-nien-nhi-dong/thiet-ke-mach-dien-thong-minh-va-tiet-kiem-dien.html>, truy cập ngày 6/6/2018

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC VINH



BÁO CÁO ĐỒ ÁN
HỌC PHẦN KỸ THUẬT ĐIỆN, ĐIỆN TỬ

Đề tài:
PHÂN TÍCH CẤU TẠO, NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA
ĐỘNG CƠ ĐIỆN DÙNG TRONG QUẠT ĐIỆN DÂN DỤNG

Người hướng dẫn: TS. Trịnh Ngọc Hoàng
Nhóm thực hiện: Nhóm 01-Lớp 02-KTĐĐT02
Thành viên: Đặng Thế Tài (Nhóm Trưởng)
Lê Thị Giang
Hoàng Bình Minh
Nguyễn Thanh Đức

Nghệ An, 2018

Hình IV.1. Mẫu bìa báo cáo đồ án

IV.4.2. Cấu trúc của báo cáo treo (poster)

Báo cáo treo là báo cáo được thực hiện thông qua poster treo trên tường. Poster cần có những nội dung chính sau:

- Tên đề tài
- Tên các thành viên của nhóm thực hiện
- Phần 1: Câu tạo... (*trình bày ngắn gọn, có ảnh chụp thật, chụp chi tiết, có hình vẽ nếu cần,...*)
- Phần 2: Nguyên lý... (*trình bày sơ đồ/hình vẽ nguyên lý, đồng thời trình bày nguyên lý trên ảnh chụp thật; Đề cập các định luật, công thức...*)

Lưu ý: Poster chỉ trình bày trên 1 trang A₀; Ngắn gọn, súc tích, chủ yếu ảnh chụp, hình vẽ và công thức; Hình ảnh phải có chú thích đầy đủ; Hạn chế chữ ở trên poster. Poster có thể viết, vẽ bằng tay hoặc đánh máy, đảm bảo nhìn rõ khi đứng cách 3 mét.

IV.4.3. Cấu trúc của báo cáo miệng (presentation)

Báo cáo miệng là báo cáo được thực hiện thông qua việc trình diễn các tập tin (thông thường là PowerPoint) trên máy chiếu. Một file trình chiếu gồm nhiều slide và cần có những nội dung chính sau:

- Slide 1: Tên cơ sở đào tạo (Trường Đại học Vinh), tên học phần, tên đề tài, tên nhóm và họ tên các thành viên thực hiện, tên lớp học phần, họ tên giảng viên hướng dẫn, tháng năm báo cáo.
- Slide 2: Lý do lựa chọn đề tài, mục tiêu thực hiện đề tài, phân công nhiệm vụ trong nhóm.
- Slide thứ 3 trở đi: Trình bày nội dung chính của đồ án báo gồm 2 phần sau:

Phần 1: Câu tạo... (*trình bày câu tạo chi tiết của thiết bị, có ảnh chụp thật, chụp chi tiết, có hình vẽ nếu cần,... Hình ảnh phải có chú thích đầy đủ*);

Phần 2: Nguyên lý... (*trình bày sơ đồ/hình vẽ nguyên lý, đồng thời trình bày nguyên lý trên ảnh chụp thật thông qua các nguyên lý, định luật, công thức... đã học*).

- Slide cuối: Kết luận (trình bày những kết luận quan trọng sau khi thực hiện nội dung đồ án).

IV.5. Đánh giá đồ án

IV.5.1. Phương thức đánh giá

Đồ án của mỗi nhóm sinh viên được đánh giá thông qua: Bài trình bày của nhóm sinh viên trước hội đồng chuyên môn; Kết quả trả lời câu hỏi chất vấn của hội đồng; Nội dung của quyển in báo cáo; Poster; Các sản phẩm thật mang đến buổi đánh giá; Đánh giá của trưởng nhóm đối với từng thành viên.

IV.5.2. Các tiêu chí đánh giá

Việc đánh giá đồ án được hội đồng chuyên môn thực hiện căn cứ các tiêu chí trên Bảng IV.2 và Bảng IV.3 dưới đây:

Bảng IV.2. Tiêu chí đánh giá mức độ hoạt động nhóm

Mức độ (diểm) Tiêu chí	Xuất sắc (8,5 ÷ 10)	Tốt (7,0 ÷ 8,4)	Bình thường (5,0 ÷ 6,9)	Kém (0 ÷ 4,9)
Thái độ	Không bao giờ kêu ca, phàn nàn về công việc của nhóm hay của người khác. Luôn có thái độ đồng thuận trong công việc.	Rất ít khi kêu ca, phàn nàn về công việc của nhóm hay của người khác. Thường có thái độ đồng thuận trong công việc.	Đôi lúc kêu ca, phàn nàn về công việc của nhóm hay của người khác. Thường có thái độ đồng thuận trong công việc.	Thường hay kêu ca, phàn nàn về công việc của nhóm hay của người khác. Hay có thái độ không đồng thuận trong công việc.
Sự đóng góp	Thường đưa ra các ý kiến đóng góp hữu ích khi tham gia thảo luận nhóm hay lớp. Một lãnh đạo nhóm phải có sự đóng góp lớn trong quá trình thực hiện đồ án và đạt hiệu quả cao.	Thường đưa ra các ý kiến đóng góp hữu ích khi tham gia thảo luận nhóm hay lớp. Một thành viên thường tốt của nhóm phải có sự nỗ lực lớn trong công việc.	Đôi lúc đưa ra các ý kiến đóng góp hữu ích khi tham gia thảo luận nhóm hay lớp. Một thành viên thường của nhóm chỉ thực hiện những gì được giao.	Ít khi đưa ra các ý kiến đóng góp hữu ích khi tham gia thảo luận nhóm hay lớp. Có thể từ chối tham gia nhóm và thực hiện nhiệm vụ được giao.

Nhận nhiệm vụ	Tự nguyện chấp nhận và hoàn thành tốt vai trò, nhiệm vụ cá nhân trong nhóm.	Chấp nhận và hoàn thành tốt vai trò nhiệm vụ cá nhân trong nhóm.	Có đóng góp cho nhóm, thỉnh thoảng phải nhắc nhở.	Chỉ đóng góp cho nhóm khi được nhắc nhở.
Tập trung công việc	Kiên định tập trung trong công việc và những gì cần phải hoàn thành. Định hướng cá nhân tốt.	Tập trung trong công việc và những gì cần phải hoàn thành trong hầu hết thời gian. Các thành viên khác của nhóm có thể mong đợi, tin tưởng ở người này.	Tập trung trong công việc và những gì cần phải hoàn thành không thường xuyên. Các thành viên khác đôi lúc phải la rầy, thúc giục và nhắc nhở người này trong công việc.	Ít khi tập trung trong công việc và những gì cần phải hoàn thành. Bắt người khác phải làm hộ công việc của mình.
Quan tâm hiệu quả làm việc nhóm	Thường xuyên quan tâm đến hiệu quả làm việc của nhóm và đưa ra những kiến nghị giúp tăng hiệu quả làm việc nhóm.	Thường xuyên quan tâm đến hiệu quả làm việc của nhóm và làm tăng hiệu quả làm việc nhóm.	Thỉnh thoảng quan tâm đến hiệu quả làm việc của nhóm và làm tăng hiệu quả làm việc nhóm.	Ít khi quan tâm đến hiệu quả làm việc của nhóm và không làm tăng hiệu quả làm việc nhóm.
Sự chuẩn bị	Luôn mang các tài liệu, dụng cụ cần thiết tới lớp và luôn sẵn sàng làm việc.	Gần như luôn mang các tài liệu, dụng cụ cần thiết tới lớp và luôn sẵn sàng làm việc.	Thường mang các tài liệu, dụng cụ cần thiết tới lớp nhưng đôi lúc cần chuẩn bị rồi mới làm việc.	Thường hay quên đem những tài liệu, dụng cụ cần thiết đến lớp hoặc ít khi sẵn sàng cho công việc.
Sự nhiệt tình	Công việc thể hiện nỗ lực tối đa của sinh viên.	Công việc thể hiện nỗ lực mạnh mẽ của sinh viên.	Công việc thể hiện một số nỗ lực của sinh viên.	Công việc thể hiện sự nỗ lực rất ít của sinh viên..

Bảng IV.3. Tiêu chí đánh giá bài thuyết trình

Tiêu chí đánh giá	Điểm
Nội dung	3
Bài trình bày đầy đủ những nội dung theo yêu cầu, các nội dung được nêu lên và phân tích rõ. Nội dung có liên hệ những kiến thức đã học với thực tế.	1
Bài trình bày sử dụng sơ đồ, tranh ảnh, ví dụ minh họa cụ thể, linh kiện hoặc sản phẩm thực tế để làm rõ và sâu sắc thêm nội dung chính.	1
Phản trọng tâm của bài trình bày được tập trung làm rõ và có dung lượng cân đối so với các phần khác trong bài.	0,5
Các nội dung đề cập trong bài trình bày chính xác, có trích dẫn nguồn tài liệu tham khảo rõ ràng, đáng tin cậy	0,5
Hình thức và trình bày	3
Trong bài trình bày, các ý chính được sắp xếp một cách logic làm cho lập luận có tính thuyết phục cao.	0,5
Đảm bảo các nguyên tắc trong thiết kế bài trình bày đa phương tiện sử dụng poster, sản phẩm thực tế, phần mềm Powerpoint,...	1
Trình bày rõ ràng, mạch lạc, ngôn ngữ trong sáng	1
Phong cách nói tự tin, giọng nói mang tính thuyết phục cao	
Duy trì việc tiếp xúc bằng mắt và dùng ngôn ngữ cử chỉ để thuyết phục và tạo sự hứng thú	
Không mắc phải những lỗi trong diễn đạt như: Phát âm sai, nói không rõ,...	
Câu có đầy đủ thành phần cơ bản, không diễn đạt lủng lơ	0,5
Không mắc lỗi chính tả	
Trả lời câu hỏi chất vấn	4
Biết vận dụng các kiến thức đã học để trả lời câu hỏi	1
Trả lời đúng các câu hỏi mà hội đồng đặt ra	3
Tổng điểm	10

ĐÁP SỐ

CÁC BÀI TẬP CHƯƠNG

Chương 1

1.12. $i = 3 \text{ A}$

1.13. $I = 0,75 \text{ A}$

1.14. $P_R = 6 \text{ W}$

1.15. $I_1 = 3,25 \text{ A}; I_2 = 3,25 \text{ A}; I_3 = 1,5 \text{ A.}$

1.16. $U_0 = 0,97 \text{ V.}$

1.17. $I = 1,5 \text{ A.}$

1.18. $I_1 = -\frac{1}{9} \text{ A}; I_2 = \frac{1}{3} \text{ A}; I_3 = -\frac{4}{9} \text{ A}$

1.19. $I_{R_2} = 1,25 \text{ A}$

1.20. $I_{R_4} = \frac{3}{2} \text{ A}$

1.21. $I_1 = 6 \text{ A}, I_2 = -1 \text{ A}, I_3 = 7 \text{ A}$

Chương 2

2.11 a) $\varphi_u = 150^\circ; \Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 90^\circ.$

b) $I = 10 \text{ A}, I_{\max} = 14,14 \text{ A}; U = 100 \text{ V}; U_{\max} = 100\sqrt{2} \text{ V};$

$f = 50 \text{ Hz}, T = 0,02 \text{ s}.$

2.12. $I = 3,89 - j1,73 = 4,26 \angle -24^\circ (\text{A}); U_R = 191,7 \angle -24^\circ \text{ V};$

$U_L = 191,7 \angle 66^\circ \text{ V.}$

$P = 816,6 \text{ W}; Q = 362,9 \text{ VAr}; \cos\varphi = \cos(24^\circ) = 0,913.$

2.13. $I = 3A$, $U_R = 60V$; $U_C = 45V$; $U = 75V$; $\cos\varphi = 0,8$;

$$Q_C = -135VAr;$$

2.14. Chọn $\dot{U}_{L_2} = 150\angle 0^0 V$ ta tính được:

$$\dot{I}_1 = 18\angle -33,7^0 = 15 - j10(A); \dot{I}_2 = 5\angle -90^0 = -j5(A);$$

$$\dot{I}_3 = 36\angle 56,3^0 = 20 + j30(A);$$

$$\dot{U} = 150 - j100 = 180\angle -33,7^0(V);$$

$$P = P_1 + P_2 = 3740(W); Q = Q_2 + Q_3 = -5750(VAr);$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = 0,548.$$

2.15. Chọn $\dot{I}_3 = 5\angle 0^0(A)$ ta tính được:

$$\dot{U}_3 = (30 + j20)V; \dot{I}_1 = (7,5 + j5) = 9\angle 33,7^0(A);$$

$$\dot{I}_2 = (4 - j6) = 7,2\angle -56,3^0(A);$$

$$\dot{I} = (16,5 - j) = 16,52\angle -3^0(A).$$

$$P \approx 1020(W); Q \approx 360(VAr); \cos\varphi = P/S = 0,94.$$

2.16. $\dot{I}_1 = 22A$, $\dot{I}_2 = -22A$ (ngược chiều); $\dot{I}_3 = 44A$;

$$\dot{U}_{AB} = -j264V.$$

2.17. a) $i(t) = 10\sqrt{2}\sin(100\pi t + \pi/2)A$;

$$i_1(t) = 14,14\sqrt{2}\sin(100\pi t + \pi/4)A;$$

$$i_2(t) = 10\sqrt{2}\sin(100\pi t - \pi)A.$$

b) $\dot{S} = \dot{U}\cdot\dot{I} = (220\angle\pi/2)(10\angle -\pi/2) = 2200(VA);$

$$\cos\varphi = P/S = 1.$$

2.18. Số chỉ các ampe kế chính là giá trị hiệu dụng của dòng điện trong mạch chính và trong các nhánh tương ứng: $I = 21,47A$; $I_1 = 12A$; $I_2 = 12A$;

Số chỉ oát kế chính là giá trị của công suất tác dụng: $P = 2304W$.

2.19. $R_d = 125\Omega$; $R_{cl} = 232,3\Omega$; ; $X_{cl} = 418,4\Omega$;
 $U_d = 50V$; $U_{cl} = 191,4V$.

Hướng dẫn: Hệ gồm bóng đèn R_d và cuộn chấn lưu nối tiếp với nhau, trong đó cuộn chấn lưu gồm điện trở thuận R_{cl} nối tiếp với điện cảm X_{cl} . Từ công suất của bóng đèn và cường độ dòng điện đã biết, tính được trở kháng đèn R_d . Từ điện áp toàn mạch và cường độ dòng điện, tính ngay được tổng trở Z của hệ. Từ hệ số công suất và tổng trở sẽ tính được tổng trở kháng $(R_d + R_{cl})$ và cảm kháng X_{cl} của cuộn chấn lưu. Từ đó tính được điện áp trên bóng đèn U_d và điện áp trên chấn lưu U_{cl} .

2.20. Thay thế 15% công suất P của động cơ không đồng bộ bằng động cơ đồng bộ.

Hướng dẫn: Gọi x là tỷ lệ phần trăm công suất tác dụng của động cơ không đồng bộ được thay thế bằng động cơ đồng bộ. Viết biểu thức công suất tác dụng của mỗi loại động cơ. Từ công suất tác dụng và hệ số công suất của mỗi loại động, tính được công suất phản kháng của mỗi loại và tổng công suất phản kháng của hệ. Mặt khác, từ hệ số công suất cần đạt, viết được biểu thức tổng công suất phản kháng của hệ. Cân bằng hai biểu thức công suất phản kháng sẽ tính được giá trị của x .

Chương 3

3.11. $\dot{I}_A = 12,7 \angle -53^\circ A$; $\dot{I}_B = 12,7 \angle -173^\circ A$;
 $\dot{I}_B = 12,7 \angle 67^\circ A$

3.12. $I_A = 78,87 A$.

3.13. $I_p = 44A$, $I_d = 76,21A$,

$$P_{3pha} = 17424W, Q_{3pha} = 23232VAr, S_{3p} = 29040VA$$

$$\dot{I}_{A'B'} = 44 \angle -53^\circ A, \dot{I}_{B'C'} = 44 \angle -173^\circ A,$$

$$\dot{I}_{C'A'} = 44 \angle 67^\circ A$$

3.14. $\dot{I}_l = 16,97 \angle -45^\circ A$

3.15*. $P_1 = 17024 W$.

- 3.16.** $I_A = 14,7 \text{ A}.$
- 3.17.** a) $I_B = 22 \text{ A}$; b) $I_B = 44 \text{ A}.$
- 3.18.** a) $I_B = 44 \text{ A}$; b) $I_B = 74,9 \text{ A}.$

Chương 4

- 4.17.** $I_{1\text{dm}} = 16,67 \text{ A}, I_{2\text{dm}} = 166,67 \text{ A}.$
- 4.18.** a) $I_{1\text{dm}} = 20 \text{ A}; I_{2\text{dm}} = 1750 \text{ A}.$
b) $k_t = 0,647; \eta = 0,997.$
- 4.19.** $R_0 = 175,82 \Omega, X_0 = 1633,67 \Omega, R_2' = 0,35 \Omega,$
 $X_2' = 3,39 \Omega, \cos\varphi_0 = 0,107.$
- 4.20.** Y/Y-10
- 4.21.** $\Delta/\Delta-12$
- 4.22.** $Y/\Delta-3$
- 4.23.** $I_{1\text{dm}} = 1 \text{ A}, I_{2\text{dm}} = 86,6 \text{ A}, I_0 = 0,11 \text{ A}, \cos\varphi_0 = 0,075,$
 $k_t = 0,647.$
- 4.24.** $n_1 = 900 \text{ vòng/phút}; n = 864 \text{ vòng/phút}.$
- 4.25.** $n = 1420 \text{ vòng/phút}, P_1 = 6561 \text{ W}, P_2 = 5491 \text{ W},$
 $\Delta P = 1070 \text{ W}, M = 36,9 \text{ Nm}.$
- 4.26.** a) $I_{\text{dm}} = 27,31 \text{ A}, s = 0,0333.$
b) $P_1 = 15,82 \text{ kW}; Q_1 = 8,54 \text{ kVAr}.$
- 4.27.** a) $P_{\text{dt}} = 12,62 \text{ W}, M_{\text{dt}} = 120 \text{ Nm}.$
b) $n = 962 \text{ vòng/phút}.$
- 4.28.** $E_u = 232,37 \text{ V}.$
- 4.29.** $I_{\text{mm}} = 390 \text{ A}, R_{\text{mm}} = 1,786 \Omega.$
- 4.30.** a) $n = 538 \text{ vòng/phút}, \eta = 0,67.$
b) $n = 538 \text{ vòng/phút}, \eta = 0,834.$

Chương 7

- 7.7.** $I = 9,3 \text{ mA}$

7.8. $I = \frac{E - U_D}{R_2} = 0,965A$

7.9. $U_R = E + U_D = -19,3V; I = \frac{E + U_D}{R} = -0,877mA.$

7.10. $I_{R2} = 6,26mA$

Chương 8

8.3. a) $R_C = 1k\Omega$; b) $U_{C0} = U_{CE0} = 5V$.

8.4. $I_{B0} = 43,2\mu A; I_{C0} = 1,7mA; I_{E0} = 1,734mA; U_{CE0} = 6,6V$

8.5. $I_{B0} = 20\mu A; I_{C0} = 2mA; I_{E0} = 2,02mA; U_{B0} = 5,95V;$
 $U_{C0} = 12V; U_{E0} = 5,45V.$

8.6. $I_{B0} = 20\mu A; I_{C0} = I_{E0} = 1mA; U_{BE0} = 0,5V; U_{CE0} = 4V;$

8.7. $r_e = 10,71\Omega; R_V = 1,096k\Omega; R_{ra} = 3k\Omega; K_U = 280,11;$
 $K_i = 100.$

8.8. $r_e = 18,44\Omega; R_V = 1,35k\Omega;$
 $R_{ra} = 6,8k\Omega; K_U = 368,76; K_i = 73,04.$

8.9. $I_{B0} = 5,75mA; I_{C0} = 287,5mA;$
 $U_{CE0} = 6,25V; I_C = 250mA.$

8.10. $P_{ra} = 36,125W; P_{TB} = 67,75W; P_C = 15,8W;$
 $\eta = 53,3\%.$

8.11. $I_{C0} = 1,454A; P_0 = 34,896 W.$

8.12. $u_r = -\frac{R_N}{R_1} u_v; u_r = -10V$

8.13. $u_r = \left(1 + \frac{R_N}{R_2}\right) u_v; u_r = 12V$

8.14. $u_r = 9,906V$

Chương 9

- 9.5.** a) 11001, b) 1110, c) 11011, d) 100010
9.6. a) 100011, b) 10100, c) 1100000001101010,
d) 101110111101111
9.7. 105, 127, 128, 255
9.8. 31, 16, 255, 3
9.9. 64, 80, 7F, 100
9.10. 7C, B1, 3CAE0, 369BD
9.11. 10043, 125715
9.12. 10000101, 00010110
9.13. 01010100, 10101100
9.14. 0100, 1100
9.15. 0100, 1010
9.16. a)

$$\begin{aligned} VT &= \overline{\overline{x_3 + x_1x_2 + \bar{x}_1x_3}} = \overline{\overline{x_3}\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{\bar{x}_1}\overline{x_3}} = \overline{\bar{x}_3(\bar{x}_1 + \bar{x}_2)(x_1 + \bar{x}_3)} \\ &= \overline{\bar{x}_3\bar{x}_1 + \bar{x}_3\bar{x}_2} = (x_1 + x_3)(x_2 + x_3) = VP \end{aligned}$$

b) $VT = \overline{x_1 \oplus x_2} = x_1x_2 + \bar{x}_1\bar{x}_2 = \bar{x}_1 \oplus x_2 = VP$

c)

$$\begin{aligned} VT &= x_1x_2[(x_1 \oplus x_2) \oplus x_3] = x_1x_2[(\bar{x}_1x_2 + x_1\bar{x}_2) \oplus x_3] \\ &= x_1x_2[(\bar{x}_1x_2 + x_1\bar{x}_2)x_3 + (\bar{x}_1x_2 + x_1\bar{x}_2)\bar{x}_3] \\ &= x_1x_2[(x_1 + \bar{x}_2)(\bar{x}_1 + x_2)x_3 + \bar{x}_1x_2\bar{x}_3 + x_1\bar{x}_2\bar{x}_3] \\ &= x_1x_2(x_1x_2x_3 + \bar{x}_1\bar{x}_2x_3 + \bar{x}_1x_2\bar{x}_3 + x_1\bar{x}_2\bar{x}_3) \\ &= x_1x_2x_3 = VP \end{aligned}$$

9.17.

Viết hàm y dưới dạng tổng

$$y = \bar{x}_0x_1\bar{x}_2 + x_0\bar{x}_1x_2 + x_0x_1x_2$$

Viết hàm y dưới dạng tích

$$\begin{aligned} y &= (\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2)(x_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2)(x_0 + x_1 + \bar{x}_2) \\ &\quad (\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + x_2)(\bar{x}_0 + x_1 + x_2) \end{aligned}$$

9.18. Biểu diễn hàm đã cho dưới dạng bảng Karnaugh

$x_2x_3 \backslash x_0x_1$	00	01	11	10
00	1	1		
01	1	1		1
11			1	
10		1	1	

9.19. Biểu diễn hàm đã cho dưới dạng bảng Karnaugh

$x_2x_3 \backslash x_0x_1$	00	01	11	10
00	1	1		1
01	1			1
11	1			
10	1			

9.20. Dùng bảng Karnaugh

$x_2x_3 \backslash x_0x_1$	00	01	11	10
00	1	1		1
01	1	1		1
11	1			1
10	1			1

ta được hàm sau khi đã rút gọn $y(x_0, x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_0\bar{x}_2 + \bar{x}_3$

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VINH

182 Lê Duẩn, Vinh, Nghệ An

Điện thoại: 0238. 3551 345 (Máy lẻ: 312) - Fax: 0238. 3855 269

Email: nxbdhv@vinhuni.edu.vn

GIÁO TRÌNH **KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ**

Chịu trách nhiệm nội dung và xuất bản:

Giám đốc kiêm Tổng biên tập: PGS.TS. ĐINH TRÍ DŨNG

Chịu trách nhiệm nội dung khoa học:

HỘI ĐỒNG NGHIỆM THU TRƯỜNG ĐẠI HỌC VINH

Người nhận xét:

PGS.TS. HOÀNG MẠNH THẮNG

PGS.TS. LƯU TIỀN HƯNG

Biên tập sơ bộ:

LÊ VĂN CHƯƠNG

Biên tập:

PHAN QUỐC TRƯỜNG

Bìa, trình bày:

QUANG MINH

Sửa bản in:

TÁC GIẢ

ISBN 978-604-923-474-3

In 300 quyển, khổ 16 x 24 cm

Tại Công ty TNHH In Hòa Nhơn - Số 6/6 Lê Khôi, TP. Vinh, Nghệ An

Đăng ký kế hoạch xuất bản số: 2713-2019/CXBIPH/3-88/DHV

Quyết định xuất bản số: 30-2019/QĐXB-DHV ngày 26 tháng 8 năm 2019

In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2019

