

Lời nói đầu

Kỹ thuật điện nghiên cứu những ứng dụng của các hiện tượng điện từ nhằm biến đổi năng lượng và tín hiệu, bao gồm việc phát, truyền tải, phân phối và sử dụng điện năng trong sản xuất và đời sống.

Điện năng ngày nay được sử dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực vì các ưu điểm sau :

- Điện năng được sản xuất tập trung với nguồn công suất lớn.
- Điện năng có thể truyền tải đi xa với hiệu suất cao.
- Điện năng dễ dàng biến đổi thành các dạng năng lượng khác.
- Nhờ điện năng có thể tự động hoá mọi quá trình sản xuất, nâng cao năng suất lao động.

Điện năng tuy được phát hiện chậm hơn các năng lượng khác, nhưng với việc phát hiện và sử dụng điện năng đã thúc đẩy cách mạng khoa học công nghệ tiến như vũ bão sang kỷ nguyên điện khí hoá và tự động hoá. Vào cuối thế kỷ 19, ngành kỹ thuật điện tử ra đời và giữa thế kỷ 20 chế tạo được linh kiện điện tử công suất có điều khiển, từ đó điện tử công suất phát triển đã thúc đẩy và làm thay đổi tận gốc rễ lĩnh vực kỹ thuật điện. Kỹ thuật điện và kỹ thuật điện tử hoà nhập phát triển, cùng với công nghệ thông tin đã đưa nền sản xuất xã hội sang giai đoạn kinh tế tri thức.

Giáo trình kỹ thuật điện này gồm hai phần :

Phần I cung cấp các kiến thức về mạch điện (thông số, mô hình định luật) và các phương pháp tính toán mạch điện có chú ý đến dòng điện hình sin và mạch ba pha.

Phần II cung cấp các kiến thức về nguyên lý, cấu tạo, đặc tính và ứng dụng của các loại máy điện.

Giáo trình kỹ thuật điện được biên soạn dựa trên kinh nghiệm giảng dạy nhiều năm ở nhóm chuyên môn Điện Công Nghiệp - Khoa Điện - Trường Đại Học Bách Khoa - Đại Học Đà Nẵng và tham khảo giáo trình của các trường bạn. Đây là giáo trình đưa lên mạng nhằm giúp cho sinh viên không chuyên điện làm tài liệu tham khảo và học tập.

Do trình độ có hạn, giáo trình kỹ thuật điện không tránh khỏi thiếu sót, xin hoan nghênh mọi sự góp ý của bạn đọc. Các ý kiến đóng góp xin gửi về nhóm chuyên môn Điện Công Nghiệp - Khoa Điện - Trường Đại Học Bách Khoa - Đại Học Đà Nẵng.

Các tác giả

Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện

Biên soạn : Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Phần I

MẠCH ĐIỆN

Chương 1

KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

1.1. MẠCH ĐIỆN VÀ KẾT CẤU HÌNH HỌC CỦA MẠCH ĐIỆN

1.1.1. Mạch điện

Mạch điện là tập hợp các thiết bị điện, nối với nhau bằng các dây dẫn, tạo thành những vòng kín mà trong đó dòng điện có thể chạy qua. Mạch điện được cấu trúc từ nhiều thiết bị khác nhau, chúng thực hiện các chức năng xác định được gọi là phần tử mạch điện. Hai loại phần tử chính của mạch điện là nguồn và phụ tải (tải). Hình 1.1 là một ví dụ về mạch điện, trong đó : nguồn điện là máy phát điện MF; tải là bóng đèn Đ và động cơ điện ĐC và dây dẫn là dây kim loại. Như vậy mạch điện gồm :

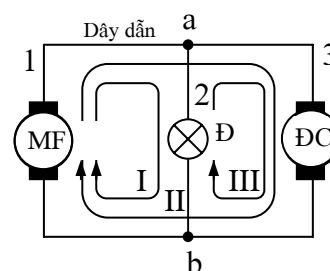
1. Nguồn điện : Nguồn điện là thiết bị phát ra điện năng, về nguyên lý là thiết bị biến đổi các dạng năng lượng khác thành điện năng. Ví dụ như máy phát điện biến cơ năng thành điện năng, pin và acquy biến hoá năng thành điện năng. . .

2. Phụ tải : Phụ tải là các thiết bị tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác, như động cơ điện biến điện năng thành cơ năng, đèn điện biến điện năng thành quang năng, bàn là và bếp điện biến điện năng thành nhiệt năng. . .

Ngoài hai loại chính trên, trong mạch điện còn có dây dẫn nối từ nguồn đến tải để tạo thành mạch vòng kín và để truyền tải điện năng từ nguồn đến tải.

1.1.2. Kết cấu hình học của mạch điện.

Kết cấu hình học của mạch điện gồm có : Nhánh, nút, vòng.



Hình 1.1 Mạch điện

1. **Nhánh** : Nhánh là bộ phận của mạch điện, gồm các phần tử mắc nối tiếp nhau trong đó có cùng một dòng điện chạy qua. Mạch điện hình 1.1 có ba nhánh đánh số 1, 2 và 3.

2. **Nút** : Nút là chỗ gặp nhau của ba nhánh trở lên. Mạch điện hình 1.1 có hai nút ký hiệu a và b.

3. **Vòng hay mạch vòng** : Vòng là đường đi khép kín qua các nhánh. Mạch điện hình 1.1 tạo thành ba vòng ký hiệu I, II và III.

1.2. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG

Để đặc trưng cho quá trình biến đổi năng lượng (quá trình năng lượng) trong một nhánh hay một phần tử của mạch điện ta dùng hai đại lượng : Dòng điện i và điện áp u . Công suất của nhánh hoặc của phần tử là $p = u.i$.

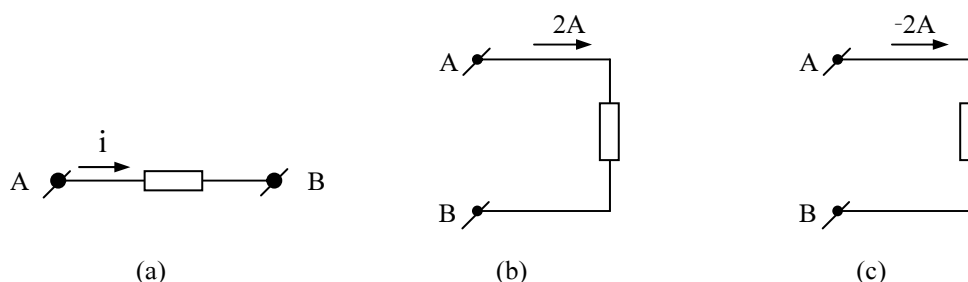
1.2.1. Dòng điện

Dòng điện là dòng chuyển dịch có hướng của các điện tích. Cường độ dòng điện i (gọi tắt là dòng điện) về trị số bằng tốc độ biến thiên của lượng điện tích q qua tiết diện ngang của một vật dẫn.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

trong đó, q là điện tích qua tiết diện ngang của vật dẫn trong thời gian t .

Trong hệ thống đơn vị SI (In the standard international system of units), dòng điện có đơn vị là A (Ampère).



Hình 1.2 Qui ước về chiều dòng điện

Chiều dòng điện, theo định nghĩa, là chiều chuyển động của điện tích dương trong điện trường (hay ngược chiều với chuyển động các điện tích âm). Để tiện việc tính toán, người ta qui ước chiều dòng điện trên một nhánh bằng một mũi tên như hình 1.2a gọi là chiều dương dòng điện. Nếu tại một thời điểm t nào đó, chiều dòng điện trùng với chiều dương thì i sẽ mang dấu dương ($i > 0$, hình 1.2b), còn nếu chiều dòng điện ngược với chiều dương thì i sẽ mang dấu âm ($i < 0$, hình 1.2c),

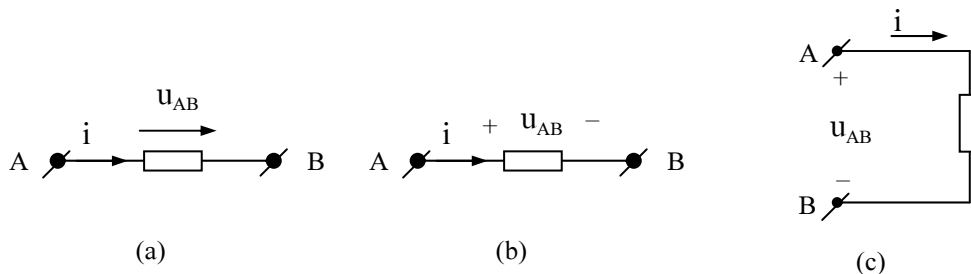
1.2.2. Điện áp

Điện áp là hiệu điện thế giữa hai điểm. Như vậy điện áp giữa hai điểm A và B trên hình 1.3a có điện thế φ_A và φ_B là :

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1.2)$$

Trong hệ thống đơn vị SI, điện áp có đơn vị là V (volt).

Chiều điện áp qui ước là chiều từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp. Cũng để tiện việc tính toán, người ta qui ước chiều dương điện áp trên một nhánh (thường trùng với chiều dương dòng điện) bằng một mũi tên và trên đó ta ghi ký hiệu điện áp của nhánh như hình 1.3a hoặc đánh dấu cộng và dấu trừ như hình 1.3b,c. Nếu $u_{AB} > 0$ điện thế A cao hơn điện thế B; còn $u_{AB} < 0$ điện thế A thấp hơn điện thế B.



Hình 1.3 Qui ước về chiều điện áp

1.2.3. Công suất

Trong một phần tử, một nhánh hay một mạch điện có thể nhận năng lượng hoặc phát năng lượng. Khi chọn chiều dòng điện và điện áp trùng nhau, sau khi tính toán công suất p của nhánh, ta có thể kết luận như sau về quá trình năng lượng của nhánh. Ở một thời điểm nào đó :

$$p(t) = u(t).i(t) \quad (1.3)$$

Nếu $p(t) > 0$: u và i cùng chiều: nhánh nhận năng lượng.

$p(t) < 0$: u và i ngược chiều: nhánh phát năng lượng.

1.2.4. Điện năng

Nếu điện áp u và dòng điện i trên một phần tử phụ thuộc thời gian t , điện năng tiêu thụ bởi phần tử từ t_0 đến t là :

$$A = \int_{t_0}^t p \cdot dt = \int_{t_0}^t u(t)i(t)dt \quad (1.4)$$

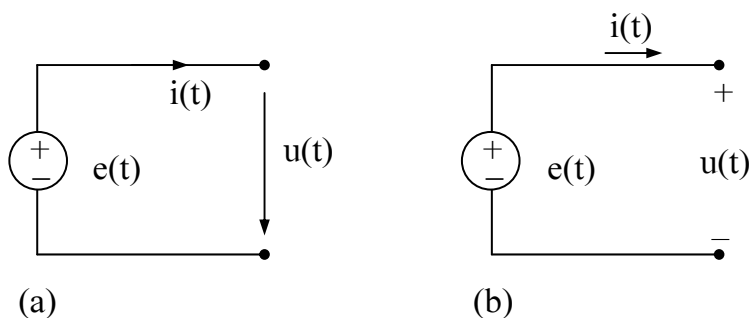
Đơn vị của điện năng là J (Joule), Wh (Watt. giờ). Bội số của nó là : kWh, đây là đơn vị để tính tiền điện.

1.3. CÁC THÔNG SỐ VÀ MÔ HÌNH MẠCH

Mạch điện gồm nhiều phần tử nối với nhau. Khi làm việc nhiều hiện tượng điện từ xảy ra trong các phần tử. Khi tính toán người ta thay thế mạch điện thực bằng mô hình mạch. Mô hình mạch gồm nhiều phần tử lý tưởng đặc trưng cho quá trình điện từ trong mạch và được ghép nối với nhau tùy theo kết cấu của mạch. Dưới đây ta sẽ xét các phần tử lý tưởng của mô hình mạch gọi là các thông số của mạch điện.

1.3.1. Các thông số (phần tử) của mạch điện

1. Nguồn điện áp $u(t)$



Hình 1.4 Ký hiệu chiều nguồn áp

Nguồn điện áp $u(t)$ là thông số của mạch điện đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì trên hai cực của nguồn một điện áp, không phụ thuộc vào giá trị dòng điện cung cấp từ nguồn. Nguồn áp được ký hiệu như hình 1.4a hoặc 1.4b và được biểu diễn bằng một sức điện động (sđđ) $e(t)$. Chiều điện áp $u(t)$ từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp, vì thế điện áp $u(t)$ chính bằng sức điện động $e(t)$ của nguồn :

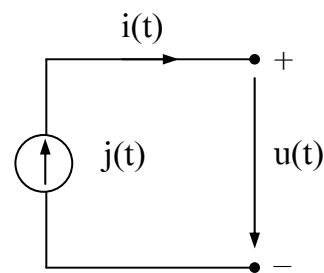
$$u(t) = e(t) \quad (1.5)$$

2. Nguồn dòng điện $j(t)$

Nguồn dòng điện $j(t)$ đặc trưng cho khả năng của nguồn điện tạo nên và duy trì một dòng điện cung cấp cho mạch ngoài, không phụ thuộc vào điện áp trên hai cực của nguồn :

$$j(t) = i(t) \quad (1.6)$$

Nguồn dòng điện được ký hiệu như hình 1.5.



Hình 1.5 Nguồn dòng điện

3. Điện trở R

Cho dòng điện i qua điện trở R (hình 1.6) và gây ra có điện áp rơi u_R trên điện trở. Theo định luật Ohm, quan hệ giữa dòng điện i và điện áp u_R là :

$$u_R = Ri \quad \text{hoặc} \quad i = Gu_R \quad (1.7)$$

Trong đó : $G = \frac{1}{R}$ gọi là điện dẫn.

Công suất tiêu thụ trên điện trở:

$$p_R = u_R i = Ri^2 \quad (1.8)$$

Như vậy điện trở R đặc trưng cho quá trình tiêu tán.

Điện năng tiêu thụ trên điện trở R trong khoảng thời gian t :

$$A = \int_0^t p_R dt = \int_0^t Ri^2 dt \quad (1.9)$$

với $i = \text{const}$, ta có:

$$A = Ri^2 t \quad (1.10)$$

Trong hệ đơn vị SI, điện trở có đơn vị là Ω (Ohm), điện dẫn là S (Simen),

4. Điện cảm L

Cho qua cuộn dây có N vòng một dòng điện i thì sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cuộn dây là :

$$\Psi = N\Phi \quad (1.11)$$

Điện cảm L của cuộn dây được định nghĩa là:

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} \quad (1.12)$$

Đơn vị của điện cảm là H (Henry).

Nếu dòng điện i biến thiên theo thời gian t thì từ thông Ψ cũng biến thiên theo thời gian t và cuộn dây cảm ứng sẽ tự cảm e_L khi $L = \text{Const}$ (hình 1.7) :

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1.13)$$

Điện áp rơi trên điện cảm:

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1.14)$$

Công suất cuộn dây nhận:

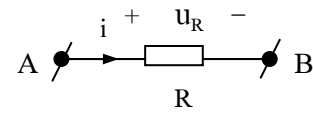
$$p_L = u_L i = Li \frac{di}{dt} \quad (1.15)$$

Năng lượng từ trường tích lũy trong cuộn dây:

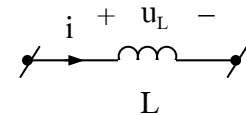
$$W_{tt} = \int_0^t p_L dt = \int_0^{i(t)} Li di \quad (1.16)$$

$$\text{Vậy} \quad W_{tt} = \frac{1}{2} Li^2. \quad (1.17)$$

Như vậy điện cảm L đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng từ trường của cuộn dây.



Hình 1.6 Điện trở



Hình 1.7 Cuộn dây

5. HỖ CẢM M

Hiện tượng hồ cảm là hiện tượng xuất hiện từ trường trong một cuộn dây do dòng điện biến thiên trong cuộn dây khác tạo nên. Trên hình 1.8a là hai cuộn dây có liên hệ hồ cảm với nhau.

Từ thông móc vòng với cuộn dây 1 gồm hai thành phần :

$$\Psi_1 = \Psi_{11} + \Psi_{12} \quad (1-18)$$

trong đó : Ψ_{11} là từ thông móc vòng với cuộn dây 1 do chính dòng điện i_1 tạo nên.

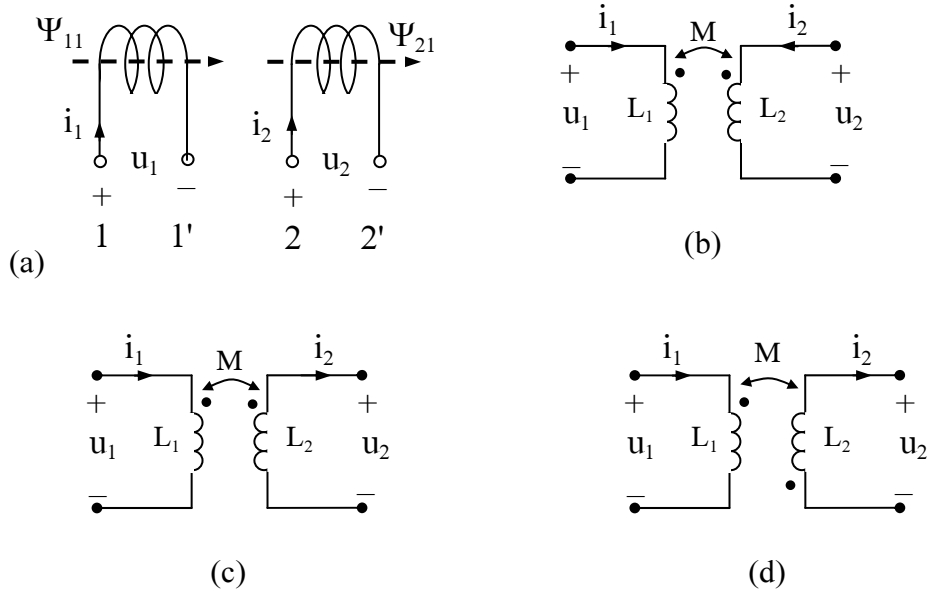
Ψ_{12} là từ thông móc vòng với cuộn dây 1 do dòng điện i_2 tạo nên.

Tương tự, từ thông móc vòng với cuộn dây 2 :

$$\Psi_2 = \Psi_{22} + \Psi_{21} \quad (1-19)$$

trong đó : Ψ_{22} là từ thông móc vòng với cuộn dây 2 do chính dòng điện i_2 tạo nên.

Ψ_{21} là từ thông móc vòng với cuộn dây 2 do dòng điện i_1 tạo nên.



Hình 1.8 Hai cuộn dây ghép hồ cảm

Trường hợp trong môi trường là tuyến tính, ta có :

$$\Psi_{11} = L_1 i_1; \quad \Psi_{12} = \pm M_{12} i_2 \quad (1-20)$$

$$\Psi_{22} = L_2 i_2; \quad \Psi_{21} = \pm M_{21} i_1 \quad (1-21)$$

với L_1, L_2 tương ứng là hệ số tự cảm của cuộn dây 1 và 2.

$M_{12} = M_{21} = M$ là hệ số hồ cảm giữa hai cuộn dây.

Khi thay (1-20) và (1-21) vào (1-18) và (1-19), ta viết lại như sau :

$$\Psi_1 = L_1 i_1 \pm M i_2 \quad (1-22)$$

$$\Psi_2 = L_2 i_2 \pm M i_1 \quad (1-23)$$

Việc chọn dấu + hoặc dấu – trước M trong biểu thức trên phụ thuộc vào chiều quấn các cuộn dây cũng như chọn chiều dương dòng điện i_1 và i_2 . Nếu cực tính của các điện áp u_1 , u_2 và chiều dương dòng điện i_1 , i_2 được chọn như hình 1.8a, thì theo định luật cảm ứng điện từ Faraday, ta có :

$$u_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{d\Psi_{11}}{dt} + \frac{d\Psi_{12}}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} \quad (1-24)$$

$$u_2 = \frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{d\Psi_{22}}{dt} + \frac{d\Psi_{21}}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt} \quad (1-25)$$

Cũng như điện cảm L, đơn vị của hồ cảm M là Henry (H). Ta thường ký hiệu hồ cảm giữa 2 cuộn dây bằng chữ M và mũi tên hai chiều như hình 1.8b, và dùng cách đánh dấu hai cực cùng tính của cuộn dây bằng dấu chấm (*) để xác định dấu của phương trình (1.24) và (1.25). Nếu hai dòng điện i_1 và i_2 cùng đi vào (hoặc cùng đi ra) các cực tính đánh dấu ấy thì từ thông hồ cảm Ψ_{12} và tự cảm Ψ_{11} cùng chiều. Cực cùng tính phụ thuộc chiều quấn dây và vị trí các cuộn dây.

Từ định luật Lentz, với qui ước đánh dấu các cực cùng tính như trên, có thể suy ra qui tắc sau đây để xác định dấu + hoặc – trước biểu thức $M \cdot di/dt$ của điện áp hồ cảm. *Nếu dòng điện i có chiều dương đi vào đầu có dấu chấm trong một cuộn dây và điện áp có cực tính + ở đầu có dấu chấm trong cuộn dây kia thì điện áp hồ cảm là $M \cdot di/dt$, trường hợp ngược lại – $M \cdot di/dt$.*

Ví dụ như hình 1-8b, ta có :

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Với hình 1-8c, ta có :

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Với hình 1-8d, ta có :

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

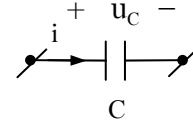
$$u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

6. Điện dung C

Đặt một điện áp u_C lên tụ điện thì qua tụ sẽ có dòng dịch chuyển i và ở hai bản cực tụ điện tích lũy điện tích q (hình 1.9).

Điện dung C của tụ điện là:

$$C = \frac{q}{u_C} \quad (1.26).$$



Hình 1.9 Tụ điện

Đơn vị của điện dung là F (Fara).

Dòng điện i qua tụ là:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} \quad (1.27).$$

Từ (1.20), ta có điện áp rơi trên tụ điện có điện dung C là :

$$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_C(0). \quad (1.28a)$$

Nếu ở thời điểm $t = 0$ mà $u_C(0) = 0$, ta có:

$$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1.28b)$$

Công suất trên tụ điện C là:

$$p_C = u_C i = C u_C \frac{du_C}{dt} \quad (1.29)$$

Năng lượng điện trường tích lũy trong tụ:

$$W_{dt} = \int_0^t p_C dt = \int_0^{u_C} C u_C du_C = \frac{1}{2} C u_C^2 \quad (1.30)$$

Vậy điện dung C đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng điện trường trong tụ điện.

1.3.2. Mô hình mạch điện

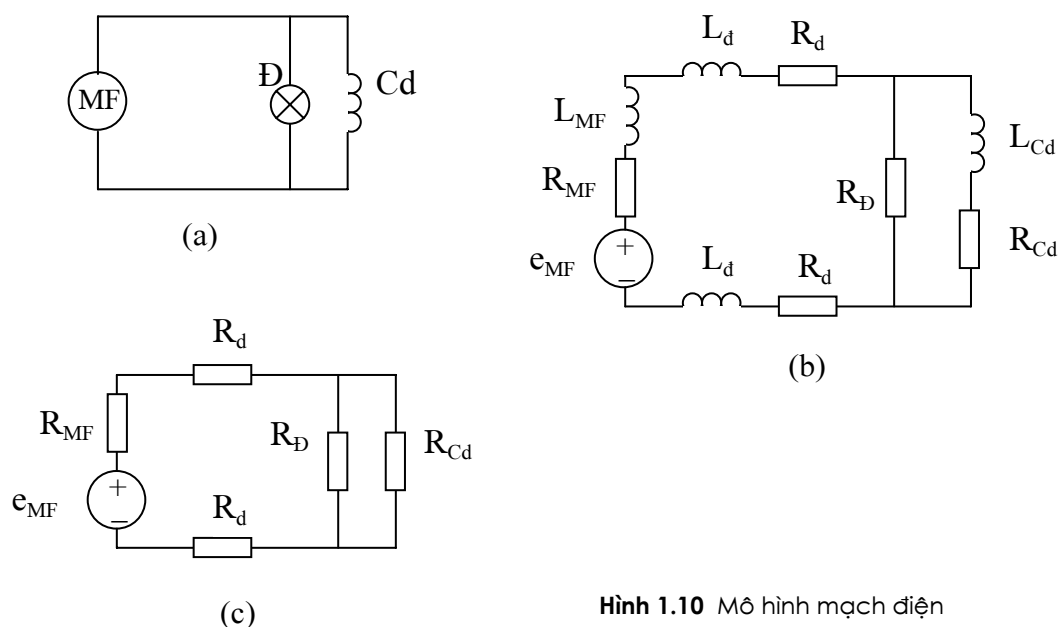
Mô hình mạch là sơ đồ thay thế mạch điện mà trong đó quá trình năng lượng và kết cấu hình học giống như mạch điện thực, song các phần tử của mạch điện được thay thế bằng các thông số lý tưởng e, j, R, L, M, C .

Ví dụ, thành lập sơ đồ thay thế mạch điện có mạch điện thực như hình 1.10a. Để thành lập mô hình mạch điện, đầu tiên ta liệt kê các hiện tượng năng lượng xảy ra trong từng phần tử và thay thế chúng bằng các thông số lý tưởng rồi sau đó nối với nhau tùy theo kết cấu hình học của mạch.

Hình 1.10b là sơ đồ thay thế của mạch điện hình 1.10a, trong đó nếu máy phát điện MF là máy phát xoay chiều thì được thay bằng thế bằng e_{MF} nối tiếp với R_{MF} và L_{MF} , đường dây được thay thế bằng R_d và L_d , bóng đèn Đ được thay thế bằng R_D ,

cuộn dây Cd được thay thế bằng R_{Cd} và L_{Cd} . Trường hợp máy phát MF là máy phát điện một chiều thì mạch điện thay thế trên hình 1.10c

Mô hình mạch điện được sử dụng rất thuận lợi trong việc nghiên cứu và tính toán mạch điện và thiết bị điện.



Hình 1.10 Mô hình mạch điện

1.4. PHÂN LOẠI VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MẠCH ĐIỆN

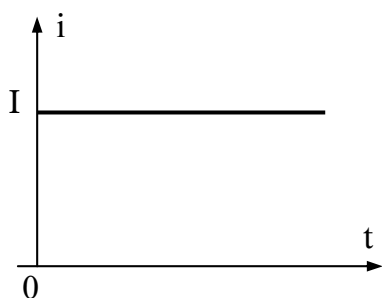
1.4.1. Phân loại mạch điện

1. Phân theo dạng của dòng điện

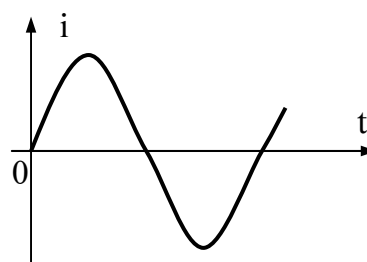
+ *Mạch điện một chiều* là mạch điện có dòng điện một chiều. Dòng điện một chiều là dòng điện có trị số và chiều không thay đổi theo thời gian (hình 1.11).

+ *Mạch điện xoay chiều* là mạch điện có dòng điện xoay chiều. Dòng điện xoay chiều là dòng điện có chiều biến đổi theo thời gian.

Dòng điện xoay chiều được sử dụng nhiều nhất là dòng điện hình sin, biến đổi hàm sin theo thời gian (hình 1.12)



Hình 1.11 Dòng điện một chiều



Hình 1.12 Dòng điện xoay chiều

2. Phân theo tính chất của các phần tử

+ *Mạch điện tuyến tính* là mạch điện mà các thông số R, L, M, C đều tuyến tính nghĩa là R, L, M, C đều hằng số, không phụ thuộc dòng điện i hoặc điện áp u trên chúng.

+ *Mạch điện phi tuyến* là mạch điện có các thông số R, L, M, C phi tuyến nghĩa là R, L, M, C thay đổi theo dòng điện i hoặc điện áp u trên chúng.

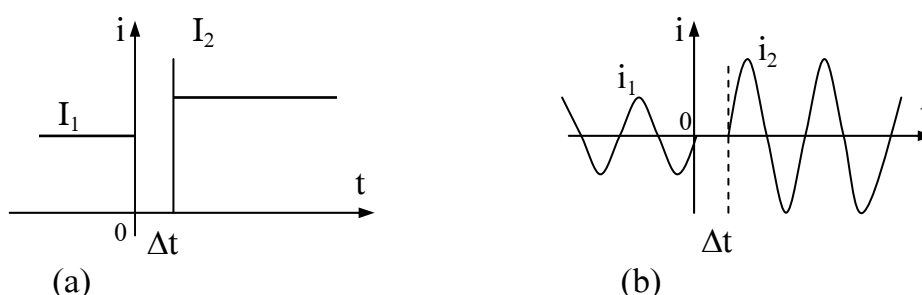
1.4.2. Chế độ làm việc của mạch điện

1. Chế độ xác lập của mạch điện :

Chế độ xác lập của mạch điện là quá trình xảy ra lâu dài trong mạch, dưới tác động của nguồn, dòng điện và điện áp trên các phần tử đạt trạng thái ổn định. Ở chế độ xác lập, dòng điện và điện áp trên các phần tử biến thiên theo qui luật biến thiên của nguồn.

2. Chế độ quá độ của mạch điện :

Chế độ quá độ của mạch điện là quá trình nảy sinh trong mạch điện, khi nó chuyển từ chế độ xác lập này sang chế độ xác lập khác. Chế độ quá độ xảy ra khi đóng cắt hoặc thay đổi các thông số của mạch có chứa L, C . Thời gian quá độ Δt thường rất ngắn. Trên hình 1.13a,b, trước thời điểm $t = 0$ là chế độ xác lập cũ, sau thời điểm $t = \Delta t$ là chế độ xác lập mới, còn $0 < t < \Delta t$ là chế độ quá độ.



Hình 1.13 Chế độ xác lập và quá độ
a. Dòng điện một chiều; b. Dòng điện xoay chiều

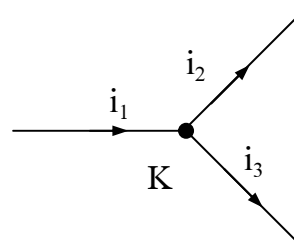
1.5. HAI ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

1.5.1. Định luật Kirchhoff 1 (K1)

Còn gọi là định luật Kirchhoff về dòng điện, được phát biểu như sau : *Tổng đại số các dòng điện tại một nút bất kỳ bằng không.*

$$\sum_{\text{nút}} \pm i_k = 0 \quad (1.31)$$

trong đó, nếu qui ước dòng điện đi đến nút mang



Hình 1.14 Một nút của mạch điện

dấu dương (+) thì dòng điện rời khỏi nút phải mang dấu âm (-) và ngược lại.

VÍ DỤ 1.1 : Áp dụng định luật Kirchhoff I, viết tại nút K ở hình 1.14. Ta có :

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0.$$

1.5.2. Định luật Kirchhoff II (K 2)

Định luật này còn gọi là định luật Kirchhoff về điện áp, được phát biểu như sau:

Tổng đại số các điện áp trên các phần tử dọc theo tất cả các nhánh trong một vòng kín với chiều tùy ý bằng không.

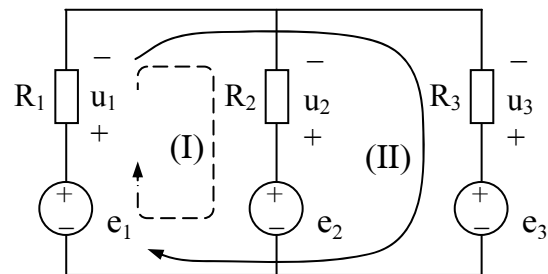
$$\sum_{\text{vòng}} \pm u_k = 0 \quad (1.32)$$

Nếu chiều mạch vòng đi từ cực + sang - của một điện áp thì điện áp đó mang dấu +, còn ngược lại mang dấu -.

VÍ DỤ 1.2 : Như trên hình 1-15, áp dụng định luật Kirchhoff về điện áp viết phương trình điện áp cho hai mạch vòng I và II, như sau :

$$u_1 - u_2 + e_2 - e_1 = 0$$

$$u_1 - u_3 + e_3 - e_1 = 0$$



Hình 1-15

Chuyển về các sdd, ta có :

$$u_1 - u_2 = e_1 - e_2$$

$$u_1 - u_3 = e_1 - e_3$$

Như vậy ta viết lại phương trình (1.32) như sau :

$$\sum_{\text{vòng}} \pm u_{pt} = \sum_{\text{vòng}} \pm e_k \quad (1.33)$$

trong đó u_{pt} là điện áp trên các phần tử không phải là nguồn sdd

Định luật Kirchhoff II được phát biểu lại như sau :

Đi theo một vòng kín với chiều tùy ý, tổng đại số các sụt áp trên các phần tử bằng tổng đại số các sdd; trong đó, nếu chiều vòng đi từ cực tính + sang cực tính - của điện áp thì điện áp đó mang dấu +, còn ngược lại mang dấu - và nếu chiều vòng đi từ cực tính - sang cực tính + của sdd thì sdd đó mang dấu +, còn ngược lại mang dấu -.

Ta có thể viết điện áp trên các phần tử thông qua các biến của nhánh, nên biểu thức (1-33) có thể viết lại thành :

$$\sum (\pm R_k i_k \pm L_k \frac{di_k}{dt} \pm \frac{1}{C_k} \int i_k dt) = \sum \pm e_k \quad (1-34)$$

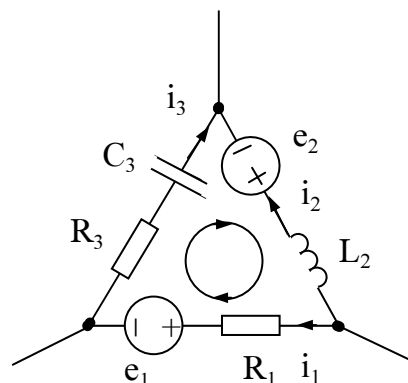
Trong đó, chiều mạch vòng cùng chiều dương dòng điện mang dấu dương còn ngược lại mang dấu âm.

VÍ DỤ 1.3: Áp dụng định luật Kirchhoff 2, viết cho mạch vòng hình 1.16 :

$$R_3 i_3 + \frac{1}{C_3} \int i_3 dt - L_2 \frac{di_2}{dt} + R_1 i_1 = e_2 - e_1$$

Định luật Kirchhoff 2 nói lên tính chất thế của mạch điện. Trong một mạch điện xuất phát từ một điểm theo một vòng kín và trở lại vị trí xuất phát thì lượng tăng thế bằng không.

Hai định luật Kirchhoff diễn tả đầy đủ quan hệ dòng điện và điện áp trong mạch điện. Dựa trên hai định luật này người ta có thể xây dựng các phương pháp giải mạch điện.



Hình 1-16. Một mạch vòng kín

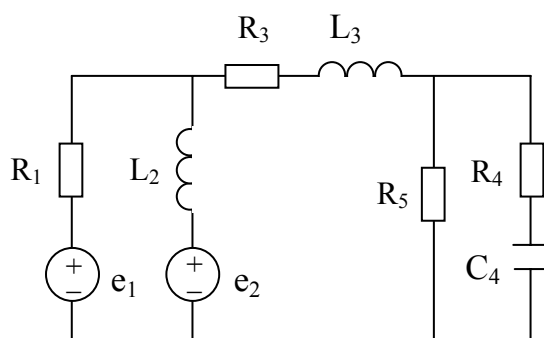


BÀI TẬP

Bài 1.1. Cho biết mạch điện hình 1-1 có bao nhiêu nhánh, bao nhiêu nút và bao nhiêu mạch vòng. Hãy nêu ra các nhánh gồm những phần tử nào ? Các vòng qua các nhánh nào và các nút là điểm gặp nhau của các nhánh nào ?

Bài 1.2. Cho mạch điện như hình 1-2.

1. Mạch điện có bao nhiêu nhánh, bao nhiêu nút và bao nhiêu mạch vòng ?
2. Hãy nêu ra các nhánh gồm những phần tử nào ? Các vòng qua các nhánh nào và các nút là điểm gặp nhau của các nhánh nào ?
3. Hãy viết biểu thức điện áp trên các phần tử và các nhánh ?

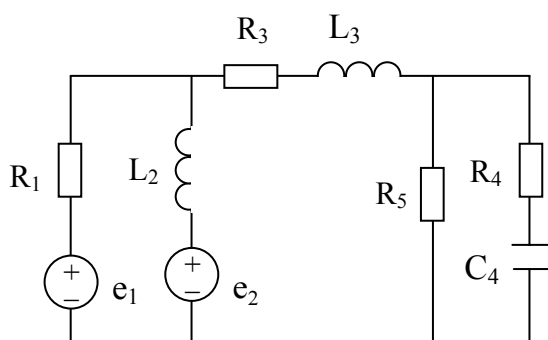


Hình 1-1

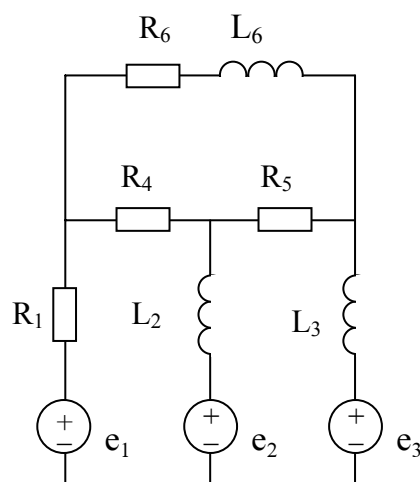
Bài 1.3. Cho mạch điện ở hình 1-2 & hình 1-3.

1. Giả thiết mỗi nhánh một dòng điện và định chiều dương dòng điện trên các nhánh? Giả thiết về điện áp và chiều dương điện áp trên các phần tử.

2. Áp dụng định luật Kirchhoff 1 & 2 để viết các phương trình về dòng cho các nút và các phương trình về điện áp cho các mạch vòng ?



Hình 1-3



Hình 1-2

Bài 1.4. Hãy tự vẽ một mạch điện gồm 3 nhánh nối song song. Mỗi nhánh đều có một nguồn sđđ và hai phần tử.

1. Dùng định luật Kirchhoff 1 & 2 để viết các phương trình về dòng cho các nút và các phương trình về điện áp cho các mạch vòng ?
2. Từ các phương trình của câu 1, hãy tìm một hệ phương trình độc lập ? (một phương trình nào đó trong hệ không suy ra từ các phương trình khác của hệ).



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
 Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
 Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Chương 2

DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Dòng điện hình sin là dòng điện xoay chiều có trị số biến thiên phụ thuộc thời gian theo một hàm số hình sin.

2.1.1. Dạng tổng quát của đại lượng hình sin

Trị số của đại lượng hình sin ở một thời điểm t gọi là trị số tức thời và được biểu diễn dưới dạng tổng quát là :

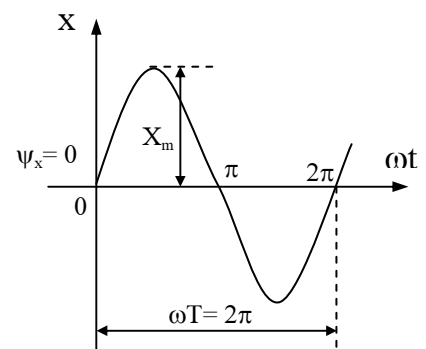
$$x = X_m \sin(\omega t + \Psi_x) \quad (2.1)$$

Ví dụ, đại lượng hình sin là :

$$\text{Dòng điện: } i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i) \quad (2.1a)$$

$$\text{Điện áp: } u = U_m \sin(\omega t + \Psi_u) \quad (2.1b)$$

$$\text{Sdd: } e = E_m \sin(\omega t + \Psi_e) \quad (2.1c)$$



Hình 2.1 Đại lượng hình sin

2.1.2. Các thông số đặc trưng của đại lượng hình sin.

1. *Biên độ của đại lượng hình sin X_m* : Giá trị cực đại của đại lượng hình sin, nó nói lên đại lượng hình sin đó lớn hay bé. Để phân biệt, trị số tức thời được ký hiệu bằng chữ in thường x (i, u, \dots), biên độ được ký hiệu bằng chữ in hoa X_m ($I_m, U_m \dots$)

2. *Góc pha ($\omega t + \Psi_x$)* (hay còn gọi là pha) là xác định chiều và trị số của đại lượng hình sin ở thời điểm t nào đó.

3. *Pha ban đầu Ψ_x* : xác định chiều và trị số của đại lượng hình sin ở thời điểm $t = 0$. Hình 2.1 vẽ đại lượng hình sin với pha ban đầu bằng 0.

4. Chu kỳ T của đại lượng hình sin là khoảng thời gian ngắn nhất để đại lượng hình sin lặp lại về chiều và trị số. Từ hình 2.1, ta có : $\omega T = 2\pi$. Vậy chu kỳ T là :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (s)} \quad (2.2)$$

+ Tần số f : Số chu kỳ của đại lượng hình sin trong một giây. Đơn vị của tần số là Hertz, ký hiệu là Hz.

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)} \quad (2.3)$$

+ Tần số góc ω (rad/s). Tốc độ biến thiên của góc pha trong một giây.

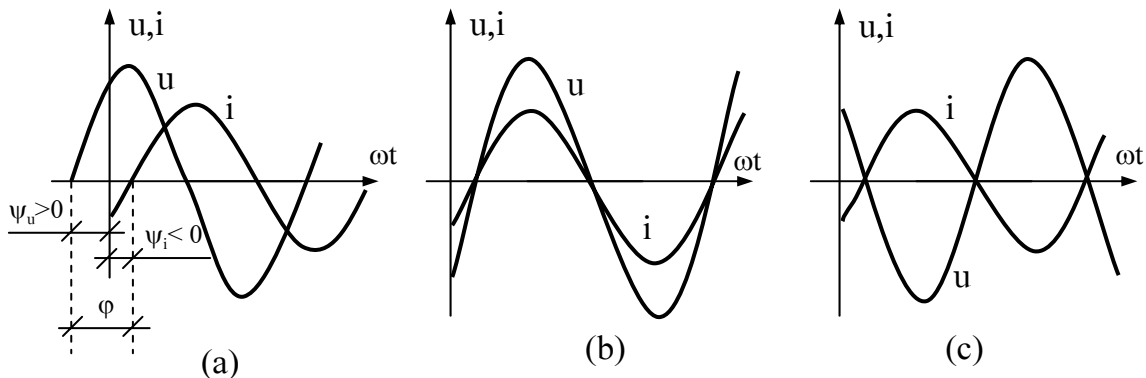
$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)} \quad (2.4)$$

Lưới điện công nghiệp của nước ta có tần số $f = 50\text{Hz}$. Vậy chu kỳ $T = 0,02\text{s}$ và tần số góc là $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 100\pi \text{ rad/s}$.

2.1.3. Sự lệch pha của hai đại lượng hình sin cùng tần số

Hai đại lượng hình sin không đồng thời đạt trị số không hoặc trị số cực đại thì được gọi là lệch pha nhau, đặc trưng cho sự lệch pha nó bằng hiệu hai pha ban đầu.

Ví dụ, ta có điện áp $u = U_m \sin(\omega t + \Psi_u)$ có pha ban đầu $\Psi_u > 0$ và dòng điện $i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i)$ có pha ban đầu $\Psi_i < 0$ được trình bày trên hình 2.2a.



Hình 2.2 Sự lệch pha của hai đại lượng hình sin cùng tần số

Góc lệch pha của điện áp và dòng điện là :

$$\varphi = \Psi_u - \Psi_i$$

Nếu: $\varphi > 0$: điện áp vượt trước dòng điện một góc là φ (hình 2.2a).

$\varphi < 0$: điện áp chậm sau dòng điện một góc là φ .

$\varphi = 0$: điện áp và dòng điện trùng pha nhau (hình 2.2b).

$\varphi = \pm 180^\circ$: điện áp và dòng điện ngược pha nhau (hình 2.2c).

$\varphi = \pm 90^\circ$: điện áp và dòng điện vuông pha nhau.

2.2. TRỊ SỐ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Trị số hiệu dụng của dòng điện hình sin là trị số tương đương về phương diện tiêu tán năng lượng với dòng điện không đổi I nào đó.

Cho dòng điện hình sin i qua nhánh có điện trở R (hình 2.3) trong một chu kỳ T thì năng lượng tiêu tán trên nhánh có điện trở đó là :

$$W = \int_0^T R i^2 dt \quad (2.5)$$

Cũng cho qua nhánh có điện trở R dòng điện một chiều I trong một thời gian T , ta có:

$$W = RI^2T \quad (2.6)$$

Vậy từ (2.5) và (2.6), ta có trị hiệu dụng dòng điện hình sin :

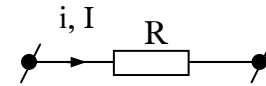
$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (2.7)$$

Thay dòng điện hình sin $i = I_m \sin \omega t$ vào (2.7) và tính, ta có:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2 dt} = I_m / \sqrt{2} \quad (2.8)$$

Tương tự, trị số hiệu dụng của điện áp và sdd là :

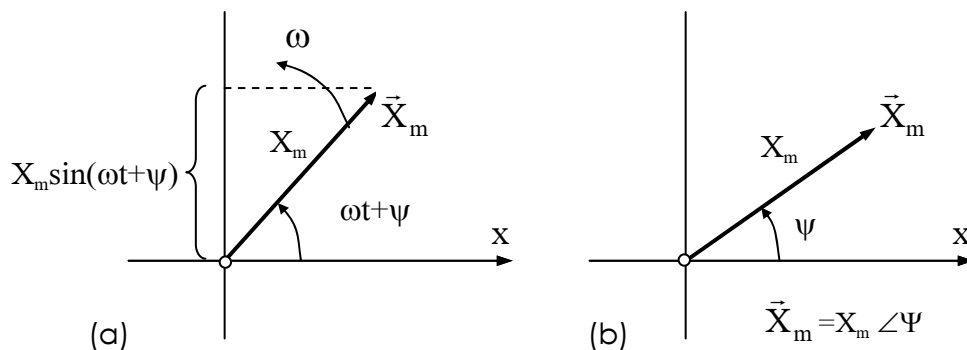
$$U = U_m / \sqrt{2} ; \quad E = E_m / \sqrt{2} . \quad (2.9)$$



Hình 2.3 Nhánh R

2.3. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG VECTOR

Đại lượng hình sin tổng quát $x(t) = X_m \sin(\omega t + \psi)$ gồm ba thông số : biên độ X_m , tần số góc ω và pha ban đầu ψ . Các thông số như thế được trình bày trên hình 2.4a bằng một vectơ quay \vec{X}_m có độ lớn X_m , hình thành từ góc pha $(\omega t + \psi)$ với trục hoành. Hình chiếu vectơ lên trục tung cho ta trị số tức thời của đại lượng hình sin.



Hình 2-4 Biểu diễn đại lượng hình sin bằng vectơ

Vectơ quay ở trên có thể biểu diễn bằng vectơ đứng yên (tức là ở thời điểm $t = 0$) như hình 2.4b. Vectơ này chỉ có hai thông số, biên độ và pha ban đầu, và được ký hiệu :

$$\vec{X}_m = X_m \angle \Psi \quad (2.10)$$

Ký hiệu \vec{X}_m chỉ rõ vectơ tương ứng với đại lượng hình sin $x(t) = X_m \sin(\omega t + \psi)$ và ký hiệu $X_m \angle \Psi$ có nghĩa là vectơ \vec{X}_m có biên độ X_m và pha ban đầu ψ . Vậy, nếu ω cho trước thì đại lượng hình sin hoàn toàn xác định khi ta biết biên độ (hay trị hiệu dụng X) và pha ban đầu. Như vậy đại lượng hình sin cũng có thể biểu diễn bằng vectơ có độ lớn bằng trị hiệu dụng X và pha ban đầu ψ , như $\vec{X} = X \angle \Psi$.

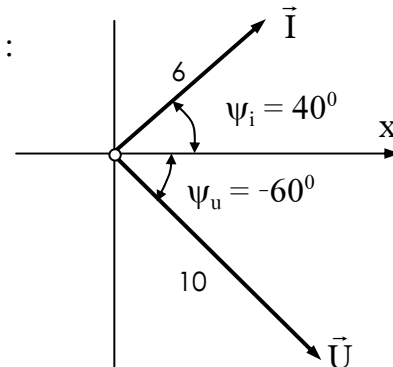
VÍ DỤ 2.1: Cho dòng điện $i = \sqrt{2} 6 \sin(\omega t + 40^\circ) \text{ A}$;

và điện áp $u = \sqrt{2} 10 \sin(\omega t - 60^\circ) \text{ V}$.

Biểu diễn chúng sang dạng vectơ như hình VD 2.1:

$$\vec{I} = 6 \angle 40^\circ \text{ A} ;$$

$$\vec{U} = 10 \angle -60^\circ \text{ V}$$



Hình VD 2-1 Biểu diễn dòng điện và điện áp hình sin bằng vectơ

Ta thấy $\psi > 0$, vectơ được vẽ nằm trên trục hoành, còn $\psi < 0$, vectơ nằm dưới trục hoành (hình VD 2.1).

2.4. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG SỐ PHỨC

2.4.1. Khái niệm về số phức

Số phức là tổng gồm hai thành phần, có dạng như sau :

$$V = a + jb \quad (2.11)$$

trong đó a, b là các số thực; a gọi là phần thực, b gọi là phần ảo và $j = \sqrt{-1}$.

2.4.2. Hai dạng viết của số phức

+ Dạng đại số: Để phân biệt với môđun (độ lớn) sau này ta viết số phức V có dấu chấm trên đầu :

$$\dot{V} = a + jb \quad (2.12)$$

+ **Dạng lượng giác:**

Biểu diễn số phức $\dot{V} = a + jb$ lên mặt phẳng phức bằng một điểm V. Điểm V có tọa độ ngang là phần thực a và tọa độ đứng là phần ảo b (hình 2-5).

Ta cũng có thể biểu diễn số phức $\dot{V} = a + jb$ lên tọa độ cực bằng một vectơ \vec{V} . Vectơ \vec{V} có môđun là từ gốc tọa độ 0 đến điểm V và argumen Ψ là góc hợp giữa vectơ \vec{V} với trục ngang (hình 2-5).

Từ hình 2-5, ta có :

$$\begin{cases} a = V \cos \Psi \\ b = V \sin \Psi \end{cases} \quad \begin{cases} V = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \Psi = \arctg \frac{b}{a} \end{cases}$$

Dạng lượng giác của số phức :

$$\dot{V} = V \cos \Psi + jV \sin \Psi \quad (2.13)$$

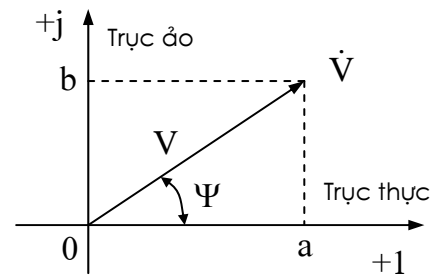
+ **Dạng số mũ :**

Ta có công thức Euler :

$$e^{j\Psi} = \cos \Psi + j \sin \Psi$$

Viết lại số phức (2.12) thành dạng số mũ :

$$\dot{V} = V e^{j\Psi} = V \angle \Psi \quad (2.14)$$



Hình 2-5 Biểu diễn số phức lên mặt phẳng phức

2.4.3. Hai số phức cần nhớ

Cần nhớ hai số phức: $e^{j\Psi}$ và j . Với số phức $e^{j\Psi}$ có môđun = 1 và argumen = Ψ ; còn số phức $e^{\pm j\pi/2}$ cũng có môđun = 1 và argumen = $\pm \pi/2$. Vậy có phức :

$$e^{j\frac{\pi}{2}} = j \quad \text{và} \quad e^{-j\frac{\pi}{2}} = -j$$

$$\text{và} \quad j^2 = j \cdot j = -1 \quad \text{nên} \quad j = -\frac{1}{j} \quad (2.15)$$

2.4.4. Cặp phức liên hợp

Một số phức được gọi là liên hợp của số phức A khi chúng có phần thực bằng nhau và phần ảo trái dấu nhau.

Cho số phức $\dot{A} = a + jb = A e^{j\Psi}$.

Số phức liên hợp của \dot{A} ký hiệu \dot{A}^* là: $\dot{A}^* = a - jb = A e^{-j\Psi}$ (2.16)

2.4.5. Các phép tính cơ bản của số phức

Cho hai số phức như sau:

$$\dot{A}_1 = a_1 + jb_1 = A_1 e^{j\Psi_1}; \quad \dot{A}_2 = a_2 + jb_2 = A_2 e^{j\Psi_2} \quad (2.17)$$

1. Đẳng thức hai phức

$$\dot{A}_1 = \dot{A}_2 \Leftrightarrow a_1 = a_2 \text{ \& } b_1 = b_2 \quad (2.18)$$

Vậy hai số phức được gọi là bằng nhau khi và chỉ khi phần thực và phần ảo bằng nhau từng đôi một.

2. Tổng (hiệu) hai phức

$$\dot{V} = \dot{A}_1 \pm \dot{A}_2 \Leftrightarrow \dot{V} = (a_1 \pm a_2) + j(b_1 \pm b_2) \quad (2.19)$$

Tổng (hiệu) hai phức là một số phức có phần thực bằng tổng (hiệu) các phần thực và phần ảo bằng tổng (hiệu) các phần ảo.

3. Tích (thương) hai phức.

Tích hai số phức :

$$\dot{A}_1 \cdot \dot{A}_2 = A_1 e^{j\Psi_1} A_2 e^{j\Psi_2} = A_1 A_2 e^{j(\Psi_1 + \Psi_2)} \quad (2.20)$$

Như vậy tích hai số phức là một số phức có môđun bằng tích các môđun và argumen bằng tổng các argumen.

Thương hai phức :

$$\frac{\dot{A}_1}{\dot{A}_2} = \frac{A_1 e^{j\Psi_1}}{A_2 e^{j\Psi_2}} = \frac{A_1}{A_2} e^{j(\Psi_1 - \Psi_2)} \quad (2.21)$$

Như vậy thương hai số phức là một số phức có môđun bằng thương các môđun và argumen bằng hiệu các argumen.

2.4.6. Biểu diễn dòng điện hình sin bằng số phức

Các đại lượng hình sin như sdd, dòng điện, điện áp ... được hoàn toàn xác định khi ta biết trị hiệu dụng và pha ban đầu vì vậy ta có thể biểu diễn chúng bằng các số phức gọi là ảnh phức có môđun bằng trị hiệu dụng và argumen bằng pha ban đầu và được ký hiệu bằng các chữ cái in hoa có dấu chấm trên đầu.

Tổng quát :

$$x = \sqrt{2}X \sin(\omega t + \Psi) \Leftrightarrow \dot{X} = X e^{j\Psi} = X \angle \Psi \quad (2.22)$$

VÍ DỤ 2.2:

$$\text{Dòng điện : } i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \Psi_i) \Leftrightarrow \dot{I} = I e^{j\Psi_i} = I \angle \Psi_i \quad (2.22a)$$

$$\text{Điện áp : } u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \Psi_u) \Leftrightarrow \dot{U} = U e^{j\Psi_u} \quad (2.22b)$$

$$\text{Sdd : } e = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \Psi_e) \Leftrightarrow \dot{E} = E e^{j\Psi_e} \quad (2.22c)$$

2.4.7. Biểu diễn phép đạo hàm và tích phân của hàm số hình sin bằng số phức

Cho dòng điện hình sin và biểu diễn sang dạng phức như sau :

$$i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \Psi_i) \Leftrightarrow \dot{I} = I e^{j\Psi_i}$$

Lấy đạo hàm của dòng điện theo thời gian :

$$\frac{di}{dt} = \frac{d(\sqrt{2}I \sin(\omega t + \Psi_i))}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = \sqrt{2}I\omega \cos(\omega t + \Psi_i) = \sqrt{2}I\omega \sin(\omega t + \Psi_i + \frac{\pi}{2})$$

Chuyển di/dt sang dạng phức, ta có :

$$I\omega e^{j(\Psi_i + \frac{\pi}{2})} = \omega e^{j\frac{\pi}{2}} I e^{j\Psi_i} = j\omega \dot{I}$$

Tổng quát : $\frac{dx}{dt} \leftrightarrow j\omega \dot{X}$ (2.23)

Như vậy số phức biểu diễn đạo hàm của hàm số hình sin bằng số phức biểu diễn nó nhân với $j\omega$.

VÍ DỤ 2.3 :

Ta đã có điện áp trên nhánh thuần cảm :

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

Biểu diễn sang dạng phức : $u_L = L \frac{di}{dt} \Leftrightarrow \dot{U}_L = j\omega L \dot{I}$

Lấy tích phân của dòng điện theo thời gian :

$$\int i dt = \int \sqrt{2}I \sin(\omega t + \Psi_i) dt$$

$$\int i dt = -\frac{\sqrt{2}I \cos(\omega t + \Psi_i)}{\omega} = \frac{\sqrt{2}I}{\omega} \cos(\omega t + \Psi_i - \pi/2)$$

Chuyển $\int i dt$ sang dạng phức :

$$\frac{I}{\omega} e^{j(\Psi_i - \frac{\pi}{2})} = \frac{1}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}} I e^{j\Psi_i} = \frac{\dot{I}}{j\omega}$$

Tổng quát : $\int x dt \leftrightarrow \frac{\dot{X}}{j\omega}$ (2.24)

Số phức biểu diễn tích phân của hàm số hình sin bằng số phức biểu diễn nó chia cho $j\omega$.

VÍ DỤ 2.4 :

Ta đã có điện áp trên nhánh thuần dung và biểu diễn sang dạng phức :

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt \Leftrightarrow \dot{U}_C = \frac{1}{C} \frac{\dot{I}}{j\omega}$$

2.5. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN TRỞ

2.5.1. Quan hệ giữa dòng điện và điện áp

Giả sử cho qua nhánh thuần trở R dòng điện $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ (hình 2.6). Dòng điện i quan hệ với điện áp u_R theo định luật Ohm:

$$\begin{aligned} u_R &= Ri \\ &= R \sqrt{2} I \sin \omega t = \sqrt{2} U_R \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.25)$$

Phương trình (2.25) biểu diễn sang dạng số phức:

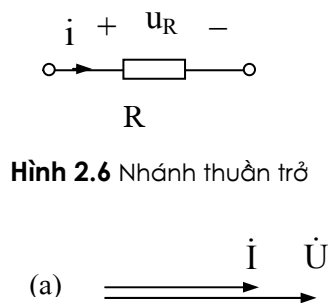
$$\dot{U}_R = R \dot{I} \quad (2.26)$$

Từ (2.26) suy ra rằng:

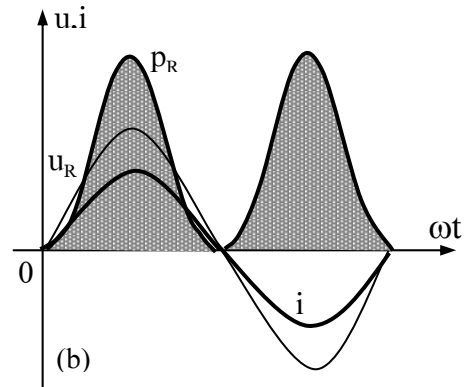
- Về trị số hiệu dụng, điện áp gấp dòng điện R lần

$$U_R = RI \quad (2.27)$$

- Về trị số góc lệch pha: điện áp và dòng điện trùng pha nhau (hình 2.7a)



Hình 2.6 Nhánh thuần trở



Hình 2.7 Đồ thị vectơ (a) và đồ thị hình sin (b) nhánh thuần trở

2.5.2. Quá trình năng lượng

Vì u và i cùng pha, cùng chiều, do đó công suất tiếp nhận luôn đưa từ nguồn đến và tiêu tán hết. Thật vậy, công suất tức thời là :

$$\begin{aligned} p_R &= u \cdot i = 2U_R I \sin^2 \omega t \\ p_R &= U_R I [1 - \cos 2\omega t] \end{aligned} \quad (2.28)$$

Ta thấy công suất tức thời không cho phép ta tính dễ dàng năng lượng tiêu tán trong trong một thời gian hữu hạn, vì vậy ta đưa ra khái niệm công suất tác dụng, **nó là trị số trung bình của công suất tức thời trong chu kỳ T :**

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt \quad (2.29)$$

Tính cho nhánh thuần trở, ta thấy công suất tác dụng tiêu tán trên R:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_R dt = U_R I = RI^2 \quad (2.30)$$

2.6. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH THUẦN CẢM L.

2.6.1. Quan hệ giữa điện áp và dòng điện

Khi có $i = \sqrt{2} \cdot I \sin \omega t$ đi qua nhánh thuần cảm L (hình 2.8), trên nhánh sẽ có điện áp u_L , quan hệ với dòng điện là :

$$u_L = L \frac{di}{dt} = \sqrt{2} \cdot \omega L I \cos \omega t = \sqrt{2} U_L \cos \omega t$$

Biểu diễn sang dạng số phức:

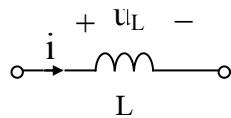
$$\dot{U}_L = j\omega L \dot{I} = jX_L \dot{I} \quad (2.31)$$

Trong đó, $X_L = \omega L$ có thứ nguyên điện trở (Ω) gọi là điện kháng điện cảm.

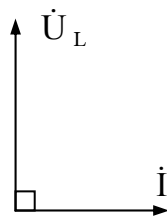
Từ (2.31) suy ra rằng:

$$\text{Về trị số hiệu dụng : } U_L = X_L I \quad (2.32)$$

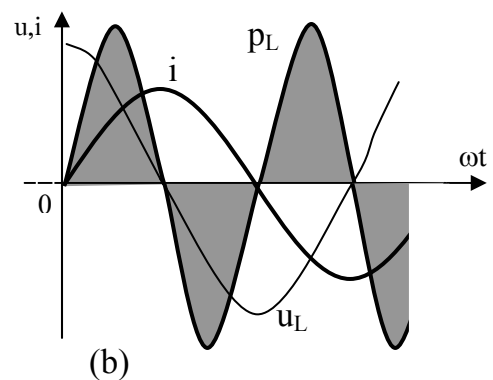
Về góc lệch pha : Điện áp vượt trước dòng điện một góc $\pi/2$ (hình 2.9a).



Hình 2-8 Nhánh thuần cảm



(a)



(b)

Hình 2-9 Đồ thị vector (a) và đồ thị hình sin (b) nhánh thuần cảm

2.6.2. Quá trình năng lượng

Công suất tức thời trong nhánh thuần cảm :

$$\begin{aligned} p_L &= u_L i = \sqrt{2} U_L \cos \omega t \cdot \sqrt{2} I \sin \omega t \\ &= U_L I \sin 2\omega t \end{aligned} \quad (2.33)$$

Do u và i lệch pha nhau $\pi/2$ nên thấy rằng phần tư chu dung đầu u và i cùng chiều ($p_L > 0$), lại tiếp 1/4 chu kỳ sau chúng ngược chiều nhau ($p_L < 0$), .. tức là cứ 1/4 chu kỳ đưa năng lượng từ nguồn đến nạp vào từ trường điện cảm, lại tiếp theo

1/4 chu kỳ phóng trả năng lượng ra ngoài (hình 2.9b). Vậy năng lượng điện từ dao động với tần số 2ω , tích phóng và không tiêu tán, nghĩa là công suất tác dụng $P = 0$.

Công suất phản kháng điện cảm Q_L :

$$Q_L = U_L I = X_L I^2 \quad (\text{VAR}) \quad (2.34)$$

2.7. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH THUẦN DUNG.

2.7.1. Quan hệ giữa điện áp và dòng điện

Khi cho $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ qua nhánh thuần dung C (hình 2.10), trên nhánh sẽ có điện áp u_c , quan hệ giữa chúng :

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$u_c = -\frac{\sqrt{2} I}{\omega C} \cos \omega t = -\sqrt{2} U_c \cos \omega t$$

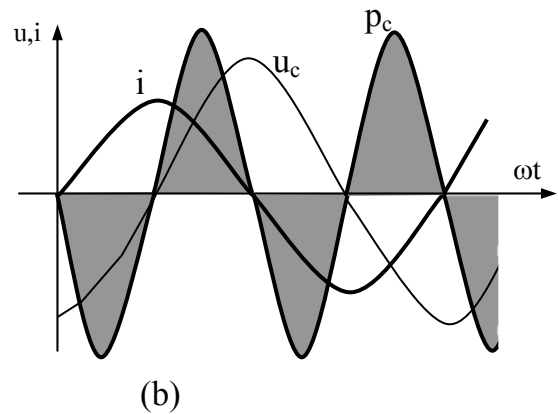
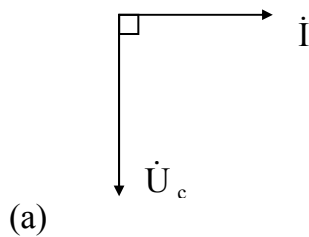
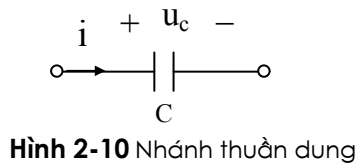
Viết biểu thức sang dạng số phức :

$$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \dot{I} = -jX_C \dot{I} \quad (2.35)$$

Trong đó, $X_C = 1/\omega C$ có thứ nguyên điện trở (Ω) gọi là điện kháng điện dung.

Từ (2.35), ta suy ra là :

- Về trị số hiệu dụng: $U_C = X_C I$ (2.36)
- Về góc lệch pha: Điện áp chậm sau dòng điện một góc $\pi/2$ (hình 2.11a).



Hình 2-11 Đồ thị vectơ (a) và đồ thị hình sin (b) nhánh thuần dung

2.7.2. Quá trình năng lượng

Công suất tức thời trong nhánh thuần dung :

$$p_c = u_c i = -\sqrt{2} U_c \cos \omega t \cdot \sqrt{2} I \sin \omega t$$

$$= -2U_c I \sin \omega t \cdot \cos \omega t$$

$$p_c = -U_c I \sin 2\omega t = Q_c \sin 2\omega t \quad (2.37)$$

trong đó, biên độ dao động công suất Q gọi là công suất phản kháng của điện dung, bằng:

$$Q_c = -U_c I = -X_c I^2 \quad (2.38)$$

Sơ đồ mạch điện như hình vẽ 2.10

2.8. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH R-L-C NỐI TIẾP.

2.8.1. Quan hệ giữa điện áp và dòng điện

Giả sử cho qua nhánh R- L- C nối tiếp $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ sẽ gây trên các phần tử R, L, C điện áp u_R, u_L, u_C . Theo định luật Kirchhoff 2, ta có phương trình cân bằng:

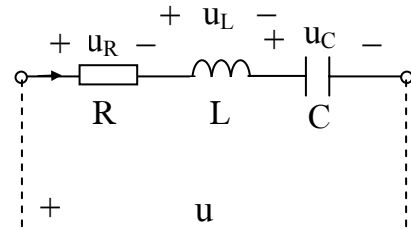
$$u = u_R + u_L + u_C \quad (2.39)$$

Phương trình (2.39) được biểu diễn dưới dạng phức như sau :

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C \quad (2.40)$$

Thay các quan hệ giữa $\dot{U}_R, \dot{U}_L, \dot{U}_C$ với \dot{I} theo (2.26), (2.31) và (2.35) vào (2.40), ta được :

$$\begin{aligned} \dot{U} &= R\dot{I} + jX_L\dot{I} - jX_C\dot{I} \\ &= \dot{I}[(R + j(X_L - X_C))] \\ &= \dot{I}(R + jX) \\ \dot{U} &= \dot{I}Z \end{aligned} \quad (2.41)$$



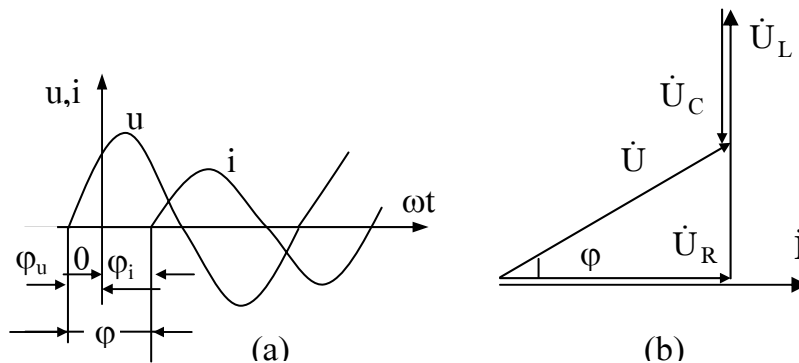
Hình 2.12 Nhánh R-L-C nối tiếp

trong đó: $X = X_L - X_C$ gọi là điện kháng của nhánh;

$Z = R + jX = Z e^{j\varphi}$ là tổng trở phức của nhánh;

$z = \sqrt{R^2 + X^2}$ là của tổng trở phức

$\varphi = \arctg(X/R)$ là argumen của tổng trở phức.



Hình 2-13 Đồ thị hình sin (a) và vectơ (b) nhánh R-L-C nối tiếp

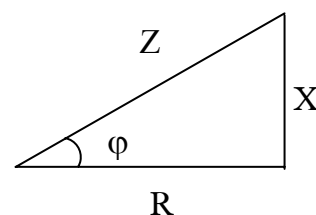
Biểu thức (2.41) viết cụ thể như sau:

- Về trị số hiệu dụng : $U = ZI$
- Về góc pha: điện áp và dòng điện lệch pha một góc là φ (hình 2-13).
 - + $\varphi > 0$ hay < 0 , ta có điện áp vượt trước hay chậm sau dòng điện;
 - + $X > 0$ tức là $X_L > X_C$ thì $\varphi > 0$: mạch có tính chất điện cảm;
 - + $X < 0$ tức là $X_L < X_C$ thì $\varphi < 0$: mạch có tính điện dung.

Riêng khi $X_L = X_C$, $\varphi = 0$ dòng và áp trùng pha nhau tựa như một mạch thuần trở; điện cảm và điện dung vừa bù hết nhau, mạch cộng hưởng.

2.8.2. Tam giác tổng trở

Phân tích $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ và $\varphi = \text{artg } X/R$ có thể biểu diễn quan hệ giữa R, X, Z bằng một tam giác vuông có các cạnh góc vuông R và X cạnh huyền Z và góc nhọn kề R là φ (hình 2.14), ta gọi là tam giác tổng trở. Nó giúp ta dễ dàng nhớ các quan hệ giữa các thông số R, X, Z và φ .



Hình 2.14 Tam giác tổng trở

Từ hình 2.14 ta có quan hệ:

$$R = Z \cos \varphi; \quad X = Z \sin \varphi \quad (2.42a)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}; \quad \varphi = \text{arctg } X/R \quad (2.42b)$$

2.9. HAI ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF VIẾT DẠNG PHỨC

2.9.1. Định luật Kirchhoff 1 (K1)

Tổng đại số các ảnh phức dòng điện tại một nút bất kỳ bằng không.

$$\sum_{\text{nút}} \pm \dot{I}_k = 0 \quad (2.43)$$

trong đó, nếu qui ước dòng điện đi đến nút mang dấu dương (+) thì dòng điện rời khỏi nút phải mang dấu âm (-) và ngược lại.

2.9.2. Định luật Kirchhoff II

Tổng đại số các ảnh phức của điện áp trên các phần tử dọc theo tất cả các nhánh trong một vòng với chiều tùy ý bằng không.

$$\sum_{\text{vòng}} \pm \dot{U}_k = 0 \quad (2.44)$$

Nếu chiều mạch vòng đi từ cực + sang - của một điện áp thì điện áp đó mang dấu +, còn ngược lại mang dấu -.

Phát biểu lại định luật Kirchhoff -2 ở dạng tương đương như sau : ***Đi theo một vòng với chiều tùy ý, tổng đại số các ảnh phức của sụt áp trên các phần tử bằng tổng đại số các ảnh phức sđđ; trong đó, nếu chiều vòng đi từ cực + sang cực – thì điện áp trên phần tử đó mang dấu +, còn ngược lại mang dấu – và nếu chiều vòng đi từ cực – sang cực + thì sđđ đó mang dấu +, còn ngược lại mang dấu –.***

$$\sum_{\text{vòng}} \pm \dot{U}_{pt} = \sum_{\text{vòng}} \pm \dot{E}_k \quad (2.45)$$

Ta có thể viết điện áp trên các phần tử thông qua các biến của nhánh, nên công thức (2-45) có thể viết lại như sau :

$$\sum_{\text{vòng}} \pm Z_k \dot{I}_k = \sum_{\text{vòng}} \pm \dot{E}_k \quad (2.46)$$

Trong đó, chiều dương dòng điện cùng chiều mạch vòng mang dấu + còn ngược lại mang dấu –.

2.10. CÁC CÔNG SUẤT TRONG NHÁNH R-L-C

2.10.1. Công suất tác dụng P

Ta đã có : $P = RI^2$.

Thay $R = Z \cos \varphi$ vào biểu thức P ta có :

$$P = Z \cos \varphi . I . I = Z I . I \cos \varphi = UI \cos \varphi \quad (2.47)$$

Đơn vị công suất là **Watt**, ký hiệu là **W**.

Ta gọi $\cos \varphi$ là hệ số công suất, phụ thuộc các phần tử nhánh và tần số, đó là một thông số đặc trưng của nhánh ở một tần số.

2.10.2. Công suất phản kháng Q.

Tương tự như công suất tác dụng P, ta có:

$$Q = XI^2 = z \sin \varphi . I . I = UI \sin \varphi \quad (2.48)$$

Đơn vị của công suất phản kháng Q là VAR.

Trường hợp mạch có tính cảm $\sin \varphi > 0$, $Q > 0$, ngược lại trường hợp mạch có tính dung $\sin \varphi < 0$, $Q < 0$.

2.10.3. Công suất biểu kiến S

Công suất biểu kiến ký hiệu là S và được định nghĩa là :

$$S = UI \quad (2.49)$$

Đơn vị của công suất biểu kiến S là VA.

2.10.4. Công suất viết ở dạng số phức

$$\tilde{S} = \tilde{U} \times \tilde{I}^* = P + jQ = \operatorname{Re}(\tilde{U} \cdot \tilde{I}^*) + j \operatorname{Im}(\tilde{U} \cdot \tilde{I}^*) \quad (2.50a)$$

$$P = \operatorname{Re}(\tilde{U} \cdot \tilde{I}^*), \quad Q = \operatorname{Im}(\tilde{U} \cdot \tilde{I}^*) \quad (2.50b)$$

Chú ý : \tilde{I}^* là số phức liên hiệp của số phức dòng điện \tilde{I} .

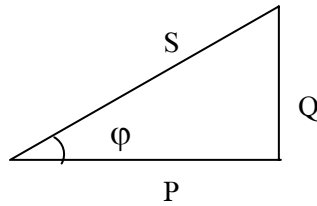
2.10.5. Quan hệ giữa các công suất P, Q, S

Ta có các quan hệ sau:

$$P = UI \cos \varphi = S \cos \varphi \quad (2.51a)$$

$$Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi \quad (2.51b)$$

và do đó $\sqrt{P^2 + Q^2} = S. \quad (2.51c)$



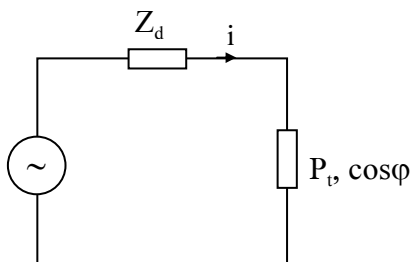
Hình 2-15 Tam giác công suất

Như vậy chỉ cần biết hai đại lượng P, Q hoặc S, φ có thể tìm ra hai đại lượng còn lại. Từ các biểu thức (2.51a,b,c) ta thấy P, Q, S cũng có thể biểu diễn bằng một tam giác vuông như hình (2.15) đồng dạng với tam giác tổng trở, gọi là tam giác công suất.

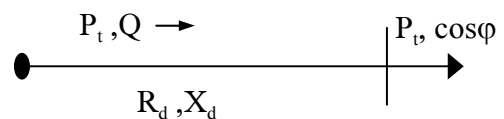
2.11. NÂNG CAO HỆ SỐ CÔNG SUẤT $\cos \varphi$

Một nhánh với R, L, C đã cho, ở một tần số nhất định sẽ có những thông số (R, X), góc lệch pha φ và do đó có hệ số công suất $\cos \varphi$ xác định.

Hệ số công suất $\cos \varphi$ là một chỉ tiêu kỹ thuật quan trọng về mặt năng lượng và có ý nghĩa rất lớn về kinh tế.



Hình 2-16 Sơ đồ truyền tải



Hình 2-17 Đường dây truyền tải

Trên hình 2.17, trình bày một đường dây tải điện có điện trở và điện kháng đường dây là R_d và X_d . Để truyền công suất P_t trên đường dây, ta có dòng điện chạy trên đường dây tải điện là :

$$I = \frac{P_t}{U \cos \varphi} \quad (2.52)$$

$$\Delta P_d = R_d I^2 = R_d \frac{P_t^2}{U^2 \cos^2 \varphi};$$

$$\text{và } \Delta U_d = I Z_d \quad (2.53)$$

Vậy, nâng cao được hệ số công suất của lưới điện :

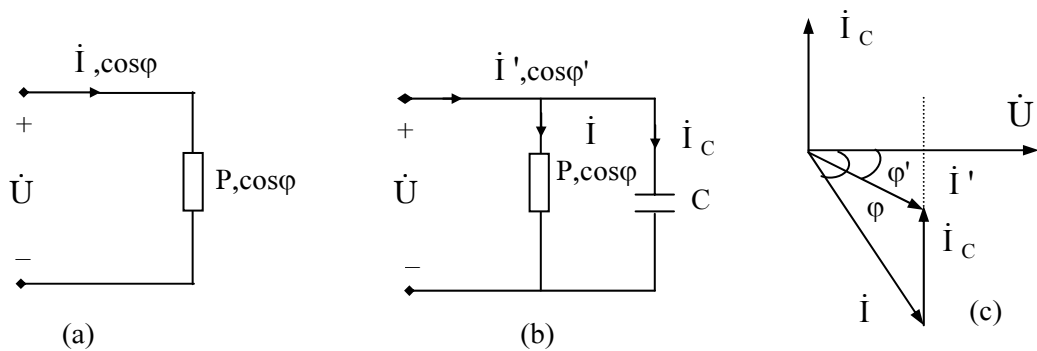
- Giảm tổn hao công suất trên đường dây.
- Phát huy được khả năng phát điện của nguồn.
- Giảm sụt áp trên đường dây truyền tải điện.

Vì vậy $\cos \varphi$ của tải thấp là có hại về kinh tế và kỹ thuật.

Hầu hết các phụ tải công nghiệp và dân dụng đều có tính cảm, khi vận hành các thiết bị điện do chạy non tải nên $\cos \varphi$ của tải thấp. Để nâng cao $\cos \varphi$ của mạng điện, ta dùng tụ điện nối song song với tải gọi là bù bằng tụ điện tĩnh.

Tìm điện dung C của tụ điện để nâng $\cos \varphi$ lên $\cos \varphi'$

Một phụ tải làm việc với lưới điện có điện áp U , tần số f , tiêu thụ công suất tác dụng P có hệ số công suất $\cos \varphi$ (hình 2.18a). Tính điện dung C của tụ điện ghép song song với tải (hình 2.18b) để nâng hệ số công suất của lưới điện từ $\cos \varphi$ lên $\cos \varphi'$. Hình 2.18c cho ta thấy $\varphi > \varphi'$ nên $\cos \varphi' > \cos \varphi$.



Hình 2-18 Nâng cao hệ số công suất $\cos \varphi$

Khi chưa nối tải với tụ thì dòng chảy trên lưới điện I và hệ số công suất $\cos \varphi$ cũng chính là dòng điện và $\cos \varphi$ của tải. Khi nối song song với tải tụ C thì dòng điện trên tải vẫn là I , hệ số công suất vẫn là $\cos \varphi$, nhưng dòng điện trên lưới là I' , dòng qua tụ là I_C và hệ số công suất là $\cos \varphi'$. Ta có :

$$\dot{I}' = \dot{I} + \dot{I}_C$$

Khi chưa có tụ bù thì công suất phản kháng của lưới điện cung cấp cho tải:

$$Q = P \cdot \tan \varphi \quad (2.54)$$

Khi có tụ bù, hệ số công suất của lưới điện là $\cos \varphi'$. Do đó lúc này lưới điện chỉ cung cấp cho tải một lượng công suất phản kháng là:

$$Q' = Q + Q_C = P \cdot \tan \varphi' \quad (2.55)$$

Ta thấy rằng lúc này lưới điện cung cấp công suất phản kháng ít hơn nhờ có tụ điện ghép song song với tải và chính tụ điện cung cấp phần công suất phản kháng còn lại cho tải. Như vậy công suất phản kháng của tụ điện là:

$$Q_C = -X_C I^2 = -X_C U^2 / X_C^2 = -U^2 \cdot \omega C \quad (2.56)$$

$$Q_C = Q' - Q = P (\tan \varphi' - \tan \varphi) \quad (2.57)$$

Từ (2.56) và (2.57), ta tính được:

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan \varphi - \tan \varphi') \quad (2.58)$$



BÀI TẬP

Bài 2.1. Hãy tìm thông số của các đại lượng hình sin sau :

- $e_1 = 208 \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ V}; i_1 = 120 \sin(100\pi t + 20^\circ) \text{ A}$
- $e_2 = 320 \sin(100\pi t + 150^\circ) \text{ V}; i_2 = 28 \sin(100\pi t) \text{ A}$
- $i_1 = 120 \sin(100\pi t + 40^\circ) \text{ A}; u_1 = 328 \sin(120\pi t - 60^\circ) \text{ V}$
- $i_2 = 28 \sin(100\pi t) \text{ A}; u_2 = 128 \sin(500\pi t - 160^\circ) \text{ V}$

Bài 2.2. Biểu diễn các đại lượng hình sin của **bài 1** thành các vector. Vẽ hai đại lượng hình sin của a, b, c, d trên cùng một hệ trục tọa độ.

Bài 2.3. Tìm trị hiệu dụng và pha ban đầu các đại lượng hình sin của **bài 1** ?

Bài 2.4. Biểu diễn các đại lượng hình sin của **bài 1** thành các số phức. Biểu diễn các số phức sau đây thành đại lượng hình sin theo thời gian ?

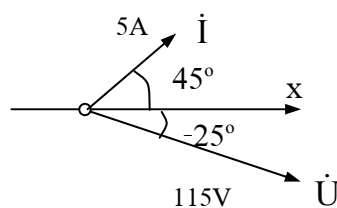
$$\dot{U}_1 = 220 \angle -45^\circ \text{ V}; \dot{I}_1 = 10 \angle 45^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}_1 = 120 \angle 65^\circ \text{ V}; \dot{I}_1 = 10 \angle 30^\circ \text{ A}$$

$$\dot{E}_1 = 400 \angle -65^\circ \text{ V}; \dot{I}_1 = 12 \angle -22^\circ \text{ A}$$

Bài 2.5. Tìm góc lệch pha của các cặp đại lượng hình sin của bài 1 và bài 4 ?

Bài 2.6. Biểu diễn các cặp số phức của **bài 4** thành các vectơ trên cùng hệ một trục toạ độ.



Bài 2.7. Từ đồ thị hình 2-1, viết các đại lượng hình sin về dạng tức thời và dạng số phức.

Bài 2.8. Chuyển các số phức sau đây về dạng số mũ :

Hình 2-1

$$\begin{aligned} Z_1 &= 4 + 5j ; & Z_2 &= 14 + 5j ; \\ Z_3 &= 24 + 45j ; & Z_4 &= 14 - 15j ; & Z_5 &= 4 - 5j ; & Z_6 &= 4 - 15j \end{aligned}$$

Bài 2.9. Chuyển các số phức sau đây về dạng đại số :

$$\begin{aligned} Z_7 &= 5 \angle -35^\circ ; & Z_8 &= 10 \angle 35^\circ ; & Z_9 &= 20 e^{j180^\circ} ; & Z_{10} &= 4 \angle -15^\circ ; \\ Z_{11} &= 6 \angle -180^\circ ; & Z_{12} &= 25 e^{-j90^\circ} ; & Z_{13} &= 5 \angle 0^\circ ; & Z_{14} &= 12 \angle 25^\circ ; \end{aligned}$$

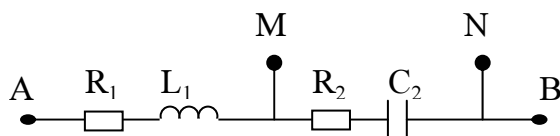
Bài 2.10. Từ các số phức của bài 8 & 9, tính các số phức sau đây :

$$\begin{aligned} Z_{15} &= Z_1 + Z_4 ; & Z_{16} &= Z_1 + Z_7 ; & Z_{17} &= Z_9 - Z_4 ; & Z_{18} &= Z_{10} - Z_{14} ; \\ Z_{19} &= Z_1 \times Z_5 ; & Z_{20} &= Z_1 \times Z_7 ; & Z_{21} &= Z_9 \times Z_4 ; & Z_{22} &= Z_{10} \times Z_{14} ; \\ Z_{23} &= Z_1 / Z_6 ; & Z_{24} &= Z_1 / Z_7 ; & Z_{25} &= Z_9 / Z_4 ; & Z_{26} &= Z_{13} / Z_{14} ; \\ Y_{27} &= (1/Z_1) + (1/Z_3) ; & Y_{28} &= (1/Z_1) + (1/Z_3) + (1/Z_4) ; & Y_{29} &= Y_{27} + Y_{28} ; \\ Z_{30} &= \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} ; & Z_{31} &= \frac{Z_4 \times Z_8}{Z_4 + Z_8} ; & Z_{32} &= \frac{Z_{10} \times Z_{12}}{Z_{10} + Z_{12}} ; & Z_{33} &= \frac{Z_{14} \times Z_8}{Z_{14} + Z_8} ; \end{aligned}$$

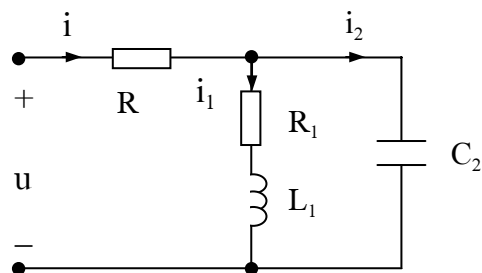
Bài 2.11. Cho mạch điện như hình vẽ (hình 2-2). Đặt lên hai cực AB của mạch một điện áp xoay chiều hình sin xác định có trị hiệu dụng U_{AB} . Cho $f = 100\text{Hz}$.

a. Nếu nối vào hai điểm MN một ampe kế, thì ampe kế chỉ trị số là 0,3A và chậm pha so với điện áp U_{AB} một góc là 60° . Công suất mạch tiêu thụ lúc này là 18W. Tính R_1 , L_1 và U_{AB} ?

b. Nếu nối vào hai điểm MN một vôn kế, thì vôn kế chỉ trị số là 60V và điện áp đo chậm pha so với điện áp U_{AB} một góc là 60° . Tính R_2 , C_2 ?



Hình 2 - 2

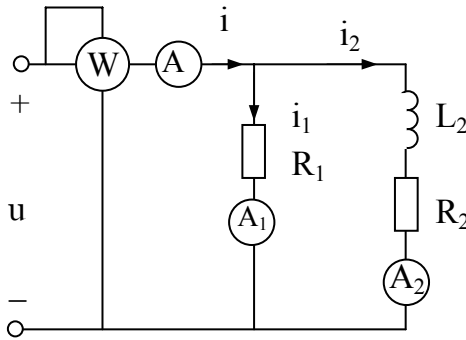


Hình 2- 3

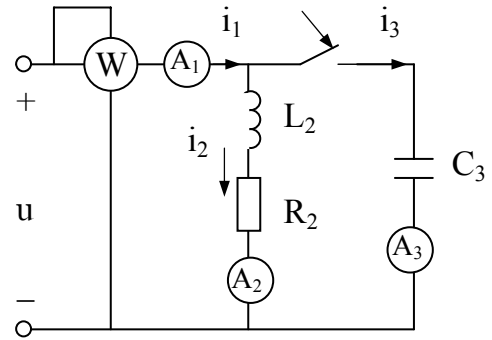
Bài 2.12. Cho mạch điện như hình vẽ (hình 2-3). Điện áp nguồn cung cấp $u = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ) \text{V}$. Các thông số mạch điện là $R = 2\Omega$, $R_1 = 10\Omega$, $L_1 = \frac{1}{10\pi} \text{H}$;

$C_2 = \frac{10^{-3}}{3\pi} \text{F}$ và $f = 50\text{Hz}$. Tính :

- Dòng điện i , i_1 và i_2 để ở dạng thời gian ?
- Công suất P và Q toàn mạch ?



Hình 2-4



Hình 2-5

Bài 2.13. Cho mạch điện xoay chiều như hình 2- 5, có các thông số như sau :

$$R_1 = 10 \Omega ; R_2 = 6 \Omega ; X_2 = 8 \Omega ; u(t) = 127\sqrt{2} \sin \omega t \text{ V}.$$

Xác định chỉ số các dụng cụ đo. Viết biểu thức tức thời và số phức các dòng điện

Bài 2.14. Cho mạch điện xoay chiều hình sin như hình 2- 5, có tần số 50Hz và dụng cụ đo chỉ các đại lượng như sau :

+ Khi khoá K mở : Vôn kế chỉ 220V; Ampe kế một và Ampe kế hai chỉ giá trị bằng nhau và bằng 10A, Watt kế chỉ 1320W. Tìm R_1 , L_1 và hệ số công suất của mạch lúc này ?

+ Khi khoá K đóng : Vôn kế chỉ 220V; Ampe kế một chỉ 6A và Ampe kế hai chỉ 10A và Ampe kế ba chỉ 8A, Watt kế chỉ 1320W. Tìm C và cho nhận xét ?



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
 Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
 Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Chương 3

CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢI MẠCH ĐIỆN

3.1. KHÁI NIỆM CHUNG.

Có hai loại bài toán mạch điện : bài toán phân tích mạch và bài toán tổng hợp mạch điện. Ở đây ta chủ yếu xét bài toán phân tích mạch.

Bài toán phân tích mạch là bài toán cho biết thông số và kết cấu của mạch điện, cần tìm dòng điện, điện áp và công suất trên các nhánh.

3.2. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN NHÁNH.

Phương pháp này ẩn số trực tiếp là ảnh phức các dòng nhánh và sử dụng trực tiếp hai định luật Kirchhoff cho các nút và các vòng độc lập của mạch. Xét mạch điện có **m** nhánh, **n** nút, nội dung phương pháp trình tự như sau:

- Chọn ẩn số là m ảnh phức dòng điện nhánh i_1, i_2, \dots, i_m đã định chiều dương trên mỗi nhánh (tùy ý) ;
- Lập hệ phương trình độc lập theo các luật Kirchhoff cho các ảnh phức dòng điện, trong đó (n-1) phương trình viết theo luật Kirchhoff 1 cho các nút độc lập và (m - n + 1) phương trình viết theo luật Kirchhoff 2 cho các mạch vòng độc lập.
- Giải hệ phương trình tìm được các ảnh phức dòng nhánh.
- Dùng các kết quả đó vào việc khảo sát cần thiết.

VÍ DỤ 3.1: Cho mạch điện như hình 3-1a với thông số :

$$e_1 = e_3 = \sqrt{2} . 220 \sin (314t) \text{ (V)}$$

$$e_2 = \sqrt{2} . 110 \sin (314t + 30^\circ) \text{ (V)}$$

$$R_1 = 10 \, \Omega, L_1 = 0,0318 \text{ H}, R_2 = 5 \, \Omega$$

$$R_3 = 10 \, \Omega, C_3 = 3,184.10^{-4} \text{ F}$$

Tìm dòng điện trên các nhánh và công suất mạch tiêu thụ.

Giải :

Ta phức hóa mạch điện và biểu diễn về sơ đồ phức như hình 3-1b.
 trong đó:

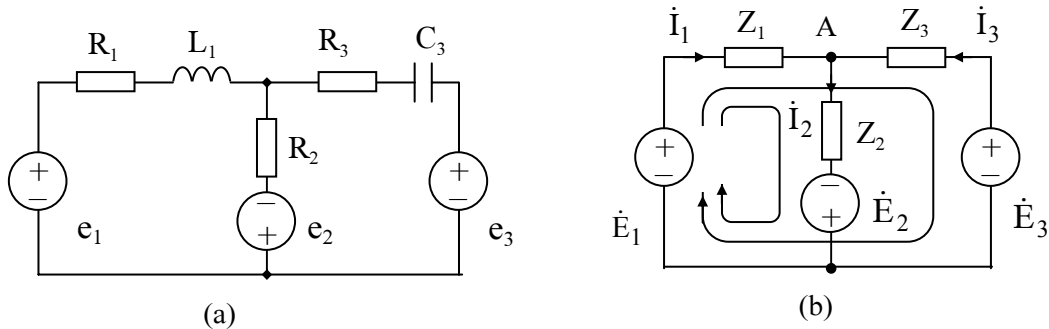
$$\dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 220\angle 0^\circ \text{ (V)} = 220 \text{ (V)};$$

$$\dot{E}_2 = 110\angle 30^\circ \text{ (V)} = 95,26 + j55 \text{ (V)};$$

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = R_1 + j\omega L_1 = 10 + j314.0,0318 = 10 + j10 \, \Omega ;$$

$$Z_2 = R_2 = 5 \, \Omega$$

$$Z_3 = R_3 - jX_3 = R_3 - j.1/\omega C_3 = 10 - j.314.3.184.10^{-4} = 10 - j10 \, \Omega ;$$



Hình 3.1

Các bước giải mạch điện như sau :

- Chọn ẩn số là ảnh phức dòng nhánh $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ như hình vẽ.
- Lập hệ phương trình (bài toán có 3 ẩn số nên cần lập hệ phương trình có 3 phương trình độc lập).

$$\text{Tại nút A:} \quad \dot{I}_1 - \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0 \quad (3-1a)$$

$$\text{Vòng I:} \quad Z_1 \dot{I}_1 + Z_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \quad (3-1b)$$

$$\text{Vòng II:} \quad Z_1 \dot{I}_1 - Z_3 \dot{I}_3 = \dot{E}_1 - \dot{E}_3 \quad (3-1c)$$

Thay trị số vào hệ phương trình, ta có:

$$\dot{I}_1 - \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0 \quad (3-2a)$$

$$(10 + j10) \dot{I}_1 + 5 \dot{I}_2 = 315,26 + j55 \quad (3-2b)$$

$$(10 + j10) \dot{I}_1 - (10 - j10) \dot{I}_3 = 0 \quad (3-2c)$$

Giải hệ phương trình bằng qui tắc Cramer :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 10 + j10 & 5 & 0 \\ 10 + j10 & 0 & -10 + j10 \end{vmatrix} = -300$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 315,26 + j55 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & -10 + j10 \end{vmatrix} = -3702,6 + j2602,6$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 10 + j10 & 315,26 + j55 & 0 \\ 10 + j10 & 0 & -10 + j10 \end{vmatrix} = -6305,2 - j1100$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 10 + j10 & 5 & 315,26 + j55 \\ 10 + j10 & 0 & 0 \end{vmatrix} = -2602,6 - j3702,6$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-3702,6 + j2602,6}{-300} = 12,342 - 8,675j = 15,08 \angle -35,1^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-6305,2 - j1100}{-300} = 21,017 + 3,666j = 21,33 \angle 9,9^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-2602,6 - j3702,6}{-300} = 8,675 + 12,342j = 15,08 \angle 54,9^\circ \text{ A}$$

Chú ý: Ở đây nên tính từng dòng điện nhánh độc lập như tính ở trên bằng cách thử lại phương trình Kirchhoff 1 (3.1a) ta sẽ kiểm tra được kết quả đúng. Không nên tìm dòng \dot{I}_3 bằng cách sử dụng phương trình (3.1a) khi biết \dot{I}_1, \dot{I}_2 .

Dòng điện trên các nhánh ở dạng tức thời là:

$$i_1 = \sqrt{2} \cdot 15,08 \sin(314t - 35,1^\circ) \text{ (A)}$$

$$i_2 = \sqrt{2} \cdot 21,33 \sin(314t + 9,9^\circ) \text{ (A)}$$

$$i_3 = \sqrt{2} \cdot 15,08 \sin(314t + 54,9^\circ) \text{ (A)}$$

Công suất mạch tiêu thụ là:

$$\begin{aligned} P &= R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 \\ &= 10 \cdot 15,08^2 + 5 \cdot 21,33^2 + 10 \cdot 15,08^2 = 6823 \text{ W} \end{aligned}$$

Ta nhận thấy rằng với phương pháp dòng nhánh, mạch điện có bao nhiêu nhánh thì hệ phương trình có bấy nhiêu phương trình. Do đó nếu mạch có nhiều nhánh, với phương pháp thông thường thì sẽ rất phức tạp. Tuy nhiên có thể giải nhờ máy tính rất đơn giản.

3.3. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN VÒNG

Ấn số của hệ phương trình là các dòng điện vòng khép mạch trong các vòng kín. Ở đây ta coi rằng mỗi vòng có một dòng điện vòng chạy khép kín trong vòng ấy. Xét mạch có m nhánh, n nút, nội dung phương pháp như sau:

- Chọn ấn số là các dòng điện vòng với chiều dương tùy ý qua các vòng độc lập $\dot{I}_I, \dot{I}_{II} \dots$

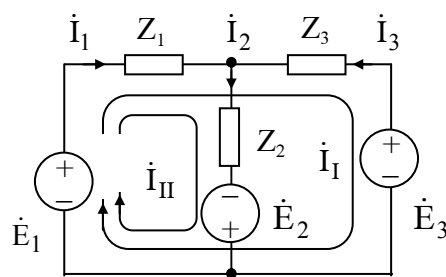
- Lập hệ phương trình cân bằng áp cho các vòng đó theo luật Kirchhoff 2. Để đơn giản và bớt ký hiệu trên hình vẽ, ta chọn chiều dương vòng trùng với chiều dương dòng điện vòng qua vòng đó và chú ý rằng trong một nhánh của mạch vòng có thể có nhiều dòng điện vòng đi qua, mỗi dòng điện vòng sẽ gây nên một điện áp rơi $Z\dot{I}$ khi đi qua tổng trở Z . Trong phương trình, điện áp rơi $Z\dot{I}$ có dấu dương khi chiều của dòng điện vòng cùng chiều dương vòng.

- Giải hệ phương trình, tìm được các dòng điện vòng
- Tìm dòng điện trên các nhánh. Đầu tiên chọn chiều dương dòng điện trên các nhánh (tùy ý), sau đó tìm dòng điện qua nhánh bằng cách cộng đại số các dòng điện vòng qua nhánh đó (dòng điện vòng nào cùng chiều với dòng nhánh thì mang dấu dương).

VÍ DỤ 3.2: Giải lại mạch điện hình 3.1a bằng phương pháp dòng vòng.

Giải :

Nhận xét : mạch điện có 03 nhánh, 2 nút, 3 vòng nhưng chỉ có $3-2+1 = 2$ mạch vòng độc lập. Như vậy ta có 3 cách chọn 2 vòng độc lập. Trong trường hợp bài toán này chọn 2 vòng như hình vẽ có khối lượng tính toán ít nhất, bởi vì phương pháp ở đây là dùng định thức mà các số hạng của định thức là số phức nên tốt nhất là dựa vào các thông số đã cho, ta xác định vòng độc lập sao cho các phân tử của định thức là số không hay là số thực, số ảo để giảm khối lượng tính toán.



Hình 3.2 Phương pháp dòng vòng

Trước hết ta phải phức hóa sơ đồ mạch (hình 3.2)

Chọn chiều dương các dòng điện vòng \dot{I}_I , \dot{I}_{II} như hình 3.2

Lập hệ phương trình:

$$\text{* Vòng I: } (Z_1 + Z_3) \dot{I}_I + Z_1 \dot{I}_{II} = \dot{E}_1 - \dot{E}_3 \quad (3.3a)$$

$$\text{* Vòng II: } Z_1 \dot{I}_I + (Z_1 + Z_2) \dot{I}_{II} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \quad (3.3b)$$

Thay trị số, ta có:

$$20 \dot{I}_I + (10 + j10) \dot{I}_{II} = 0 \quad (3.4a)$$

$$(10 + j10) \dot{I}_I + (15 + j10) \dot{I}_{II} = 315,26 + j55 \quad (3.4b)$$

Giải hệ phương trình bằng qui tắc Cramer:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 20 & 10 + j10 \\ 10 + j10 & 15 + j10 \end{vmatrix} = 300$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & 10 + j10 \\ 315,26 + j55 & 15 + j10 \end{vmatrix} = -2602,6 - j3702,6$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 20 & 0 \\ 10 + j10 & 315,26 + j55 \end{vmatrix} = 6305,2 + j1100$$

$$\dot{I}_I = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-2602,6 - j3702,6}{300} = -8,675 - j12,342 \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_{II} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{6305,2 + j1100}{300} = 21,017 + j3,666 \text{ (A)}$$

Chọn chiều dương dòng điện nhánh như hình vẽ, ta có dòng điện trên các nhánh là :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_I + \dot{I}_{II} = 12,342 - j8,675 = 15,08 \angle -35,1^\circ \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{II} = 21,017 + j3,666 = 21,33 \angle 9,9^\circ \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_3 = -\dot{I}_I = 8,675 + j12,342 = 15,08 \angle 54,9^\circ \text{ (A)}$$

Ta có kết luận như ở trên.

Qua hai phương pháp vừa nêu, về mặt cơ sở lý luận của phương pháp là giống nhau, tuy nhiên phương pháp dòng vòng khối lượng tính toán ít hơn và do đó đơn giản hơn.

3.4. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN ÁP HAI NÚT.

Phương pháp này dùng cho mạch điện chỉ có 2 nút gồm nhiều nhánh nối song song với nhau. Nếu biết điện áp giữa hai nút, ta dễ dàng tính được dòng điện trên các nhánh dựa vào định luật Ohm.

Xét mạch điện có m nhánh ghép song song với nhau, để tính điện áp giữa hai nút ta lần lượt tính dòng điện trên các nhánh theo điện áp giữa hai nút, sau đó dùng định luật Kirchoff 1 tại 1 nút nào đó sẽ tính được điện áp giữa 2 nút.

Chọn chiều dương điện áp giữa hai nút A và B và chọn tùy ý chiều dương dòng điện trên nhánh $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_m$ (hình 3.3), dòng điện trên các nhánh phụ thuộc điện áp 2 nút như sau:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}}{Z_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U})\dot{Y}_1 \quad (3.5a)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}}{Z_2} = (\dot{E}_2 - \dot{U})\dot{Y}_2 \quad (3.5b)$$

•
•
•

$$\dot{I}_{m-1} = \frac{\dot{E}_{m-1} + \dot{U}}{Z_{m-1}} = (\dot{E}_{m-1} + \dot{U})\dot{Y}_{m-1} \quad (3.5c)$$

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{E}_m + \dot{U}}{Z_m} = (\dot{E}_m + \dot{U})\dot{Y}_m \quad (3.5d)$$

Tại nút A có:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dots - \dot{I}_{m-1} - \dot{I}_m = 0 \quad (3.6)$$

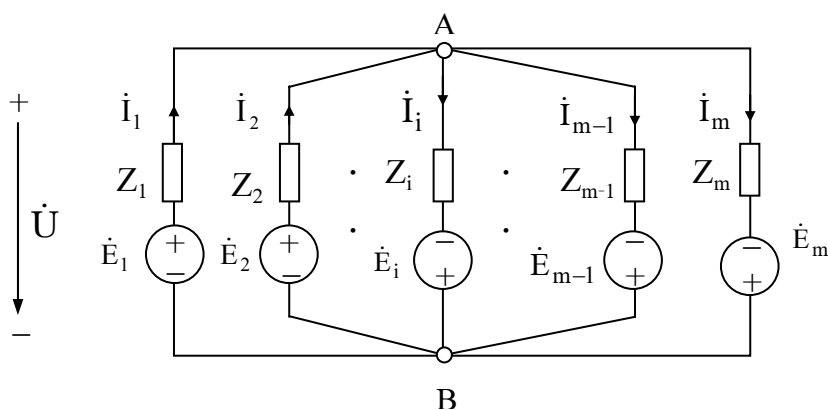
Thay các giá trị của $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_m$ bởi các biểu thức (3.5), suy ra :

$$\dot{U} = \frac{\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dots - \dot{E}_{m-1} Y_{m-1} - \dot{E}_m Y_m}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{m-1} + Y_m} \quad (3.7)$$

Tổng quát:

$$\dot{U} = \frac{\sum_{i=1}^m \pm \dot{E}_i Y_i}{\sum_{i=1}^m Y_i} \quad (3.8)$$

trong đó $Y_i = 1/Z_i$ là tổng dẫn phức của nhánh thứ i , đơn vị là S (Simen), sức điện động \dot{E}_i lấy dấu + khi dấu của nó cùng dấu với điện áp, ngược lại lấy dấu -.



Hình 3.3 Phương pháp điện áp hai nút

Nội dung phương pháp như sau :

- Chọn tùy ý chiều dương điện áp 2 nút và dòng điện trên các nhánh
- Tính điện áp 2 nút theo công thức (3.8)
- Tính dòng điện trên các nhánh dựa vào định luật Ohm theo (3.5)

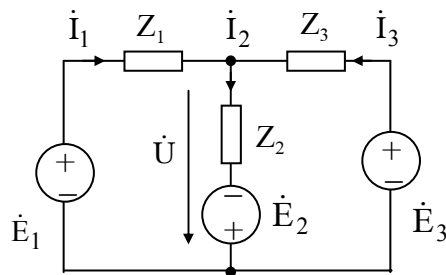
VÍ DỤ 3.3 Cũng giải bài toán trên hình 3-1a bằng phương pháp điện áp 2 nút

Giải :

- Chọn chiều dương điện áp 2 nút và dòng điện trên các nhánh như hình 3.4
- Tính điện áp \dot{U} :

$$\dot{U} = \frac{\dot{E}_1 Y_1 - \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3} \quad (3.9)$$

trong đó :



Hình 3.4

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{10 + j10} = 0,05 - j0,05 \text{ (S)}$$

$$Y_2 = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ (S)}$$

$$Y_3 = \frac{1}{Z_3} = \frac{1}{10 - j10} = 0,05 + j0,05 \text{ (S)}$$

Thay trị số vào (3.9), có:

$$\begin{aligned}\dot{U} &= \frac{220(0,05 - j0,05) - (95,26 + j55) \cdot 0,2 + 220(0,05 + j0,05)}{0,05 - j0,05 + 0,2 + 0,05 + j0,05} \\ &= \frac{2,948 - j11}{0,3} = 9,826 - j36,666 \text{ (V)}\end{aligned}$$

Tính dòng điện trên các nhánh

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= (\dot{E}_1 - \dot{U})Y_1 = (220 - 9,826 + j36,666)(0,05 - j0,05) \\ &= 12,342 - j8,675 = 15,08 \angle -35,1^\circ \text{ (A)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_2 &= (\dot{E}_2 + \dot{U})Y_2 = (95,26 + j55 + 9,826 - j36,666) \cdot 0,2 \\ &= 21,017 + j36,666 = 21,33 \angle 9,9^\circ \text{ (A)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_3 &= (\dot{E}_3 - \dot{U})Y_3 = (220 - 9,826 + j36,666) \cdot (0,05 + j0,05) \\ &= 8,675 + j12,342 = 15,08 \angle 54,9^\circ \text{ (A)}\end{aligned}$$

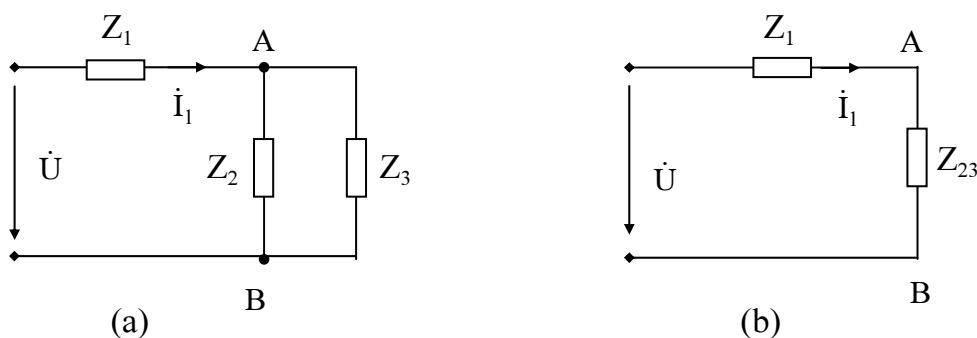
Ta trở lại kết quả như các phương pháp đã giải.

Chú ý: Phương pháp này tuy chỉ có một phương trình, tuy nhiên khối lượng tính toán không phải ít hơn hẳn phương pháp dòng vòng. Do đó tùy theo bài toán, ta chọn phương pháp thích hợp.

3.5. MỘT SỐ PHÉP BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG

Để phân tích mạch điện về nguyên tắc cần lập hệ phương trình theo các luật Kirchhoff và sau đó giải hệ phương trình.

Trong tính toán, thường muốn giảm bớt số phương trình của hệ. Muốn vậy, nếu có thể ta tìm cách biến đổi một phần hoặc toàn bộ sơ đồ mạch để giảm bớt số nhánh **m** và số nút **n**.



Hình 3.5 Biến đổi tương đương

Trong quá trình biến đổi thường giữ nguyên một số nhánh hoặc nút cần xét trạng thái dòng, áp và tìm cách biến đổi những nhánh, nút còn lại để chuyển mạch điện về mạch đơn giản hơn sao cho việc tính toán dòng, áp các nhánh không bị biến đổi và các nhánh khác tiện gọn nhất. Trong quá trình đó đòi hỏi phải thỏa mãn điều kiện biến đổi, đó là những trạng thái dòng, áp trên những yếu tố không bị biến đổi phải được giữ nguyên. Do đó:

- Công suất đưa vào mỗi bộ phận cũng như đưa vào tất cả những bộ phận không bị biến đổi, tức giữ nguyên.

- Do toàn mạch thỏa mãn điều kiện $\sum p_k = 0$, nên công suất tổng đưa vào những bộ phận bị biến đổi cũng giữ nguyên.

Thỏa mãn điều kiện đó, ta gọi phép biến đổi tương đương.

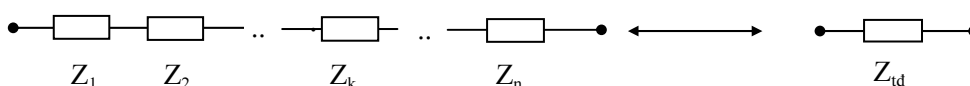
Ví dụ muốn tính dòng điện trong nhánh 1 của hình 3-5a có thể biến đổi tương đương hai nhánh song song 2 và 3 bằng một nhánh 23, ta được sơ đồ như hình (3.5b) đơn giản, cho phép ta dễ dàng tính dòng điện trong nhánh 1.

Dưới đây nêu một số phép biến đổi tương đương thường dùng.

2.10.1. Tổng trở mắc nối tiếp

Những phần tử có tổng trở $Z_1, Z_2, \dots, Z_K, \dots$ mắc nối tiếp giữa hai cực tương đương với một phần tử có tổng trở (hình 3.6) :

$$Z_{td} = \sum_{k=1}^n Z_k \quad (3.10)$$



Hình 3.6 Tổng trở nối tiếp

Thật vậy, theo điều kiện biến đổi tương đương, trạng thái dòng, áp trên hai nhánh không thay đổi:

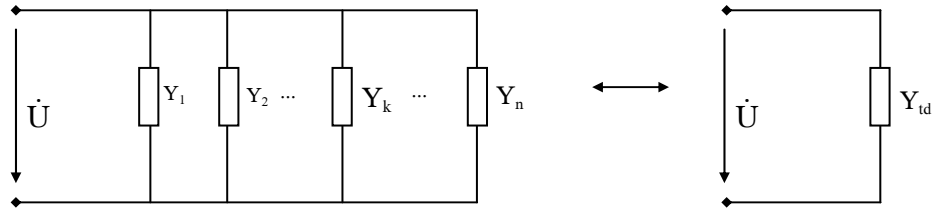
$$\dot{U} = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_k + \dots) \dot{I} = Z_{td} \cdot \dot{I} \quad (3.11)$$

ta dễ dàng tìm ra quan hệ (3.10)

2.10.2. Tổng dẫn mắc song song

Những phần tử có tổng dẫn $Y_1, Y_2, \dots, Y_k, \dots$ nối song song giữa hai cực tương đương với một phần tử (hình 3.7) có tổng dẫn :

$$Y_{td} = \sum_{k=1}^n Y_k \quad (3.12)$$



Hình 3.7 Tổng dẫn song song

Ta xác định quan hệ trên dựa vào các phương trình trạng thái dòng, áp của hai mạch không thay đổi:

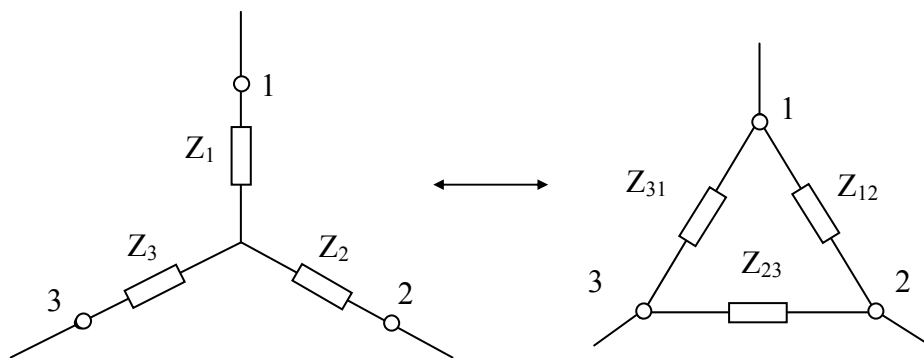
$$\dot{I} = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k + \dots) \dot{U} \quad \text{và} \quad \dot{I} = Y_{td} \dot{U} \quad (3.13)$$

2.10.3. Biến đổi Y - Δ không nguồn

Có thể thay tương đương qua lại ba nhánh không nguồn có các tổng trở Z_1, Z_2, Z_3 nối hình sao giữa 3 cực 1, 2, 3 với ba nhánh nối tam giác Δ giữa ba cực ấy có các tổng trở Z_{12}, Z_{13}, Z_{23} (hình 3.8) theo qui tắc sau:

Tổng trở một nhánh hình sao tương đương bằng tích hai tổng trở tam giác tương ứng chia cho tổng ba tổng trở tam giác.

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} \\ Z_2 &= \frac{Z_{21} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} \\ Z_3 &= \frac{Z_{31} \cdot Z_{32}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} \end{aligned} \quad (3.14)$$



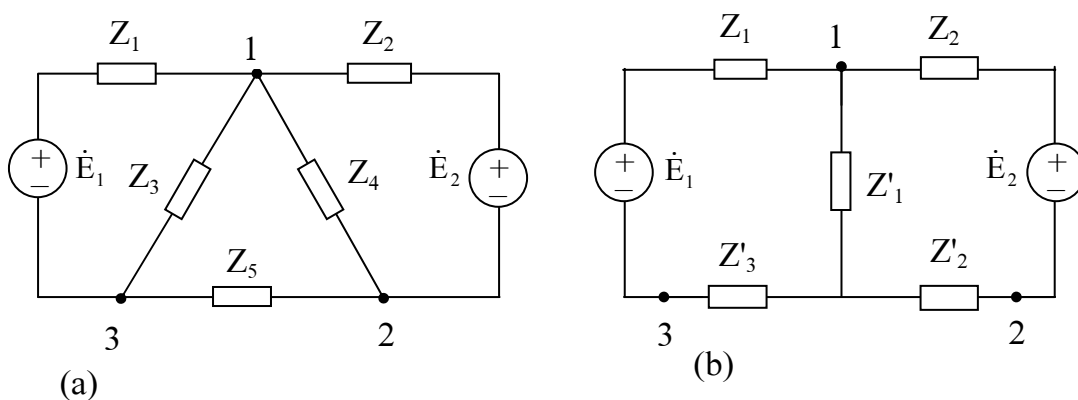
Hình 3.8 Biến đổi sao ↔ tam giác

Ngược lại tổng trở một nhánh tam giác tương đương bằng tổng hai tổng trở hình sao tương ứng với thương giữa tích của chúng với tổng trở nhánh sao còn lại:

$$\begin{aligned}
 Z_{12} &= Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_3} \\
 Z_{13} &= Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2} \\
 Z_{23} &= Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}
 \end{aligned}
 \quad (3.15)$$

Để dẫn ra những công thức trên, ta xét hai sơ đồ tương đương trên ở 3 chế độ đặc biệt sau: $\dot{I}_1 = 0$; $\dot{I}_2 = 0$; $\dot{I}_3 = 0$ và dựa vào sự không đổi của các phương trình trạng thái dòng, áp của chúng.

VÍ DỤ 3.4 : Giải mạch điện hình 3.9.



Hình 3.9 Biến đổi $\Delta \rightarrow Y$

Nhận thấy rằng mạch điện cần giải có ba tổng trở nối tam giác qua các điểm 1, 2, 3; ta biến đổi chúng thành hình sao và ta sẽ có mạch hình 3.9b mà ta đã giải ở trên.



BÀI TẬP

Bài 3.1. Cho mạch điện như hình 3-1, có các thông số và đại lượng như sau:

$$R_1 = R_2 = 10 \, \Omega ; R_4 = 6 \, \Omega ; L_2 = \frac{1}{5\pi} \text{ H} ; L_3 = L_4 = \frac{1}{10\pi} \text{ H} ; C_1 = \frac{10^{-3}}{3\pi} \text{ F} ;$$

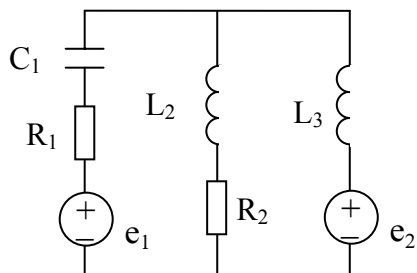
$$\omega = 100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} ; e_1(t) = 127\sqrt{2} \sin(\omega t + 25^\circ) \text{ V} ; e_2(t) = 220\sqrt{2} \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ V} ;$$

$$e_3(t) = 127\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ V} .$$

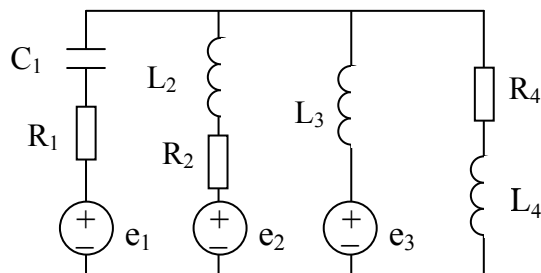
- Tính tổng trở các nhánh và phức hoá sơ đồ mạch điện.
- Giải mạch điện bằng hai phương pháp : dòng nhánh và dòng vòng.

Bài 3.2. Cho mạch điện như hình vẽ (hình 3-2) có các thông số xem ở bài 1.

- Tính tổng trở các nhánh và phức hoá sơ đồ mạch điện.
- Giải mạch điện bằng phương pháp điện áp hai nút và để chúng ở dạng tức thời.
- Tính công suất tác dụng và phản kháng tiêu thụ trên từng nhánh.



Hình 3-1



Hình 3-2

Bài 3.3. Cho mạch điện như hình 3-3, có các thông số và đại lượng như sau:

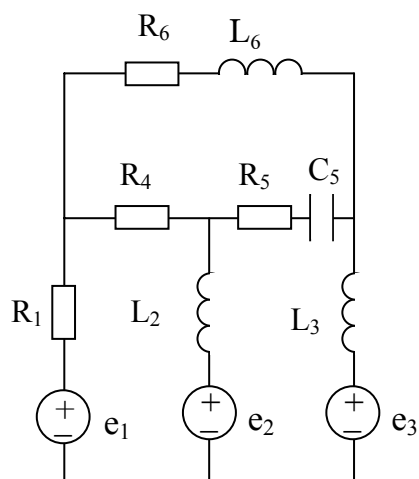
$$R_1 = R_5 = 10 \, \Omega ; R_4 = R_6 = 6 \, \Omega ; L_2 = \frac{1}{5\pi} \text{ H} ; L_3 = L_6 = \frac{1}{10\pi} \text{ H} ; C_5 = \frac{10^{-3}}{3\pi} \text{ F} ;$$

$$\omega = 100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} ; \quad e_1(t) = 127\sqrt{2} \sin \omega t \text{ V} ;$$

$$e_2(t) = 220\sqrt{2} \sin (\omega t - 90^\circ) \text{ V} ;$$

$$e_3(t) = 127\sqrt{2} \sin (\omega t + 60^\circ) \text{ V} .$$

- Tính tổng trở các nhánh và phức hoá sơ đồ mạch điện.
- Chuyển ba nhánh nối tam giác không nguồn thành nối hình sao, sau đó tính các tổng trở nối tiếp nhau thành các tổng trở tương đương.
- Giải mạch điện bằng ba phương pháp : dòng điện nhánh, dòng điện vòng và phương pháp điện áp hai nút.



Hình 3-3



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

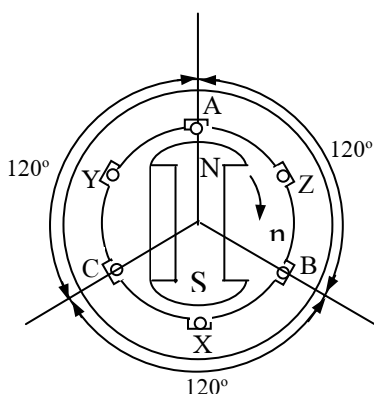
Chương 4

MẠCH ĐIỆN BA PHA

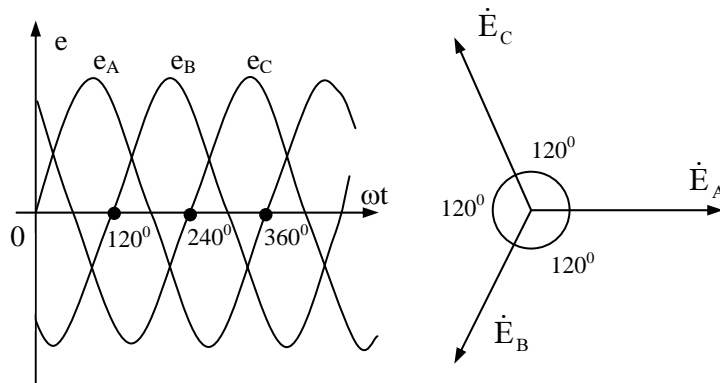
4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Mạch ba pha là mạch điện mà nguồn điện năng của nó gồm ba sđđ hình sin cùng tần số nhưng lệch nhau một góc α nào đó. Trong thực tế thường dùng nguồn điện năng ba pha gồm ba sđđ hình sin cùng tần số, cùng biên độ và lệch nhau một góc 120° . Nguồn ba pha như vậy được gọi là nguồn ba pha đối xứng. Mỗi mạch một pha được gọi là pha của mạch ba pha. Mạch ba pha bao gồm nguồn điện ba pha, đường dây truyền tải và các phụ tải ba pha.

Để tạo nguồn điện ba pha, ta dùng máy phát điện đồng bộ ba pha. Sau đây ta xét cấu tạo và nguyên lý của máy phát điện ba pha đơn giản.



Hình 4.1 Máy phát đồng bộ ba pha



Hình 4.2 Đồ thị tức thời và vectơ sđđ ba pha

Cấu tạo: Máy phát điện ba pha gồm hai phần: stato và rôto (hình 4.1)

- Stato (phần tĩnh): Lõi thép hình trụ, bên trong có sáu rãnh, trên mỗi cặp rãnh ta đặt các dây quấn AX, BY, CZ có cùng số vòng dây và lệch nhau một góc 120° trong không gian. Mỗi dây quấn là một pha. Dây quấn AX là pha A, BY là pha B và CZ là pha C.

- Rôto (phần quay): Cũng là lõi thép hình trụ, đặt bên trong stato và có thể quay quanh trục. Nó chính là nam châm điện S-N được từ hóa bằng dòng điện một chiều lấy từ nguồn kích thích bên ngoài.

Nguyên lý : Khi làm việc, rôto quay đều với tốc độ ω , từ trường rôto sẽ lần lượt quét qua dây quấn stato làm cho mỗi dây quấn stato cảm ứng một sđđ xoay chiều hình sin, các sđđ này hoàn toàn giống nhau và lệch pha nhau 120° ứng với $1/3$ chu kỳ.

Nếu chọn thời điểm tính toán ban đầu $t = 0$ ứng với sđđ trong cuộn dây AX (pha A) bằng không thì các sđđ e_A, e_B, e_C trong các cuộn dây AX, BY, CZ của các pha A, B, C có dạng là :

$$e_A = \sqrt{2}E \sin \omega t \quad (4.1a)$$

$$e_B = \sqrt{2}E \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (4.1b)$$

$$e_C = \sqrt{2}E \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (4.1c)$$

Chuyển các sđđ sang dạng ảnh phức:

$$\dot{E}_A = E e^{j0^\circ} = E \quad (4.2a)$$

$$\dot{E}_B = E e^{-j120^\circ} \quad (4.2b)$$

$$\dot{E}_C = E e^{-j240^\circ} = E e^{j120^\circ} \quad (4.2c)$$

Từ đồ thị hình sin và đồ thị vectơ sđđ ba pha (hình 4.2), ta có :

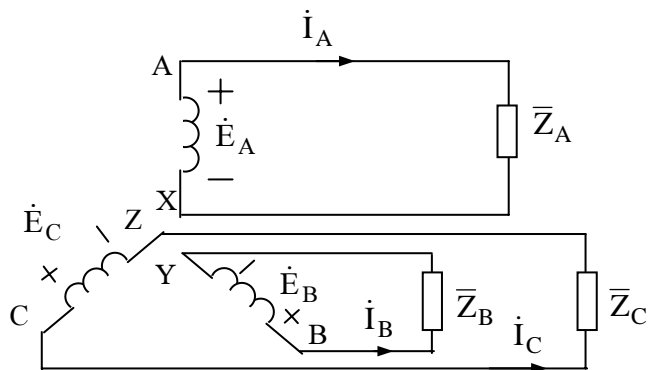
$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad \text{hoặc} \quad \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \quad (4.3)$$

Hệ thống sđđ ba pha như (4.3) gọi là hệ thống sđđ ba pha đối xứng.

Đem nối dây quấn ba pha của nguồn điện là AX, BY, CZ với phụ tải Z_A, Z_B, Z_C ta được hình 4.2.

Từ hình 4.2, ta thấy :

- Nối 6 dây đến ba phụ tải nên không kinh tế, vì vậy ta có cách nối hình sao (Y) & nối hình tam giác (Δ).
- Mỗi pha của máy phát (nguồn) hoặc của phụ tải đều có hai đầu ra : Điểm đầu và điểm cuối. Điểm đầu thường ký hiệu A, B, C và điểm cuối ký hiệu X, Y, Z.



Hình 4.2 Ba mạch một pha không liên hệ nhau

Qui ước :

1. Chiều dòng điện trong các pha của nguồn đi từ điểm cuối đến điểm đầu, còn trong các pha của phụ tải đi từ điểm đầu đến điểm cuối.
2. Điểm đầu và điểm cuối trong các pha của nguồn và của phụ tải không thể qui ước một cách tùy tiện mà phải theo một qui tắc nhất định sao cho:

+ *Đối với nguồn*: sdd trong các pha là đối xứng ($\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0$).

+ *Đối với phụ tải*: Dòng điện trong các pha là đối xứng ($\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0$)

Phụ tải ba pha đối xứng là khi tổng trở các pha bằng nhau $Z_A = Z_B = Z_C = Z$.

Mạch ba pha đối xứng là mạch ba pha có nguồn, phụ tải và tổng trở đường dây đối xứng. Ngược lại mạch ba pha không hội đủ một trong các điều kiện trên gọi là mạch ba pha không đối xứng.

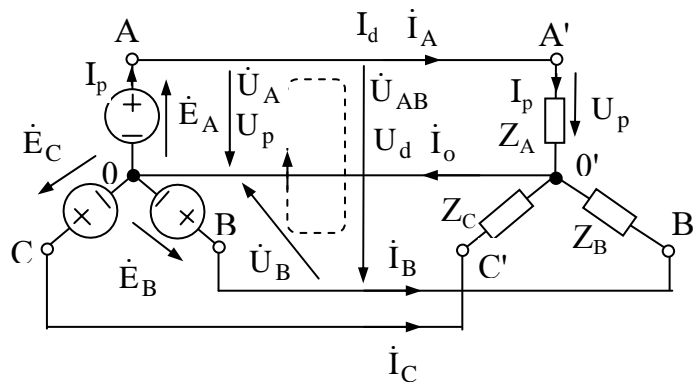
4.2. CÁCH NỐI HÌNH SAO (Y)

Cách nối hình sao là nối ba điểm cuối của các pha lại với nhau tạo thành điểm trung tính (hình 4.3).

Khi nối ba điểm cuối X,Y,Z của nguồn lại thành điểm 0, gọi là điểm trung tính của nguồn, còn nối X',Y',Z' của tải lại thành điểm 0' gọi là điểm trung tính của tải. Dây 00' gọi là dây trung tính.

Dây AA', BB', CC' là

các dây pha. Mạch điện có ba dây pha và một dây trung tính gọi là mạch ba pha bốn dây.



Hình 4.3 Mạch ba pha nguồn và phụ tải nối sao

Qui ước :

- + Dòng pha: dòng chạy trong các pha của nguồn hoặc phụ tải. Ký hiệu : I_p .
- + Dòng dây : dòng chạy trong các dây pha. Ký hiệu: I_d .
- + Điện áp pha : điện áp của điểm đầu và điểm cuối của một pha nào đó. Kh : U_p . (hoặc giữa một dây pha với dây trung tính)
- + Điện áp dây : điện áp giữa 2 điểm đầu của các pha. Ký hiệu : U_d . (hoặc giữa hai dây pha với nhau)

Xét quan hệ : U_d và U_p ; I_d và I_p trong mạch ba pha đối xứng nối Y:

+ Quan hệ : U_d và U_p

$$\text{Ta có: } \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \quad (4.4a)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \quad (4.4b)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (4.4c)$$

Xét ΔOAB (hình 4.4), ta có:

$$OB = 2OA \cos 30^\circ$$

$$OB = \sqrt{3}OA$$

Ta thấy: Độ dài $OB = U_d$;

Độ dài $OA = U_p$, nên:

$$U_d = \sqrt{3}U_p \quad (4.5)$$

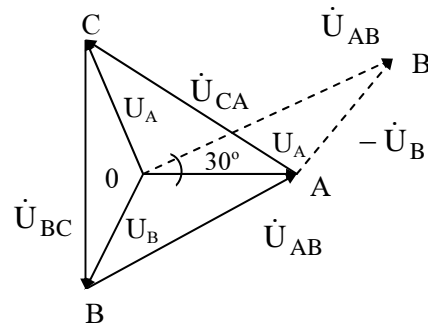
+ Quan hệ : I_d và I_p

$$I_d = I_p \quad (4.6)$$

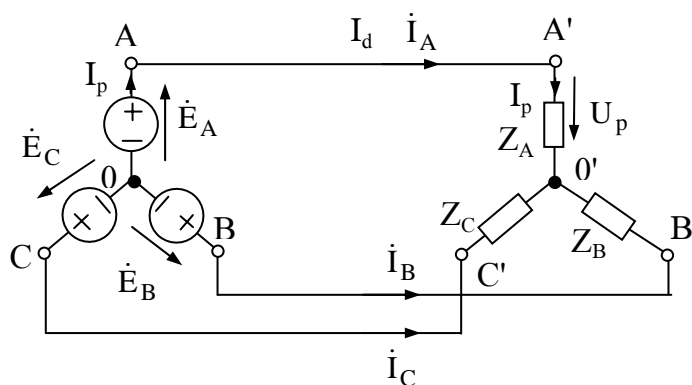
Khi nối hình sao phụ tải và nguồn ba pha đối xứng thì hệ thống dòng điện, điện áp dây và pha cũng đối xứng, về trị số thì điện áp dây lớn hơn $\sqrt{3}$ điện áp pha. Còn về pha, điện áp dây $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ lệch pha nhau 120° và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 30° (hình 4.4).

Ta gọi I_0 là dòng trong dây trung tính (hình 4.3).

Khi nguồn và cả tải ba pha đối xứng : $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_0 = 0$. Khi đó dây trung tính không có tác dụng nên ta bỏ qua dây trung tính, mạch điện ba pha còn là mạch ba pha ba dây (hình 4.5).



Hình 4.4 Đồ thị vectơ



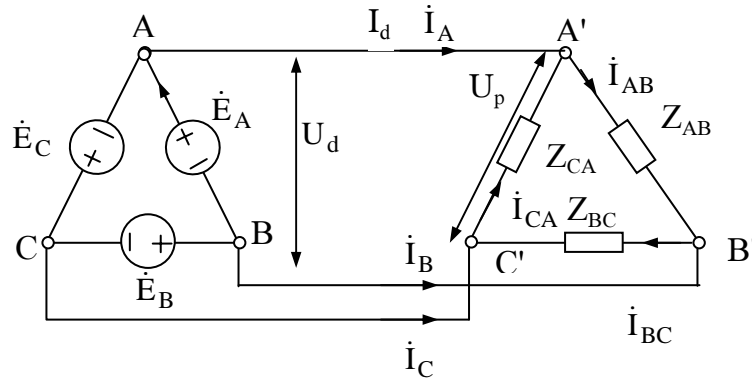
Hình 4.5 Mạch ba pha ba dây nối sao

Điện thế điểm trung tính tải đối xứng luôn trùng với điện thế điểm trung tính nguồn. Lúc mạch không đối xứng:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_0 \neq 0$$

4.3. CÁCH NỐI HÌNH TAM GIÁC (Δ)

Nối hình tam giác của nguồn hoặc phụ tải là nối điểm đầu của pha này với điểm cuối của pha kia. Ví dụ A nối với Z, B nối với X, C nối với Y ...(hình 4.6)



Hình 4.6 Mạch ba pha ba nguồn và tải nối tam giác

Xét quan hệ : U_d và U_p ; I_d và I_p trong mạch ba pha đối xứng:

+ Quan hệ : U_d và U_p

Ta có: $U_d = U_p$ (4.7)

+ Quan hệ : I_d và I_p

Ta có: $I_A = I_{AB} - I_{CA}$ (4.8a)

$I_B = I_{BC} - I_{AB}$ (4.8b)

$I_C = I_{CA} - I_{BC}$ (4.8c)

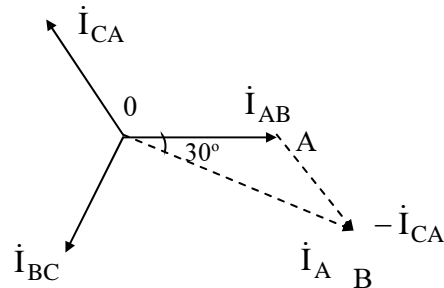
Xét Δ OAB, ta có:

$$OB = 2OA \cos 30^\circ$$

$$OB = \sqrt{3}OA$$

Ta thấy: Độ dài $OB = I_d$; độ dài $OA = I_p$, nên:

$$I_d = \sqrt{3}I_p \quad (4.9)$$



Hình 4.7 Đồ thị vectơ tải nối tam giác

Khi nối hình tam giác nguồn và phụ tải ba pha đối xứng thì hệ thống dòng điện, điện áp dây và pha cũng đối xứng, về trị số thì dòng điện dây lớn hơn $\sqrt{3}$ dòng điện pha.

4.4. CÔNG SUẤT CỦA MẠCH BA PHA

4.4.1. Công suất tác dụng mạch ba pha

Công suất tác dụng của mạch ba pha bằng tổng công suất tác dụng của các pha. Gọi P_A, P_B, P_C tương ứng là công suất tác dụng của các pha A, B, C. Ta có:

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (4.10)$$

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Trong đó : $U_A, U_B, U_C; I_A, I_B, I_C; \varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ tương ứng là điện áp pha, dòng điện pha và góc lệch pha của chúng.

Khi mạch ba pha đối xứng thì $U_A = U_B = U_C = U_p$; $I_A = I_B = I_C = I_p$; $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi$, ta có:

$$P = 3U_p I_p \cos \varphi \quad (4.11a)$$

hoặc $P = 3R_p I_p^2 \quad (4.11b)$

trong đó : R_p : là điện trở pha.

Trường hợp mạch ba pha đối xứng :

+ Nối sao: $I_p = I_d$; $U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$.

+ Nối tam giác : $I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$; $U_p = U_d$.

Công suất tác dụng mạch ba pha viết theo đại lượng dây, áp dụng cho cả trường hợp mạch ba pha nối sao và tam giác đối xứng:

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (4.12)$$

4.4.2. Công suất phản kháng

Tương tự công suất tác dụng, ta có công suất phản kháng ba pha :

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C \quad (4.13)$$

$$Q = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng thì ta có:

$$Q = 3U_p I_p \sin \varphi \quad (4.14a)$$

hoặc $Q = 3X_p I_p^2 \quad (4.14b)$

trong đó : X_p là điện kháng pha.

hoặc $Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (4.15)$

4.4.3. Công suất biểu kiến

Công suất biểu kiến của mạch ba pha đối xứng:

$$S = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_d I_d \quad (4.16)$$

4.4.4. Công suất viết ở dạng phức

Gọi $\tilde{S}_A, \tilde{S}_B, \tilde{S}_C$ là công suất pha A, B, C viết ở dạng số phức và $\tilde{I}_A^*, \tilde{I}_B^*, \tilde{I}_C^*$ là số phức liên hiệp của dòng điện pha $\tilde{I}_A, \tilde{I}_B, \tilde{I}_C$, ta có :

$$\tilde{S}_A = \dot{U}_A \dot{I}_A^* = P_A + jQ_A \quad (4.17a)$$

$$\tilde{S}_B = \dot{U}_B \dot{I}_B^* = P_B + jQ_B \quad (4.17b)$$

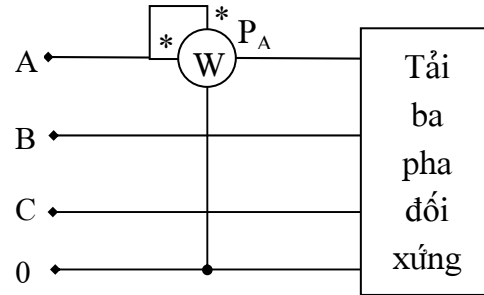
$$\tilde{S}_C = \dot{U}_C \dot{I}_C^* = P_C + jQ_C \quad (4.17c)$$

4.5. ĐO CÔNG SUẤT TÁC DỤNG MẠCH BA PHA

4.5.1. Đo công suất mạch ba pha đối xứng có dây trung tính

Như đã biết, mạch ba pha đối xứng thì dòng điện điện áp các pha đều bằng nhau. Vì vậy để đo công suất mạch ba pha đối xứng có dây trung tính ta chỉ cần đo trên một pha rồi nhân ba. Hình 4.8 là sơ đồ nối dây đo công suất tác dụng trên một pha.

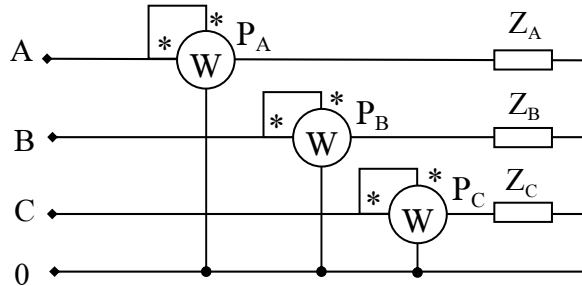
$$P = 3P_A \quad (4.18)$$



Hình 4.8 Đo công suất mạch ba pha dùng một oát mét

4.5.2. Đo công suất mạch ba pha không đối xứng có dây trung tính

Muốn đo công suất mạch ba pha không đối xứng có dây trung tính, về nguyên tắc có thể đo công suất của từng pha rồi cộng lại. Sơ đồ nối dây đo công suất từng pha vẽ trên hình 4.9.



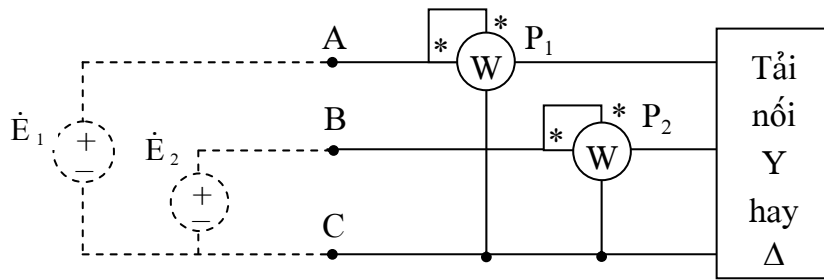
Hình 4.9 Đo công suất mạch ba pha dùng ba oát mét

Như vậy công suất ba pha :

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (4.19)$$

4.5.3. Đo công suất mạch ba pha không đối xứng

Trường hợp mạch ba pha không đối xứng có dây trung tính, để đo công suất ba pha ta đo công suất từng pha rồi cộng lại. Đối với mạch ba pha không đối xứng hay đối xứng ta có thể dùng 2 oát mét để đo theo sơ đồ nối dây hình 4.10.



Hình 4.10 Đo công suất ba pha dùng hai óát mét

Thật vậy, ta thấy hệ thống điện áp bằng hai nguồn sdd tương đương $\dot{E}_1 = \dot{U}_{AC}$, $\dot{E}_2 = \dot{U}_{BC}$ như hình 4.10.

Các nguồn tương đương này sẽ phát ra công suất bằng công suất tiêu thụ trên tải. Vì vậy công suất trên tải sẽ bằng:

$$P_{\text{tải}} = P_{E1} + P_{E2} = \text{Re} \{ \dot{U}_{AC} \dot{I}_A^* \} + \text{Re} \{ \dot{U}_{BC} \dot{I}_B^* \} = P_1 + P_2 \quad (4.20)$$

4.6. CÁCH GIẢI MẠCH BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với mạch ba pha đối xứng thì dòng điện, điện áp pha và dây cũng đối xứng, nghĩa là chúng có trị số bằng nhau và lệch pha nhau 120° . Vì vậy khi giải mạch ba pha ta tách một pha để tính, rồi suy ra cho hai pha kia.

4.6.1. Cách giải mạch ba pha đối xứng nối sao

1. Khi không xét tổng trở đường dây pha (hình 4.11).

Điện áp đặt lên mỗi pha của tải:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \quad (4.21)$$

với U_d - điện áp dây của mạch ba pha.

Tổng trở pha của tải:

$$z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} \quad (4.22)$$

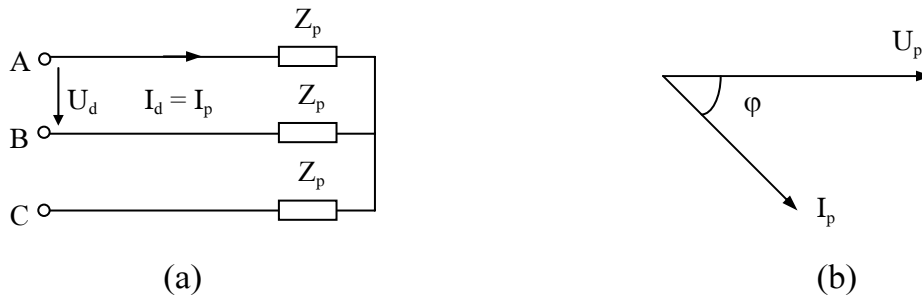
R_p, X_p - điện trở, điện kháng mỗi pha của tải.

Dòng điện pha (bằng dòng dây) của tải:

$$I_p = I_d = \frac{U_p}{z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (4.23)$$

Góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha:

$$\varphi = \arctg \frac{X_p}{R_p} \quad (4.24)$$



Hình 4.11. Mạch ba pha đối xứng nối sao

2. Khi có xét tổng trở đường dây pha (hình 4. 12).

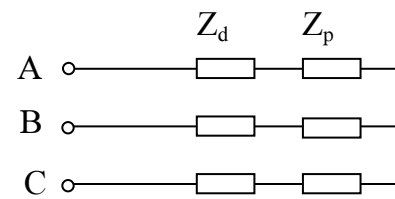
Cách giải cũng tương tự, nhưng khi tính dòng điện pha và dây phải cộng tổng trở đường dây với tổng trở tải :

$$I_p = I_d = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2}}$$

trong đó :

$Z_d = R_d + jX_d$ là tổng trở đường dây tải điện.

$Z_p = R_p + jX_p$ là tổng trở pha của phụ tải.



Hình 4.12 Mạch ba pha nối sao đối xứng có tổng trở đường dây

4.6.2. Mạch ba pha đối xứng nối tam giác

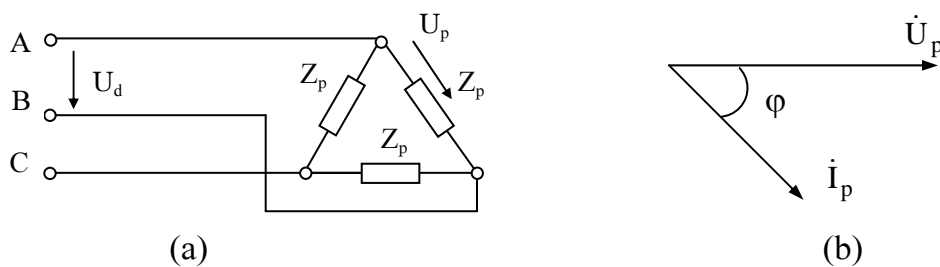
1 Khi không xét tổng trở đường dây pha (hình 4. 13).

Điện áp đặt lên mỗi pha của tải bằng điện áp dây:

$$U_p = U_d$$

Dòng điện pha của tải:

$$I_p = \frac{U_p}{z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (4.25)$$



Hình 4.13. Mạch ba pha đối xứng nối tam giác

Dòng điện dây :

$$I_d = \sqrt{3}I_p$$

Góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng:

$$\varphi = \arctg \frac{X_p}{R_p}$$

2. Khi có xét tổng trở đường dây pha (hình 4. 14).

Trước hết ta biến đổi tương đương tổng trở nối tam giác thành hình sao:

$$\bar{Z}_Y = \frac{\bar{Z}_\Delta}{3} = \frac{R_p}{3} + j \frac{X_p}{3}$$

trong đó : $\bar{Z}_\Delta = R_p + jX_p$ là tổng trở pha nối tam giác.

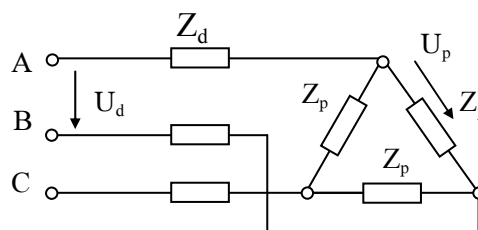
Sau đó tính như đã giải ở trên.

Dòng điện dây là :

$$I_d = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{(R_d + \frac{R_p}{3})^2 + (X_d + \frac{X_p}{3})^2}}$$

Dòng điện pha của tải khi nối tam giác :

$$I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$



Hình 4.14 Mạch ba pha nối tam giác đối xứng có tổng trở đường dây

4.7. CÁCH GIẢI MẠCH BA PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG

Khi tải ba pha không đối xứng $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$ thì dòng điện áp trên các pha không đối xứng. Vậy mạch ba pha bây giờ là mạch phức tạp gồm nhiều nguồn sdd và ở đây chỉ xét mạch ba pha không có hồ cảm. Cách giải theo các phương pháp đã trình bày ở chương 3.

Ta xét một số trường hợp cụ thể sau:

4.7.1. Tải nối hình sao Y

1. Trường hợp có dây trung tính và tổng trở dây trung tính Z_0 (hình 4.15)

Để giải mạch điện hình 4.15, ta dùng phương pháp điện áp hai nút. Ta có điện áp giữa hai điểm trung tính $0'$ và 0 là :

$$\dot{U}_{0'0} = \frac{\dot{E}_A \bar{Y}_A + \dot{E}_B \bar{Y}_B + \dot{E}_C \bar{Y}_C}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_0} \quad (4.26)$$

Thay nguồn sdd bằng nguồn áp, ta có :

$$\dot{U}_{o'o} = \frac{\dot{U}_A \bar{Y}_A + \dot{U}_B \bar{Y}_B + \dot{U}_C \bar{Y}_C}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_o} \quad (4.27)$$

Trong đó : $\bar{Y}_A = \frac{1}{\bar{Z}_A}$; $\bar{Y}_B = \frac{1}{\bar{Z}_B}$; $\bar{Y}_C = \frac{1}{\bar{Z}_C}$; $\bar{Y}_o = \frac{1}{\bar{Z}_o}$ là tổng dẫn phức các pha của tải và dây trung tính, còn $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ là điện áp pha của nguồn.

Trường hợp nguồn ba pha đối xứng thì $\dot{U}_A = U_p$; $\dot{U}_B = U_p e^{-j120^\circ}$; $\dot{U}_C = U_p e^{-j240^\circ}$, thay vào công thức (4.27) ta có :

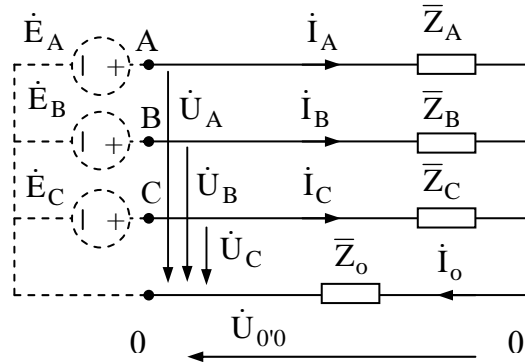
$$\dot{U}_{o'o} = U_p \frac{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B e^{-j120^\circ} + \bar{Y}_C e^{-j240^\circ}}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_o} \quad (4.28)$$

Sau khi tính được $\dot{U}_{o'o}$ theo công thức (4.28) ta tính điện áp trên các pha tải :

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{o'o}$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{o'o}$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{o'o}$$



Hình 4.15 Tải nối hình sao có dây trung tính

Và dòng điện :

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}'_A}{\bar{Z}_A} = \dot{U}'_A \bar{Y}_A$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}'_B}{\bar{Z}_B} = \dot{U}'_B \bar{Y}_B$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}'_C}{\bar{Z}_C} = \dot{U}'_C \bar{Y}_C$$

$$\dot{I}_o = \frac{\dot{U}'_{o'o}}{\bar{Z}_o} = \dot{U}'_{o'o} \bar{Y}_o \quad (4.29)$$

hoặc : $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ (4.30)

Sau khi tính dòng điện I_0 bằng (4.29) và kiểm tra lại bằng (4.30) để biết đã tính đúng hay sai.

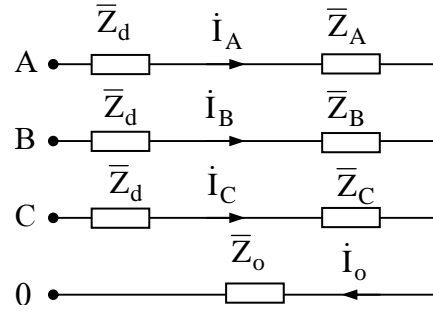
2. Trường hợp có dây trung tính và tổng trở dây dẫn pha Z_d (hình 4.16)

Phương pháp tính toán vẫn như trên, nhưng lúc đó tổng trở các pha phải gồm cả tổng trở dây dẫn pha Z_d . Vì vậy :

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_d}$$

$$\dot{Y}_B = \frac{1}{\bar{Z}_B + \bar{Z}_d}$$

$$\dot{Y}_C = \frac{1}{\bar{Z}_C + \bar{Z}_d}$$



Hình 4.16 Có xét tổng trở dây dẫn pha

3. Trường hợp tổng trở dây trung tính $Z_0=0$

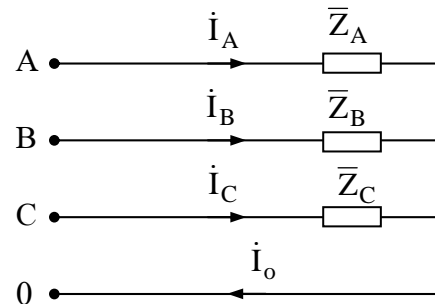
Lúc này điểm trung tính của tải O' trùng với điểm trung tính của nguồn O và điện áp trên các pha của tải bằng điện áp pha tương ứng với nguồn. Rõ ràng là nhờ có dây trung tính điện áp pha trên các tải đối xứng.

Tính dòng điện trong các pha, ta áp dụng định luật Ôm cho từng pha riêng rẽ:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\bar{Z}_A}; \quad I_A = \frac{U_A}{Z_A}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\bar{Z}_B}; \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\bar{Z}_C}; \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$



Hình 4.17 Không có tổng trở dây trung tính

4. Trường hợp dây trung tính bị đứt hoặc không có dây trung tính $Z_0=\infty$

Phải tính điện áp $U_{O'O}$ như trường hợp trên, nhưng ở công thức (4.27) lấy $Z_0=\infty$ ($Y_0=0$). Lúc này điện áp $U_{O'O}$ có thể lớn, do đó điện áp pha của tải khác điện áp pha nguồn rất nhiều có thể gây nên quá điện áp ở một pha nào đó.

4.7.2. Tải nối tam giác

Trường hợp tải không đối xứng nối hình tam giác, nguồn điện có điện áp dây là $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ (hình 4.18).

Nếu không xét đến tổng trở các dây pha (hình 4.18) điện áp đặt lên các pha của tải là điện áp dây nguồn, do đó ta tính được dòng điện trong các pha của tải :

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}}; \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{Z}_{BC}}; \quad \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\dot{Z}_{CA}};$$

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}; \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}; \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$

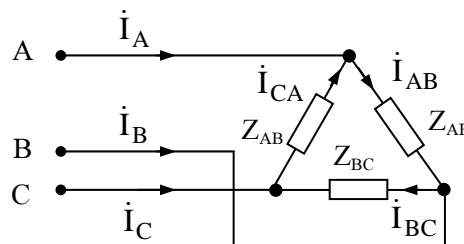
Áp dụng định luật kirchhoff về dòng, tại các đỉnh ta có dòng điện dây:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Nếu trường hợp có xét đến tổng trở Z_d của các dây dẫn pha ta nên biến đổi tương đương tải nối tam giác thành hình sao.



Hình 4.18 Tải ba pha nối tam giác không đối xứng

4.8. ỨNG DỤNG CÁCH NỐI HÌNH SAO VÀ TAM GIÁC

Nguồn và phụ tải ba pha đều có thể nối hình sao hoặc hình tam giác, tùy theo điều kiện cụ thể như điện áp qui định của thiết bị, điện áp của lưới điện và một số yêu cầu kỹ thuật khác. Sau đây ta xét vài trường hợp thường gặp.

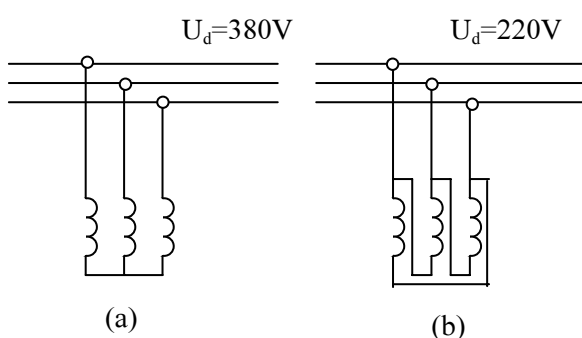
4.8.1. Cách nối nguồn điện

a) Nối máy phát điện ba pha : nối Y

b) Nối máy biến áp : nối Y hoặc Δ tùy yêu cầu. Nếu dùng cho phụ tải sinh hoạt thường nối hình sao có dây trung tính Y_0 . Nối như vậy có ưu điểm là có thể cung cấp hai điện áp khác nhau : điện áp pha và điện áp dây. Hiện tại ở nước ta tồn tại hai loại lưới điện : 380/220V ($U_d = 380V$; $U_p = 220V$) và lưới điện 220/127V.

4.8.2. Cách nối phụ tải

1. Nối động cơ điện ba pha



Hình 4.19 Cách nối động cơ điện ba pha

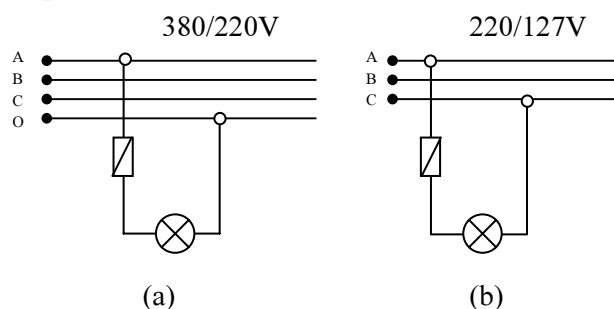
Động cơ điện ba pha gồm ba dây quấn, mỗi dây quấn có hai đầu ra, đầu đầu : ký hiệu a, b, c; đầu cuối ký hiệu tương ứng : x, y, z. Khi thiết kế người ta đã qui định điện áp cho mỗi dây quấn. Lúc động cơ làm việc yêu cầu nối động cơ với lưới điện đúng điện áp qui định ấy. Ví dụ động cơ ba pha có

điện áp qui định cho mỗi dây quấn tức là điện áp đặt lên mỗi pha 220V, do đó trên nhãn hiệu động cơ ghi là : $\Delta/Y-220/380V$.

Nếu động cơ làm việc ở lưới điện có điện áp dây $U_d = 380V$ thì động cơ phải nối hình sao (hình 4.19a), còn nếu động cơ làm việc ở lưới điện có điện áp dây $U_d=220V$ thì động cơ nối hình tam giác (hình 4.19b).

2. Nối các tải một pha vào lưới ba pha

Tùy thuộc điện áp qui định của tải một pha đã ghi ở nhãn, ta nối vào lưới điện cho phù hợp. Ví dụ động cơ một pha và bóng đèn có điện áp 220V nối vào lưới điện có điện áp 380/220V thì phải nối giữa dây pha và dây trung tính (hình 4.20a). Cũng



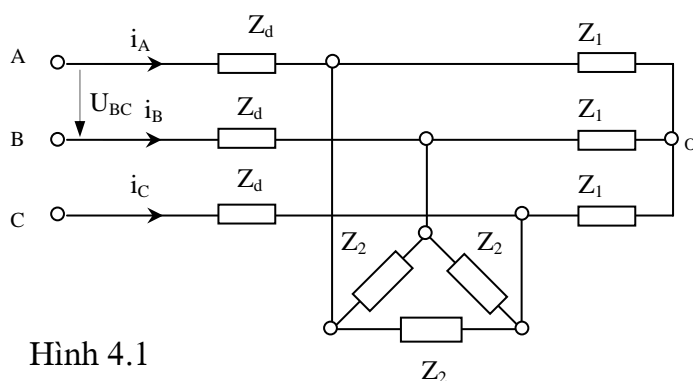
Hình 4.20 Cách nối tải một pha

động cơ và bóng đèn ấy nối vào lưới điện có điện áp 220/127 V thì phải nối vào hai dây pha (hình 4.20b).



BÀI TẬP

Bài 4.1. Cho mạch điện ba pha như hình vẽ (hình 4.1):



Hình 4.1

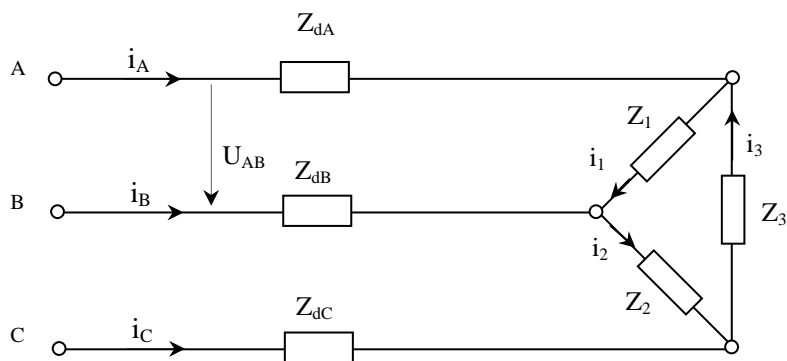
Với :

$$u_{BC} = 380\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ V}$$

$$Z_d = 7 + j2 \Omega; \quad Z_2 = 18 - j12 \Omega; \quad Z_1 = 6 - j4 \Omega.$$

Tính dòng điện trên các pha i_A, i_B, i_C , và công suất tác dụng P toàn mạch.

Bài 4.2. Cho mạch điện 3 pha có nguồn đối xứng có sơ đồ phức như hình 4.2.



Hình 4.2

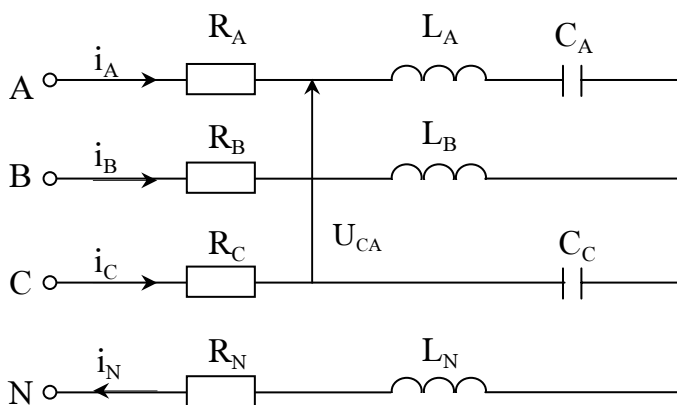
Với : $u_{AB} = 193\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ V}$

$Z_1 = j6 \Omega$; $Z_2 = -j3 \Omega$; $Z_3 = j7 \Omega$.

$Z_{dA} = 10 - j4,2 \Omega$; $Z_{dB} = 20 + j1,8 \Omega$; $Z_{dC} = 50 + j2,1 \Omega$.

Tính dòng điện i_A , i_B , i_C và dòng điện trong các pha i_1 ; i_2 ; i_3 , công suất toàn mạch.

Bài 4.3. Cho mạch điện 3 pha có nguồn đối xứng như hình 4.3.



Hình 4.3

Biết : $u_{CA} = \sqrt{2} 220 \sin \omega t \text{ V}$; $R_A = R_C = 5 \Omega$; $R_B = 7 \Omega$

$L_A = \frac{3}{314} \text{ H}$; $L_B = \frac{5}{314} \text{ H}$; $C_C = C_A = \frac{3}{157} \text{ F}$; $f = 50 \text{ Hz}$

Tính i_A , i_B , i_C , và công suất toàn mạch trong các trường hợp sau:

a) Khi $R_N = 2 \Omega$; $L_N = 134 \text{ H}$

b) Khi $L_N = R_N = 0$.

Bài 4.4. Cho mạch 3 pha có nguồn đối xứng như hình vẽ sau :

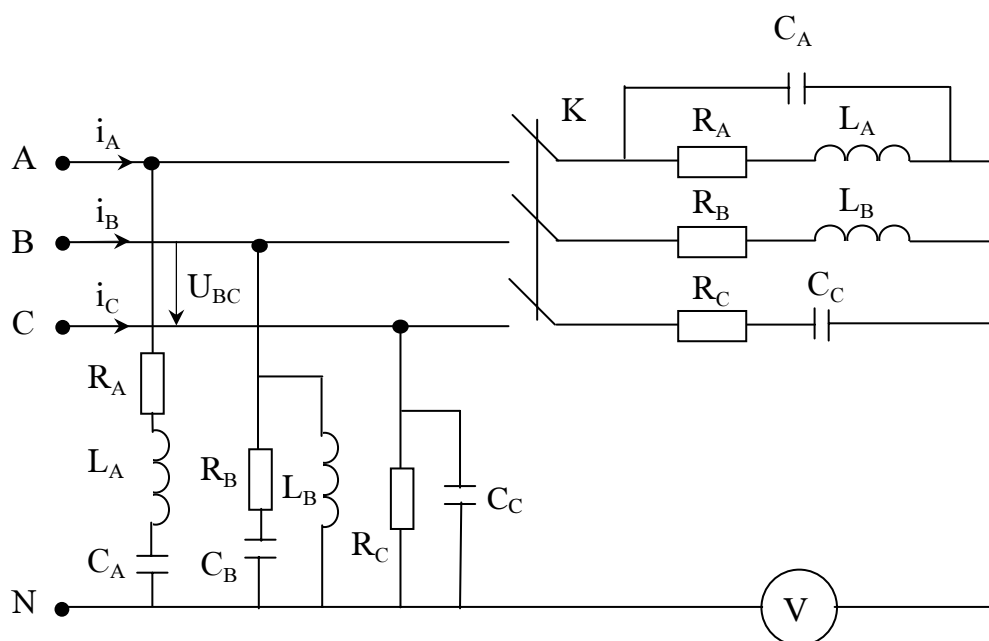
Biết $u_{BC} = 380\sqrt{2} \sin \omega t$ V; $R_{A1} = R_{A2} = 3\Omega$, $R_{B1} = R_{C1} = 2\Omega$; $R_{B2} = 1\Omega$,

$$R_{C2} = 5\Omega \quad , \quad L_{A1} = L_{B2} = \frac{1}{314} \text{ H} \quad L_{A2} = \frac{1}{314} \text{ H}, \quad L_{B1} = 2L_{B2},$$

$$C_{A1} = C_{C2} = \frac{1}{314} \text{ F}; \quad C_{B1} = C_{C1} = \frac{3}{157} \text{ F}, \quad C_{A2} = \frac{1}{157} \text{ F}, \quad f = 50 \text{ HZ}$$

Tính dòng điện i_A, i_B, i_C và số chỉ Vôn kế và công suất toàn mạch khi :

1. K mở.
2. K đóng.



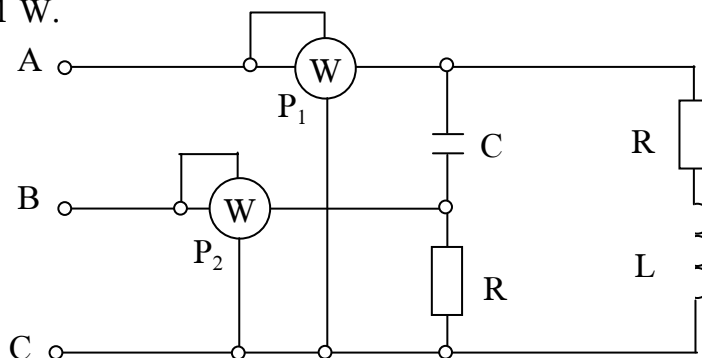
Hình 4.4

Bài 4.5. Cho mạch ba pha đối không như hình 4.5, xứng có nguồn đối xứng $u_{CA} = 173 \sin(314t + 150^\circ)$ V, tải $Z_{BC} = 50 \Omega$; $Z_{CA} = 20 + j20\Omega$ và $Z_{AB} = -j40 \Omega$.

Xác định số chỉ của wat mét, từ đó tính công suất tiêu thụ của tải,

Đáp số : $P_1 = 50.15 \text{ W}$; $P_2 = 623.88 \text{ W}$;

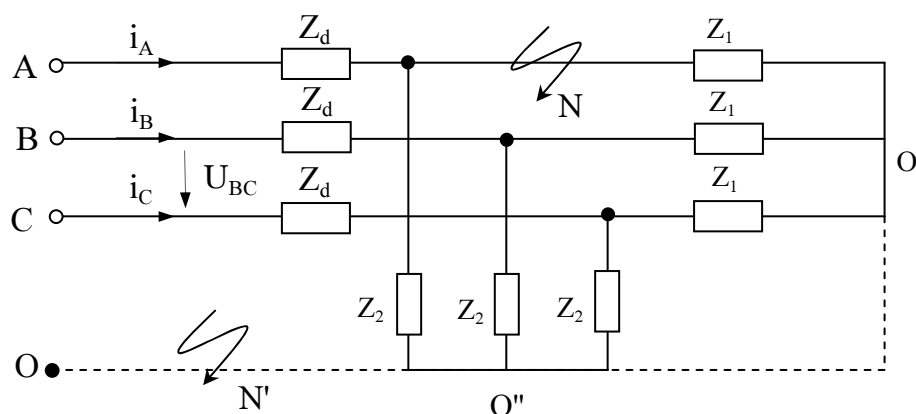
$$P = P_1 + P_2 = 675.1 \text{ W}.$$



Hình 4.5

Bài 4.6. Cho nguồn ba pha đối xứng có $U_{BC} = 380V$. Tổng trở đường dây $Z_d = 3 + j4 \Omega$; tổng trở tải $Z_1 = 6 + j8 \Omega$; $Z_2 = 12 + j15 \Omega$. Xác định dòng điện trong các nhánh với các trường hợp sau :

- a. Khi có dây trung tính. b. Khi đứt dây trung tính. c. Khi sự cố đứt mạch tại N như hình 4.6.



Hình 4.6

Bài 4.7. Mạch ba pha đối xứng tải thuần trở nối Y, điện áp dây của nguồn là $U_d = 220 V$. Bằng phương pháp đồ thị vectơ xác định điện áp trên các pha của tải khi mạch không có dây trung tính trong các trường hợp sau:

1. Đứt dây pha A ?
2. Ngắn mạch pha A ?
3. Đứt pha A và B khi mạch không có dây trung tính ?
4. Đứt pha A và B khi có dây trung tính ?

Đáp số:

1. $U_A = 190,5V$; $U_B = U_C = 110V$
2. $U_A = 0$; $U_B = U_C = 220V$
3. $U_B = U_C = 220V$; $U_C = 0$; 4. $U_A = U_B = U_C = 127V$

Bài số 4.8. Nguồn ba pha đối xứng cung cấp cho tải pha đối xứng nối Y có dây trung tính. Biết lúc đó dòng điện trong các pha của tải $I_A = I_B = I_C = 1A$. Xác định các dòng pha và dòng trung tính khi:

1. Hở mạch pha A
2. Hở mạch pha A và B
3. Hở mạch pha A khi không có dây trung tính
4. Ngắn mạch pha A khi không có dây trung tính

Đáp số:

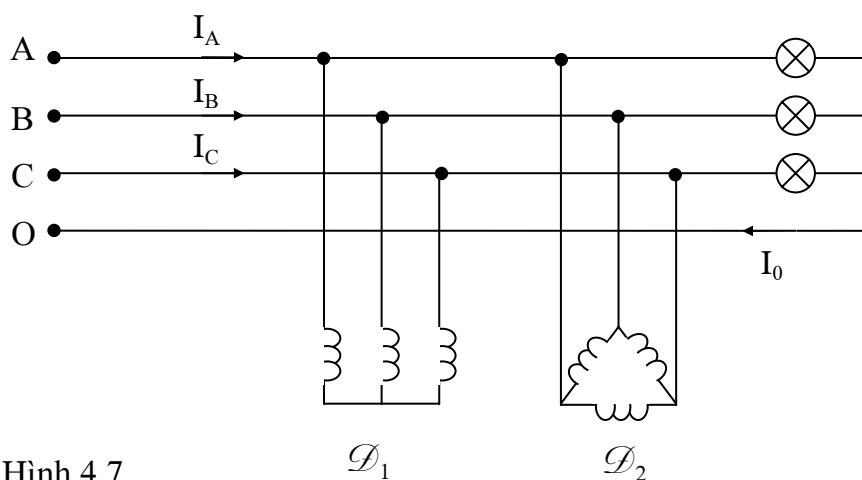
1. $I_A = 0$; $I_B = I_C = I_0 = 1A$; 2. $I_A = I_B = 0$; $I_C = I_0 = 1A$
3. $I_A = 0$; $I_B = I_C = 0,876A$; 4. $I_A = 3A$; $I_B = I_C = 1,73A$

Bài số 4.9. Hai động cơ điện ba pha được cung cấp điện từ nguồn ba pha đối xứng có áp dây $U_d = 220V$. Cuộn dây của động cơ thứ nhất nối Δ có công suất $P_1 = 3,3kW$, $\cos\varphi_1 = 0,86$. Cuộn dây động cơ hai nối Y có công suất $P_2 = 2,15kW$, $\cos\varphi_2 = 0,707$. Xác định dòng điện của lưới điện

Đáp số: $I_C = 17,8A$.

Bài 4.10. Một mạch điện ba pha bốn dây không đối xứng như hình vẽ (hình 2), có điện áp nguồn đối xứng $U_d = 380 V$. Mạch cung cấp điện cho hai động cơ và tải ánh sáng. Động cơ một nối hình sao (Y) có $P_1 = 13kW$; $\eta_1 = 0,87$; $\cos\varphi_1 = 0,87$; hệ số tải $\beta = I/I_{dm} = 0,85$. Động cơ 2 nối hình tam giác có $P_2 = 40kW$; $\eta_2 = 0,89$; $\cos\varphi_2 = 0,87$;

hệ số tải $\beta = I/I_{dm} = 0,95$. Tải ánh sáng $P_A = 4,4kW$; $P_B = 6,6kW$; $P_C = 2,2kW$. Tính dòng điện I_A, I_B, I_C, I_0 ?

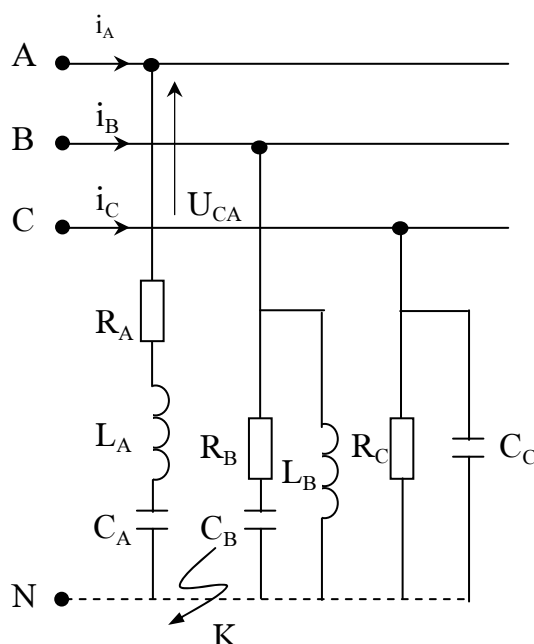


Hình 4.7

Bài 4.11. Cho mạch ba pha đối xứng như hình 4.8 có các thông số sau :

$$R_A = 5 \Omega; x_{LA} = 6 \Omega; x_{CA} = 8 \Omega; R_B = 3 \Omega; x_{CB} = 4 \Omega; x_{LB} = 5 \Omega$$

$$R_C = 4 \Omega; x_{CC} = 6 \Omega; U_{CA} = 380 (V)$$



Hình 4.8

Tính dòng điện I_A ; I_B ; I_C trong các trường hợp sau :

1. Khi dây trung tính có tổng trở $Z_N = 1 + j2 \, \Omega$
2. Khi dây trung tính có tổng trở bằng 0.
3. Khi dây trung tính bị đứt tại K.

Bài 4.12. Một động cơ điện ba pha đối xứng nối tam giác (Δ) tiêu thụ công suất tác dụng từ lưới điện $P_1 = 13,2 \text{ kW}$, được mắc vào nguồn điện ba pha đối xứng, có điện áp pha là $\dot{U}_A = 220 \text{ V}$, $\dot{U}_B = 220e^{-j120^\circ} \text{ V}$, $\dot{U}_C = 220e^{-j240^\circ} \text{ V}$. Cho biết dòng điện dây có trị số hiệu dụng 25 A. Tính và viết biểu thức dòng điện dây i_A , i_B , i_C và dòng điện pha i_{AB} , i_{BC} , i_{CA} để dưới dạng thời gian ?



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Phần II

MÁY ĐIỆN

Chương 5

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

5.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

5.1.1. Định nghĩa

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, về cấu tạo gồm mạch từ (lõi thép) và mạch điện (dây quấn), dùng để biến đổi các dạng năng lượng như cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc ngược lại như điện năng thành cơ năng (động cơ điện), hoặc dùng để biến đổi các thông số điện năng như điện áp, dòng điện, tần số, số pha ...

5.1.2. Phân loại máy điện

Máy điện có nhiều loại và có nhiều cách phân loại khác nhau. Ở đây ta phân loại máy điện dựa vào nguyên lý biến đổi năng lượng như sau :

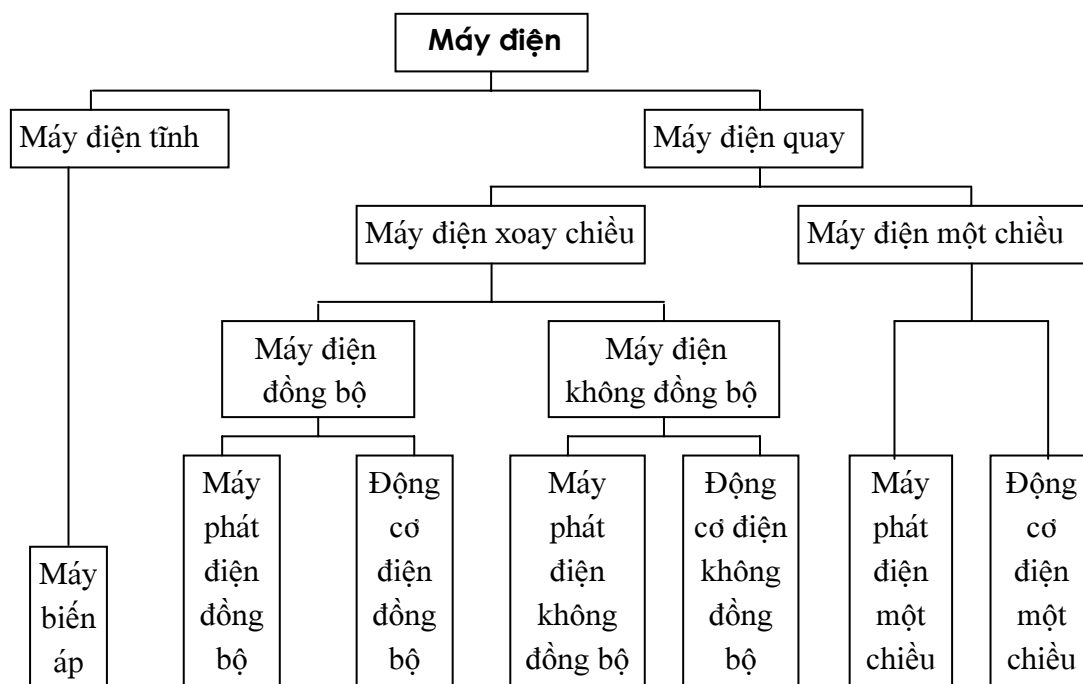
1. Máy điện tĩnh :

Máy điện tĩnh làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, do sự biến đổi từ thông trong các cuộn dây không có sự chuyển động tương đối với nhau. Máy điện tĩnh thường dùng để biến đổi các thông số điện năng như máy biến áp biến điện áp xoay chiều thành điện áp xoay chiều có giá trị khác,..

2. Máy điện quay (hoặc có loại chuyển động thẳng):

Máy điện quay làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ do từ trường và dòng điện trong các cuộn dây gây ra. Loại máy này dùng để biến đổi dạng năng lượng như cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc ngược lại như điện năng thành cơ năng (động cơ điện). Quá trình biến đổi năng lượng này có tính thuận nghịch nghĩa là máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

Sơ đồ phân loại máy điện thường gặp:



5.2. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Trong nghiên cứu máy điện ta thường dùng các định luật sau: định luật cảm ứng điện từ, định luật lực điện từ và định luật mạch từ. Các định luật này đã được trình bày trong giáo trình vật lý, ở đây nêu lại những điểm chính áp dụng cho nghiên cứu máy điện.

5.2.1. Định luật cảm ứng điện từ.

1. Trường hợp từ thông xuyên qua vòng dây biến thiên.

Khi từ thông $\Phi = \Phi(t)$ xuyên qua vòng dây biến thiên trong vòng dây sẽ cảm ứng sức điện động (sđđ) $e(t)$. Sđđ 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 5.1).

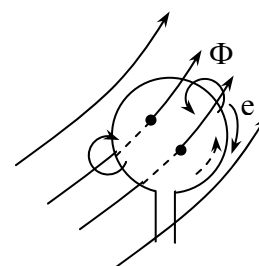
Sđđ cảm ứng trong một vòng dây được tính theo công thức Mắcxoen :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad [\text{V}] \quad (5.1)$$

Nếu cuộn dây có N vòng, sđđ cảm ứng là:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt} \quad (5.2)$$

trong đó, $\Psi = N\Phi$ [Wb] gọi là từ thông móc vòng của cuộn dây



Hình 5.1 Chiều dương sđđ cảm ứng phù hợp với từ thông theo qui tắc vắn nút chai

1. Trường hợp thanh dẫn chuyển động thẳng góc với

Khi thanh dẫn chuyển động thẳng góc với đường sức từ trường (đây là trường hợp thường gặp nhất trong máy điện), trong thanh dẫn cảm ứng sđđ có trị số là:

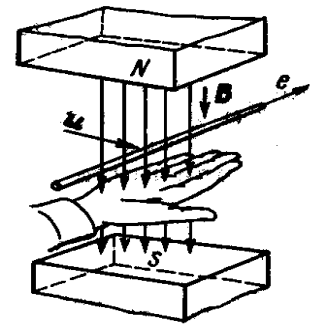
$$e = Blv \quad (5.3)$$

trong đó : B: cường độ từ cảm [T].

l : chiều dài tác dụng của thanh dẫn [m].

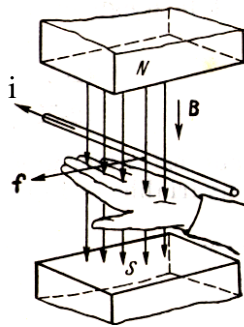
v: tốc độ dài thanh dẫn [m/s]

Còn chiều sđđ cảm ứng xác định theo qui tắc bàn tay phải (hình 5.2).



Hình 5.2 Xác định sđđ cảm ứng theo qui tắc bàn tay phải

5.2.2. Định luật lực điện từ



Hình 5.3 Xác định lực điện từ theo qui tắc bàn tay trái

Khi thanh dẫn mang dòng điện đặt thẳng góc với đường sức từ trường, thanh dẫn sẽ chịu một lực điện từ tác dụng có trị số là:

$$f = Bil \quad (5.4)$$

Trong đó, B : cường độ từ cảm, [T].

i : dòng điện chạy trong thanh dẫn, [A].

l : chiều dài thanh dẫn, [m].

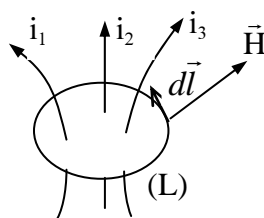
f : lực điện từ đo bằng Niuton, [N]

Chiều của lực điện từ f được xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 5.3).

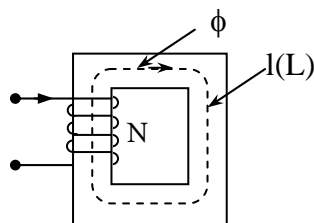
5.2.3. Định luật mạch từ. Tính toán mạch từ

1. Định luật mạch từ:

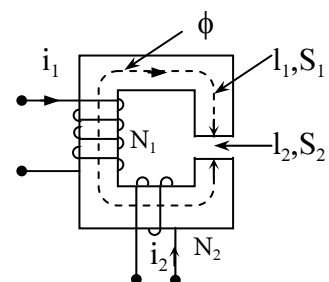
Lõi thép của máy điện là mạch từ. Mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông. Định luật mạch từ là định luật dòng điện toàn phần áp dụng vào mạch từ. Nội dung của định luật dòng điện toàn phần như sau:



Hình 5.4 Minh họa định luật dòng điện toàn phần



Hình 5.5 Mạch từ đồng nhất có một cuộn dây



Hình 5.6 Mạch từ có khe hở không khí và hai cuộn dây

Nếu \vec{H} là vectơ 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 chúng thì:

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \sum i_k$$

Với $d\vec{l}$ là độ dời vi phân trên (L) (hình 5.4). Dấu của i_k xác định theo qui tắc vặn nút chai: Quay cái vặn nút chai theo chiều $d\vec{l}$, 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.

Định luật dòng điện toàn phần áp dụng vào mạch từ đồng nhất có một cuộn dây như hình 5.5, ta có như sau:

$$H.l = N.i = F$$

Với: $H.l = \frac{B}{\mu} l = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S} \Phi = R_\mu \Phi$

Vậy $H.l = R_\mu \Phi = N.i = F$ (5.5)

Trong đó:

$H[\text{At/m}]$: Cường độ từ trường trong mạch từ.

$B = \mu H [\text{T}]$: Từ cảm (mật độ từ thông) trong mạch từ.

$\mu = \mu_r \mu_0 [\text{H/m}]$: Độ từ thẩm tuyệt đối của mạch từ.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [\text{H/m}]$: độ từ thẩm của không khí.

$\mu_r = \mu / \mu_0$: Độ từ thẩm tương đối của mạch từ.

$l[\text{m}]$: Chiều dài trung bình của mạch từ.

N : Số vòng dây của cuộn dây.

$i[\text{A}]$: gọi là dòng điện từ hóa, tạo ra từ thông cho mạch từ.

$F = N.i [\text{A.t}]$: gọi là sức từ động (std)

$H.l$: gọi là từ áp rơi trong mạch từ.

$S[\text{m}^2]$: tiết diện ngang của mạch từ.

$$R_\mu = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S} [\text{At/Wb}] \text{ từ trở của mạch từ.}$$

Cũng áp dụng định luật dòng điện toàn phần vào mạch từ gồm hai đoạn có chiều dài l_1 và l_2 tiết diện S_1 và S_2 , hình 5.6, ta có:

$$H_1.l_1 - H_2.l_2 = N_1.i_1 - N_2.i_2$$

Trong đó:

$H_1, H_2 [\text{At/m}]$: Cường độ từ trường tương ứng trong đoạn mạch từ 1, 2.

$l_1, l_2 [\text{m}]$: Chiều dài trung bình của đoạn mạch từ 1, 2.

$i_1.N_1, i_2.N_2 [\text{At}]$: Std của cuộn dây 1, 2.

Một cách tổng quát, mạch từ gồm m đoạn ghép nối tiếp định luật mạch từ được viết:

$$\sum_{j=1}^m H_j l_j = \sum_{j=1}^m R_j \Phi = \sum_{k=1}^n N_k i_k = \sum_{k=1}^n F_k = F \quad (5.6)$$

trong đó, dòng điện i_k nào có chiều phù hợp với chiều từ thông Φ đã chọn theo qui tắc vặn nút chai sẽ mang dấu dương, còn ngược lại sẽ mang dấu âm; j - chỉ số tên đoạn mạch từ; k - chỉ số tên cuộn dây có dòng điện.

2. Tính toán mạch từ:

Việc tính toán mạch từ thường gặp hai loại bài toán sau :

Bài toán thuận : Cho biết từ thông Φ , tìm std $F = Ni$ để tạo ra từ thông đó.

Cách giải : Tiến hành gồm ba bước sau : (xét mạch từ gồm j đoạn nối tiếp, từ thông Φ bằng nhau ở mọi tiết diện S_j trong các đoạn mạch từ).

Bước 1: Tính từ cảm mỗi đoạn mạch từ : $B_j = \Phi/S_j$; j là chỉ số tên đoạn mạch từ.

Suy ra cường độ từ trường H_j như sau:

Nếu đoạn mạch từ là vật liệu sắt từ, tra đường cong từ hóa $B = f(H)$ để tìm H .

Nếu đoạn mạch từ là khe hở không khí thì $H_0 = B_0/\mu_0$.

Bước 2: Suy ra std tổng để tạo ra từ thông Φ từ công thức (5.6):

$$F = \sum_{j=1}^m H_j l_j \quad (5.7)$$

Bước 3: Tùy theo bài toán mà ta tìm được dòng điện i hoặc số vòng dây W .

Bài toán ngược : Biết std F , tìm từ thông Φ .

Loại bài toán này phức tạp. Do vật liệu từ có độ từ thẩm μ phụ thuộc từ thông Φ nên từ trở R cũng phụ thuộc Φ . Vì chưa biết Φ nên cũng chưa biết R . Phương trình (5.6) trở thành:

$$\sum_{j=1}^m R_j(\Phi) \Phi = F(\Phi) \quad (5.8).$$

Đây là phương trình phi tuyến, thường dùng phương pháp gần đúng để giải.

5.3. CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Vật liệu chế tạo máy điện gồm vật liệu cấu trúc, vật liệu tác dụng và vật liệu cách điện. Vật liệu cấu trúc là vật liệu để chế tạo các chi tiết chịu các tác động cơ học như trục, ổ trục, thân máy, nắp. Vật liệu tác dụng là vật liệu dùng để chế tạo những bộ phận dẫn điện và từ. Còn vật liệu cách điện dùng để cách điện giữa phần dẫn điện với không dẫn điện và giữa các phần dẫn điện với nhau.

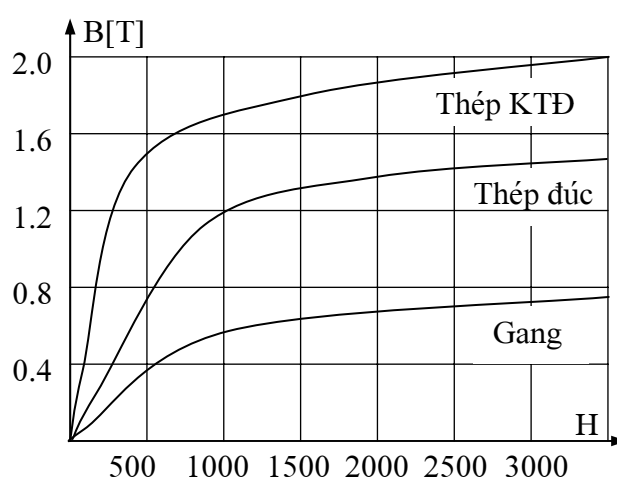
5.3.1. Vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện để chế tạo máy điện tốt nhất là đồng vì chúng không đắt lắm và có điện trở suất nhỏ. Ngoài ra còn dùng nhôm và các hợp kim khác như đồng thau, đồng photpho. 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 1000V thường dùng dây dẫn bọc êmay vì lớp cách điện của nó mỏng và đạt độ bền yêu cầu.

5.3.2. 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 ...

Ở các phần dẫn từ có từ thông biến đổi với tần số 50Hz thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày $0,35 \div 1\text{mm}$, trong thành phần thép có từ 2 ÷ 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. Hiện nay thường dùng thép cán nguội để chế



Hình 5.7 Đường cong từ hóa của một số vật liệu

tạo các máy điện vì thép cán nguội có độ từ thẩm cao hơn và suất tổn hao nhỏ hơn thép cán nóng. Trên hình 5.7 trình bày đường cong từ hóa của một số vật liệu dẫn từ khác nhau. Cùng một dòng điện kích từ, ta thấy thép kỹ thuật điện có từ cảm lớn nhất, sau đó là thép đúc và cuối cùng là gang.

Ở các phần dẫn từ có từ thông không đổi thường dùng thép đúc, thép rèn, hoặc thép lá.

5.3.3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện trong máy điện phải có cường độ cách điện cao, chịu nhiệt tốt, tản 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 càng lớn và dây dẫn chịu được dòng tải lớn.

Chất cách điện của máy điện phần lớn ở thể rắn và gồm có 4 nhóm:

- a) Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, lụa
- b) Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thủy tinh.
- c) Các chất tổng hợp.
- d) 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 tẩm sấy để cách điện tốt hơn.

Căn cứ độ bền nhiệt, vật liệu cách điện được chia ra các cấp như sau:

- Cấp Y : Nhiệt độ cho phép là 90°C , bao gồm bông, giấy, vải, tơ lụa, sợi tổng hợp, không được tẩm sấy bằng sơn cách điện.
- Cấp A : Nhiệt độ cho phép là 105°C , bao gồm vải sợi xenlulô, sợi tự nhiên hoặc nhân tạo được qua tẩm sấy bằng sơn cách điện.
- Cấp E : Nhiệt độ cho phép là 120°C , bao gồm màng vải, sợi tổng hợp gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.
- Cấp B : Nhiệt độ cho phép là 130°C , bao gồm các vật liệu gốc mica, sợi thủy tinh hoặc amiăng được liên kết bằng sơn hoặc nhựa gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.
- Cấp F : Nhiệt độ cho phép là 155°C , giống như loại B nhưng được tẩm sấy và kết dính bằng sơn hoặc nhựa tổng hợp có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.
- Cấp H : Nhiệt độ cho phép là 180°C , giống như cấp B nhưng dùng sơn tẩm sấy hoặc chất kết dính gốc silic hữu cơ hoặc các chất tổng hợp có khả năng chịu được nhiệt độ tương ứng.
- Cấp C : Nhiệt độ cho phép là $>180^{\circ}\text{C}$, bao gồm các vật liệu gốc mica, thủy tinh và các hợp chất của chúng dùng trực tiếp không có chất liên kết. Các chất vô cơ có phụ gia liên kết bằng hữu cơ và các chất tổng hợp có khả năng chịu được nhiệt độ tương ứng.

Ngoài ra còn có chất cách điện ở thể khí (không khí) và thể lỏng (dầu biến áp).

Khi máy điện làm việc, do tác động của nhiệt độ, chấn động và các tác động lý hóa khác cách điện sẽ bị lão hóa nghĩa là mất dần các tính bền về điện và cơ. Thực nghiệm cho biết, khi nhiệt độ tăng quá nhiệt độ làm việc cho phép $8-10^{\circ}\text{C}$ thì tuổi thọ của vật liệu cách điện giảm đi một nửa.

5.4. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

Trong quá trình biến đổi năng lượng luôn có sự tổn hao. Tổn hao trong máy điện gồm tổn hao sắt từ (do hiện tượng từ trễ và dòng xoáy) trong thép, tổn hao đồng trong dây quấn và tổn hao do ma sát (ở máy điện quay). Tất cả các tổn hao năng lượng đều biến thành nhiệt làm cho máy điện nóng lên.

Để làm mát máy điện, phải có biện pháp tản nhiệt ra môi trường xung quanh. Sự tản nhiệt không những phụ thuộc vào bề mặt làm mát của máy mà còn phụ thuộc vào sự đối lưu không khí xung quanh hoặc của môi trường làm mát khác như dầu máy biến áp... Thường vỏ máy điện được chế tạo có các cánh tản nhiệt và máy điện có hệ thống quạt gió để làm mát.

Kích thước của máy, phương pháp làm mát phải được tính toán và lựa chọn để cho độ tăng nhiệt của vật liệu cách điện trong máy không vượt quá độ tăng nhiệt cho phép, đảm bảo cho vật liệu cách điện làm việc lâu dài, tuổi thọ của máy khoảng 20 năm.

Khi máy điện làm việc ở chế độ định mức, độ tăng nhiệt của các phần tử không vượt quá độ tăng nhiệt cho phép. Khi máy quá tải độ tăng nhiệt của máy sẽ vượt quá nhiệt độ cho phép, vì thế không cho phép máy làm việc quá tải lâu dài.

5.5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Việc nghiên cứu máy điện gồm các bước sau:

1. Mô tả các hiện tượng vật lý xảy ra trong máy điện.
2. Dựa vào các định luật vật lý, viết phương trình toán học mô tả sự làm việc của máy điện. Đó là mô hình toán của máy điện.
3. Từ mô hình toán thiết lập mô hình mạch, đó là mạch điện thay thế của máy điện.
4. Từ mô hình toán và mô hình mạch, tính toán các đặc tính và nghiên cứu máy điện, khai thác sử dụng theo các yêu cầu cụ thể.



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện

Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

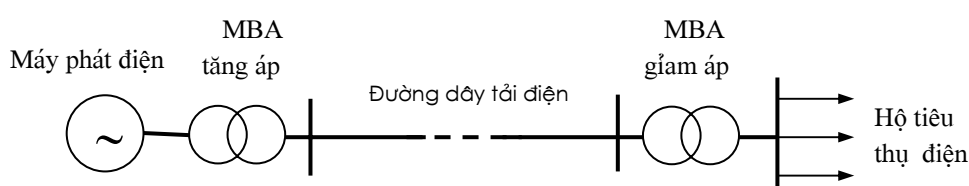
Chương 6

MÁY BIẾN ÁP

6.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

6.1.1. Vai trò và công dụng MBA

Để dẫn điện từ nhà máy phát điện đến hộ tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 6.1). Thông thường khoảng cách từ nơi sản xuất điện đến hộ tiêu thụ lớn, một vấn đề đặt ra là việc truyền tải điện năng đi xa làm sao cho đảm bảo chất lượng điện áp và kinh tế nhất.



Hình 6.1 Sơ đồ cung cấp điện đơn giản

Giả sử hộ tiêu thụ có công suất P , hệ số công suất $\cos\varphi$, điện áp của đường dây truyền tải là U , thì dòng điện truyền tải trên đường dây là :

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi}$$

Và tổn hao công suất trên đường dây:

$$\Delta P = R_d I^2 = R_d \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi}$$

Trong đó: R_d là điện trở đường dây tải điện và $\cos\varphi$ là hệ số công suất của lưới điện, còn φ là góc lệch pha giữa dòng điện I và điện áp U .

Từ các công thức trên cho ta thấy, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp truyền tải càng cao thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ càng bé, do đó trọng lượng và chi phí dây dẫn sẽ giảm xuống, tiết kiệm được kim loại màu, đồng thời tổn hao năng lượng trên đường dây sẽ giảm xuống. Mặt khác để đảm bảo chất

lượng điện năng trong hệ thống điện, với đường dây dài không thể truyền dẫn ở điện áp thấp. Vì thế, muốn truyền tải công suất lớn đi xa người ta phải dùng điện áp cao, thường là 35, 110, 220, 500kV... . Trên thực tế, các máy phát điện chỉ phát ra điện áp từ 3 ÷ 21kV, do đó phải có thiết bị tăng điện áp ở đầu đường dây. Mặt khác các hộ tiêu thụ thường yêu cầu điện áp thấp, từ 0.4 ÷ 6kV, vì vậy cuối đường dây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu đường dây và giảm điện áp cuối đường dây gọi là máy biến áp (MBA). Như vậy MBA dùng để truyền tải và phân phối điện năng.

6.1.2. Định nghĩa MBA

Máy biến áp là thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp khác, với tần số không thay đổi.

6.1.3. Các đại lượng định mức MBA

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.

1. Dung lượng (công suất định mức) S_{dm} [VA hay kVA] là công suất toàn phần hay biểu kiến đưa ra ở dây quấn thứ cấp của mba.

2. Điện áp sơ cấp định mức U_{1dm} [V hay kV] là điện áp của dây quấn sơ cấp.

3. Điện áp thứ cấp định mức U_{2dm} [V hay kV] là điện áp của dây quấn thứ cấp khi m.b.a không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức.

4. Dòng điện sơ cấp định mức I_{1dm} [A hay kA] và thứ cấp định mức I_{2dm} là những dòng điện của dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với công suất và điện áp định mức.

Đối với mba ba pha điện áp và dòng điện ghi trên nhãn MBA là điện áp và dòng điện dây.

Đối với mba một pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} \quad (6.1)$$

Đối với mba ba pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}} \quad (6.2)$$

5. Tần số định mức f_{dm} [Hz]. Các mba điện lực có tần số công nghiệp 50Hz.

Ngoài ra trên nhãn mba còn ghi các số liệu khác như : số pha m, sơ đồ và tổ nối dây...

6.1.4. Các loại máy biến áp chính

1. MBA lực dùng để truyền tải và phân phối công suất trong hệ thống điện lực.

2. MBA chuyên dùng cho các lò luyện kim, cho các thiết bị chỉnh lưu, mba hàn ..

3. MBA tự ngẫu dùng để liên lạc trong hệ thống điện, mở máy động cơ không đồng bộ công suất lớn.

4. MBA đo lường dùng để giảm điện áp và dòng điện lớn đưa vào các dụng cụ đo tiêu chuẩn hoặc để điều khiển.

5. MBA thí nghiệm dùng để thí nghiệm điện áp cao.

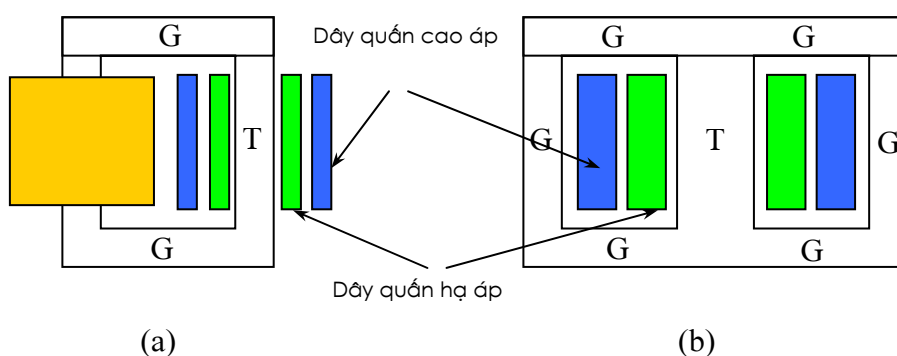
MBA có rất nhiều loại song thực chất hiện tượng xảy ra trong chúng đều giống nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, sau đây ta xét mba điện lực một pha hai dây quấn.

6.2. CẤU TẠO MÁY BIẾN ÁP

Cấu tạo mba gồm ba bộ phận : lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

6.2.1. Lõi thép mba.

Lõi thép (hình 6.2) mba dùng để dẫn từ thông, được chế tạo bằng các vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kỹ thuật điện có bề dày từ $0,35 \div 1$ mm, mặt ngoài các lá thép có sơn cách điện rồi ghép lại với nhau thành lõi thép. Lõi thép gồm hai phần: **Trụ và Gông**. Trụ T là phần để đặt dây quấn còn gông G là phần nối liền giữa các trụ để tạo thành mạch từ kín.



Hình 6.2 Mạch từ mba một pha. a) kiểu trụ. b) kiểu bọc

6.2.2. Dây quấn MBA

Dây quấn MBA (hình 6.2) thường làm bằng dây dẫn đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hay chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện. Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn và giữa dây quấn với lõi thép đều có cách điện. Máy biến áp thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi các dây quấn đặt trên cùng một trụ thì dây quấn điện áp thấp đặt sát trụ thép còn dây quấn điện áp cao đặt bên ngoài. Làm như vậy sẽ giảm được vật liệu cách điện.

6.2.3. Vỏ mba.

Vỏ mba làm bằng thép gồm hai bộ phận : thùng và nắp thùng.

1. **Thùng mba** : 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. Lúc mba làm việc, một phần năng lượng tiêu hao thoát ra dưới dạng nhiệt làm dây quấn, lõi thép và các bộ phận khác nóng lên. Nhờ sự đối lưu trong dầu và truyền nhiệt từ các bộ phận bên trong mba sang dầu và từ dầu qua vách thùng ra môi trường xung quanh (hình 6.3).



Hình 6.3 MBA dầu ba pha, hai dây quấn, 250kVA

2. **Nắp thùng** : Dùng để đặt trên thùng và có các bộ phận quan trọng như :

- Sứ ra của dây quấn cao áp và dây quấn hạ áp.
- Bình dẫn dầu (bình dầu phụ)
- Ống bảo hiểm

6.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP LÝ TƯỞNG

Máy biến áp lý tưởng có các tính chất như sau :

1. Cuộn dây không có điện trở.
2. Từ thông chạy trong lõi thép móc vòng với hai dây quấn, không có từ thông tản và không có tổn hao trong lõi thép.
3. Độ từ thẩm của thép rất lớn ($\mu = \infty$), như vậy dòng từ hoá cần phải có để sinh ra từ thông trong lõi thép là rất nhỏ không đáng kể, nghĩa là std cần để sinh ra từ thông trong lõi thép bằng không.

Hình 6.4 vẽ sơ đồ nguyên lý của mba một pha gồm lõi thép và hai dây quấn. Dây quấn sơ cấp có số vòng dây N_1 được nối với nguồn điện áp xoay chiều và các đại lượng phía dây quấn sơ cấp thường ký hiệu có chỉ số **1** kèm theo như $u_1, i_1, e_1, ..$ Dây quấn thứ cấp có N_2 vòng dây, cung cấp điện cho phụ tải Z_t và các đại lượng phía dây quấn thứ cấp có chỉ số **2** kèm theo như $u_2, i_2, e_2, ..$

Khi đặt điện áp u_1 lên dây quấn sơ cấp, trong dây quấn sơ cấp sẽ có dòng điện i_1 chảy qua, trong lõi thép sẽ sinh ra từ thông Φ móc vòng với cả hai dây quấn. Từ thông này cảm ứng trong dây quấn sơ và thứ cấp các sđđ e_1 và e_2 . Dây quấn thứ cấp có tải sẽ sinh ra dòng điện i_2 đưa ra tải với điện áp u_2 . Như vậy năng lượng của dòng điện xoay chiều đã được truyền từ dây quấn sơ cấp sang dây quấn thứ cấp.

Giả thử điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là hình sin và từ thông Φ do nó sinh ra cũng là hàm số hình sin và có dạng :

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (6.3)$$

Theo định luật cảm ứng điện từ, các sđđ cảm ứng e_1, e_2 sinh ra trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp mba là:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (6.4)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = \omega N_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (6.5)$$

trong đó, E_1, E_2 là trị số hiệu dụng của sđđ sơ cấp và thứ cấp, cho bởi:

$$E_1 = \frac{\omega N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_1 \Phi_m = 4,44 f N_1 \Phi_m \quad (6.6)$$

$$E_2 = \frac{\omega N_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_2 \Phi_m = 4,44 f N_2 \Phi_m \quad (6.7)$$

Tỉ số biến áp của mba:

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (6.8)$$

Nếu bỏ qua sụt áp gây ra do điện trở và từ thông tản của dây quấn (MBA lý tưởng) thì $E_1 \approx U_1$ và $E_2 \approx U_2$:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (6.9)$$

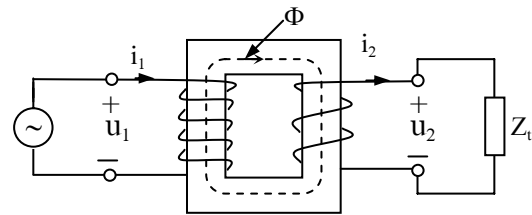
Nếu bỏ qua tổn hao trong mba thì:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\text{Như vậy, ta có:} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = a \quad (6.10)$$

Nếu $N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$ và $I_2 < I_1$: mba tăng áp.

Nếu $N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$ và $I_2 > I_1$: mba giảm áp.



Hình 6.4 Sơ đồ nguyên lý của mba một pha hai dây quấn

6.4. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

6.4.1. Phương trình cân bằng điện áp

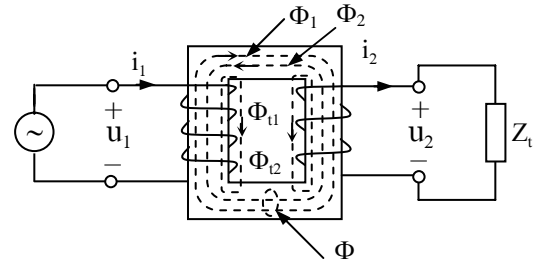
Trên hình 6.5 trình bày mba một pha hai dây quấn, trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn, có số vòng N_1 , dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở Z_t , có số vòng N_2 . Khi nối điện áp u_1 vào dây quấn sơ cấp, trong dây quấn sơ cấp có dòng điện i_1 chạy qua, chiều dòng điện i_1 được chọn tùy ý, còn chiều từ thông Φ_1 do i_1 gây ra phải chọn phù hợp với i_1 theo qui tắc vắn nút chai. Chiều sđđ e_1 và e_2 phù hợp với chiều Φ_1 cũng theo qui tắc vắn nút chai. Theo định luật Lenz, dòng điện i_2 (dòng cảm ứng) phải có chiều sao cho từ thông Φ_2 do nó sinh ra ngược chiều Φ_1 . Do vậy chiều i_2 phù hợp với Φ_2 (ngược chiều Φ_1). Tổng đại số từ thông chạy trong lõi thép $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ được gọi là từ thông chính.

Ngoài từ thông chính Φ chạy trong lõi thép, trong mba còn có từ thông tản Φ_{t1} và Φ_{t2} . Từ thông tản không chạy trong lõi thép mà móc vòng với không gian không phải vật liệu sắt từ như dầu biến áp, 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. Từ thông tản Φ_{t1} do dòng điện sơ cấp i_1 gây ra và từ thông tản Φ_{t2} do dòng điện thứ cấp i_2 gây ra. Tương ứng với các từ thông tản Φ_{t1} và Φ_{t2} , ta có điện cảm tản L_{t1} và L_{t2} của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.:

$$L_{t1} = \frac{N_1 \Phi_{t1}}{i_1} = \frac{\Psi_{t1}}{i_1}$$

$$L_{t2} = \frac{N_2 \Phi_{t2}}{i_2} = \frac{\Psi_{t2}}{i_2}$$

Trong đó: $\Psi_{t1} = N_1 \Phi_{t1}$ là từ thông tản móc vòng với dây quấn sơ cấp;
 $\Psi_{t2} = N_2 \Phi_{t2}$ là từ thông tản móc vòng với dây quấn thứ cấp.



Hình 6.5 Từ thông mba một pha hai dây quấn

1. Phương trình cân bằng điện áp dây quấn sơ cấp :

Xét mạch điện sơ cấp gồm nguồn điện áp u_1 , sức điện động e_1 , điện trở dây quấn sơ cấp R_1 , điện cảm tản của dây quấn sơ cấp L_{t1} . Áp dụng định luật Kirchhoff 2, ta có phương trình điện áp sơ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_1 = e_1 + L_{t1} \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1$$

Biểu diễn dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + j\omega L_{t1} \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1 \quad (6.11)$$

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + jX_1 \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1$$

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + (R_1 + jX_1) \dot{I}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (6.12)$$

trong đó: $Z_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở phức của dây quấn sơ cấp.

R_1 : là điện trở của dây quấn sơ cấp,

$X_1 = \omega L_{11}$ là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp,

Còn $Z_1 \dot{I}_1$ là điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp.

2. Phương trình cân bằng điện áp dây quấn thứ:

Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động e_2 , điện trở dây quấn thứ cấp R_2 , điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_{t2} , điện áp ở hai đầu của dây quấn thứ cấp là u_2 . Áp dụng định luật Kirchhoff 2, ta có phương trình điện áp thứ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_2 = e_2 - L_{t2} \frac{di_2}{dt} - R_2 i_2$$

Biểu diễn dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\omega L_{t2} \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 \quad (6.13)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - jX_2 \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 \quad (6.14)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - (R_2 + jX_2) \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (6.15)$$

trong đó: $Z_2 = R_2 + jX_2$ là tổng trở phức của dây quấn thứ cấp.

R_2 : là điện trở của dây quấn thứ cấp,

$X_2 = \omega L_{t2}$ là điện kháng tản của dây quấn thứ cấp,

Còn $Z_2 \dot{I}_2$ là điện áp rơi trên dây quấn thứ cấp.

$$\text{Mặt khác ta có: } \dot{U}_2 = Z_t \dot{I}_2 \quad (6.16)$$

6.4.2. Phương trình cân bằng dòng điện

Định luật Ohm từ (5.6), áp dụng vào mạch từ (hình 6.5) cho ta:

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = R_\mu \Phi \quad (6.17)$$

Trong biểu thức (6.12), thường $Z_1 \dot{I}_1 \ll \dot{E}_1$ nên $E_1 \approx U_1$. Vậy theo (6.6) từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44fN_1} \quad (6.18)$$

Ở đây $U_1 = U_{1dm}$, tức là U_1 không đổi, theo (6.18) từ thông Φ_m cũng không đổi. Do đó vế phải của (6.17) không phụ thuộc dòng i_1 và i_2 , nghĩa là không phụ thuộc chế độ làm việc của mba. Đặc biệt trong chế độ không tải dòng $i_2 = 0$ và $i_1 = i_0$ là dòng điện không tải sơ cấp. Ta suy ra:

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = N_1 i_0 \quad (6.19)$$

$$\text{Hay: } N_1 \dot{I}_1 - N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0 \quad (6.20)$$

Chia hai vế cho N_1 và chuyển vế, ta có:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1} = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (6.21)$$

trong đó: $\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{a}$ là dòng điện thứ cấp qui đổi về phía sơ cấp, còn $a = \frac{N_1}{N_2}$.

Từ (6.21) ta thấy rằng: dòng điện sơ cấp \dot{I}_1 gồm hai thành phần, thành phần dòng điện không đổi \dot{I}_0 dùng để tạo ra từ thông chính Φ trong lõi thép mba, thành phần dòng điện \dot{I}'_2 dùng để bù lại dòng điện thứ cấp \dot{I}_2 , tức là cung cấp cho tải. Khi tải tăng thì dòng điện \dot{I}_2 tăng, nên \dot{I}'_2 tăng và dòng điện \dot{I}_1 cũng tăng lên.

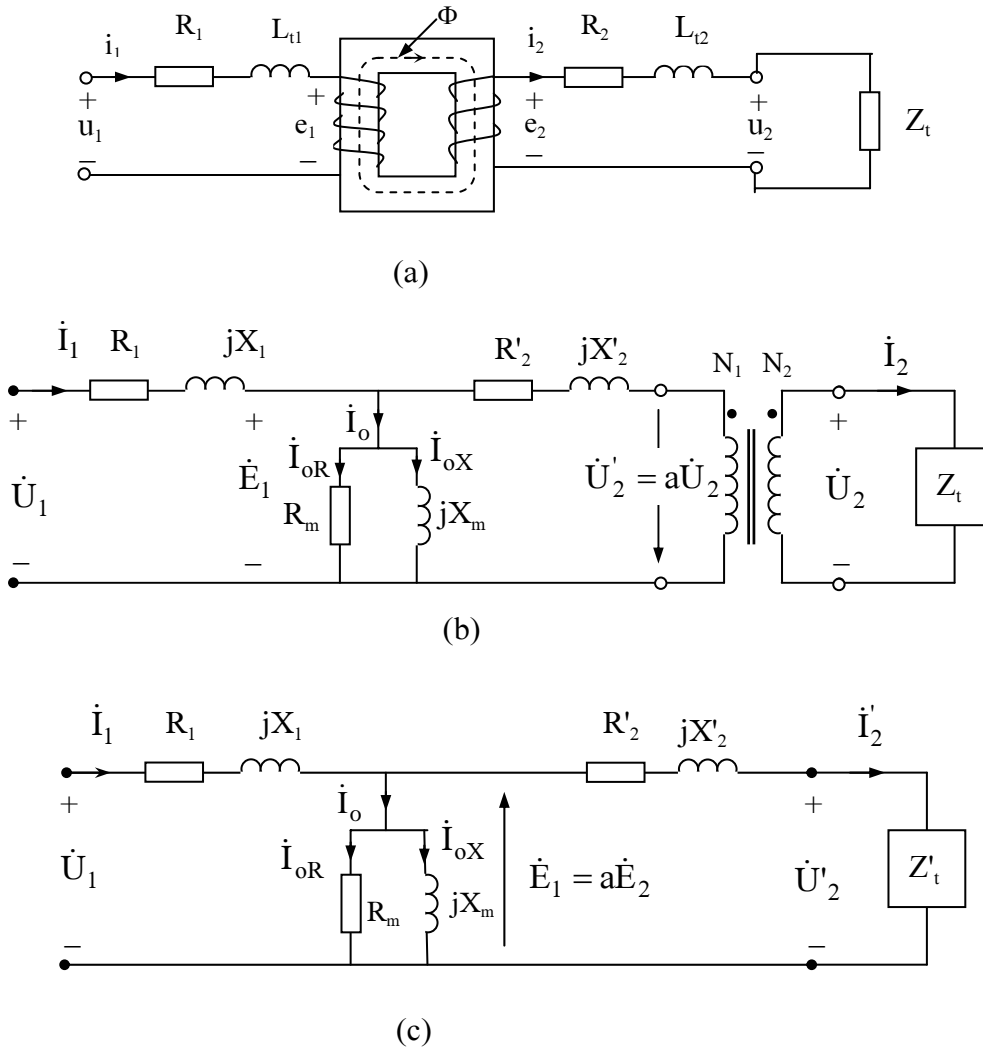
Tóm lại mô hình toán của mba như sau:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (6.22a)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (6.22b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6.22c)$$

6.5. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA MÁY BIẾN ÁP



Hình 6-6. Mạch điện tương đương của mba một pha hai dây quấn

Để đặc trưng và tính toán các quá trình năng lượng xảy ra trong mba, người ta thay mạch điện và mạch từ của mba bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho mba gọi là mạch điện thay thế mba.

Trên hình 6.6a trình bày MBA mà tổn hao trong dây quấn và từ thông tản được đặc trưng bằng điện trở R và điện cảm L mắc nối tiếp với dây quấn sơ và thứ cấp. Như vậy để có thể nối trực tiếp mạch sơ cấp và thứ cấp với nhau thành một mạch điện, các dây quấn sơ cấp và thứ cấp phải có cùng một cấp điện áp. Trên thực tế, điện áp của các dây quấn đó lại khác nhau (hình 6.6a, $E_1 \neq E_2$). Vì vậy phải qui đổi một trong hai dây quấn về dây quấn kia để cho chúng có cùng một cấp điện áp. Muốn vậy hai dây quấn phải có số vòng dây như nhau. Thường người ta qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp, nghĩa là coi dây quấn thứ cấp có số vòng dây bằng số vòng dây của dây quấn sơ cấp. Việc qui đổi chỉ để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán mba, vì vậy yêu cầu của việc qui đổi là quá trình vật lý và năng lượng xảy ra trong máy biến áp trước và sau khi qui đổi là không đổi.

6.5.1. Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.

Nhân phương trình (6.22b) với a , ta có:

$$a\dot{U}_2 = a\dot{E}_2 - (a^2 Z_2) \frac{\dot{I}_2}{a} = (a^2 Z_t) \frac{\dot{I}_2}{a} \quad (6.23)$$

$$\text{Đặt : } \dot{E}'_2 = a\dot{E}_2 = \dot{E}_1 \quad (6.24)$$

$$\dot{U}'_2 = a\dot{U}_2 \quad (6.25)$$

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / a \quad (6.26)$$

$$Z'_2 = a^2 Z_2 ; R'_2 = a^2 R_2 ; X'_2 = a^2 X_2 \quad (6.27)$$

$$Z'_t = a^2 Z_t ; R'_t = a^2 R_t ; X'_t = a^2 X_t \quad (6.28)$$

Phương trình (6.23) viết lại thành:

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2 \quad (6.29)$$

Trong đó: \dot{E}'_2 , \dot{U}'_2 , \dot{I}'_2 , Z'_2 , Z'_t tương ứng là sđđ, điện áp, dòng điện, tổng trở dây quấn và tổng trở tải thứ cấp qui đổi về sơ cấp.

Tóm lại mô hình toán mba sau khi qui đổi là :

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (6.30a)$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2 \quad (6.30b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6.30c)$$

6.5.2. Mạch điện thay thế chính xác của MBA

Dựa vào hệ phương trình qui đổi (6.30a,b,c) ta suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của MBA (hình 6.6b,c).

Xét phương trình (6.30a), vế phải phương trình có $Z_1 \dot{I}_1$ là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn sơ cấp Z_1 và \dot{E}_1 là điện áp trên tổng dẫn Y_m , đặc trưng cho từ thông chính và tổn hao sắt từ. Từ thông chính và tổn hao sắt từ do dòng điện không tải sinh ra, do đó ta có thể viết :

$$\dot{I}_o = \dot{I}_{oR} + \dot{I}_{oX} \quad (6.31a)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\dot{E}_1}{R_m} + \frac{\dot{E}_1}{jX_m} \\ &= \dot{E}_1 G_m - jB_m \dot{E}_1 \\ &= \dot{E}_1 Y_m \end{aligned} \quad (6.31b)$$

trong đó: $Y_m = G_m - jB_m$ là tổng dẫn từ hóa.

- $G_m = \frac{1}{R_m}$ là điện dẫn từ hóa, còn R_m điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn

hao sắt từ trong lõi thép. Nếu gọi p_{Fe} là công suất tổn hao sắt, như vậy :

$$p_{Fe} = I_{oR}^2 / G_m = R_m I_{oR}^2 \quad (6.32)$$

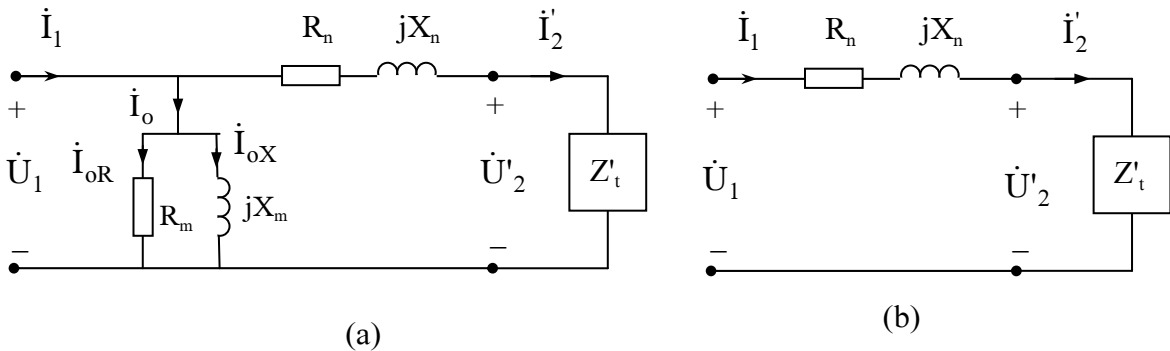
- X_m là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính Φ .

$$-jB_m = \frac{1}{jX_m} \quad (6.33)$$

với B_m là điện kháng dẫn.

6.5.3. Mạch điện thay thế gần đúng của mba

Để tiện việc tính toán, ta chuyển nhánh từ hóa Y_m về trước tổng trở Z_1 , như vậy ta có sơ đồ thay thế gần đúng hình 6.7a. Thông thường tổng dẫn nhánh từ hóa rất nhỏ ($Y_m \ll Z_1$ và Z'_2), do đó có thể bỏ qua nhánh từ hóa ($Y_m = 0$) và thành lập lại sơ đồ thay thế gần đúng (Hình 6.7b). Nếu bỏ qua cả tổn hao đồng trong hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp mba thì ta thành lập được sơ đồ thay thế như hình 6.7b với $R_n = 0$.



Hình 6-7. Mạch điện tương đương gần đúng của mba một pha hai dây quấn

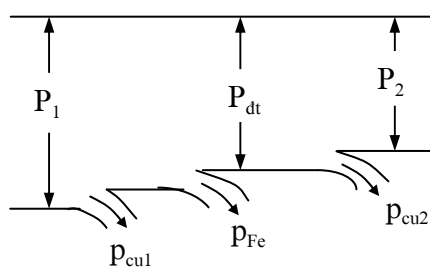
Khi bỏ qua nhánh từ hóa, ta có:

$$Z_n = Z_1 + Z'_2 = R_n + jX_n \quad (6.34)$$

Trong đó: $Z_n = R_n + jX_n$ là tổng trở ngắn mạch của mba; $R_n = R_1 + R'_2$ là điện trở ngắn mạch của mba; $X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch của mba.

6.6. GIẢI ĐỒ NĂNG LƯỢNG MBA

Xét mba làm việc ở tải đối xứng, sự cân bằng năng lượng dựa trên sơ đồ thay thế.



Hình 6.8 Giải đồ năng lượng của mba

Công suất tác dụng đưa vào dây quấn sơ cấp mba:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

Công suất này bù vào :

- Tổn hao đồng trên điện trở của dây quấn sơ cấp: $p_{cu1} = R_1 I_1^2$
- Tổn hao sắt trong lõi thép MBA : $p_{Fe} = R_m I_o R^2$

Công suất còn lại gọi là công suất điện từ chuyển sang dây quấn thứ cấp:

$$P_{dt} = P_1 - (p_{cu1} + p_{Fe}) = E_2 I_2 \cos \Psi_2 \quad (6.35)$$

Công suất này bù vào :

- Tổn hao đồng trên điện trở của dây quấn thứ cấp: $p_{cu2} = R_2 I_2^2 = R'_2 I_2^2$

Còn lại là công suất ở đầu ra MBA :

$$P_2 = P_{dt} - p_{cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (6.36)$$

Hiệu suất MBA là tỉ số của công suất ra với công suất vào :

$$\eta = \frac{CS \text{ ra}}{CS \text{ vào}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p} \quad (6.37)$$

trong đó: $\sum p = p_{cu1} + p_{cu2} + p_{Fe}$: tổng các tổn hao trong MBA.

6.7. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA 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 .

6.7.1. Mạch điện thay thế và phương trình cân bằng

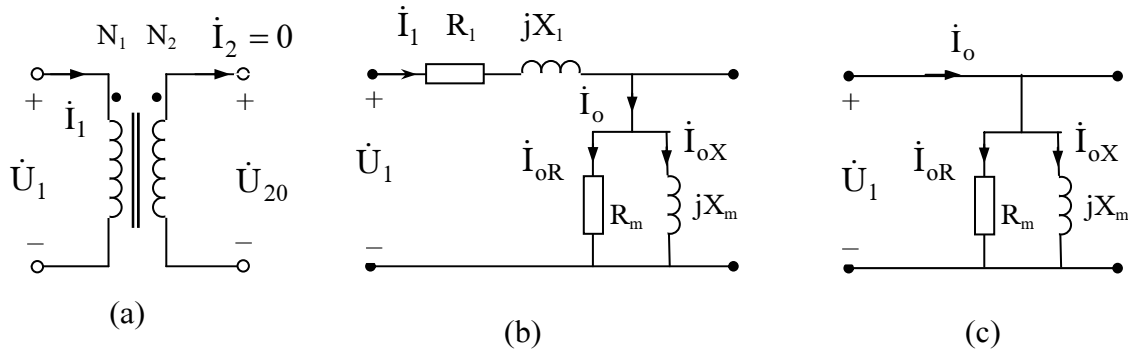
Hình 6-9a là mạch điện thực, hình 6-9b là mạch điện tương đương chính xác, còn hình 6-20c là mạch điện tương đương gần đúng. Khi không tải (hình 6-9b) dòng điện thứ cấp $I_2 = 0$, nên dòng điện $I_1 = I_0$ và ta có phương trình là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0(R_1 + jX_1) + \dot{I}_0(R_m // jX_m) \quad (6.38a)$$

hoặc
$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0(Z_1 + Z_m) = \dot{I}_0 Z_0 \quad (6.38b)$$

trong đó: $Z_m = R_m // jX_m$ là tổng trở nhánh từ hóa mba.

trong đó: $Z_0 = R_1 + jX_1 + (R_m // jX_m) = R_0 + jX_0$ là tổng trở không của tải mba, còn R_0 là điện trở không tải và X_0 là điện kháng không tải.



Hình 6-9. Chế độ không tải của mba. a. Mạch điện thực tế.;
b. Mạch điện tương đương chính xác; c. Mạch điện tương đương gần đúng

6.7.2. Đặc điểm của chế độ không tải

1. Dòng điện không tải

Từ (6.38) ta tính được dòng điện không tải như sau:

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_1}{Z_0} = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + jX_1 + (R_m // jX_m)} \quad (6.39)$$

Tổng trở Z_0 thường rất lớn vì thế dòng điện không tải nhỏ $I_0 = (1\% \div 10\%)I_{dm}$.

2. Tổn hao không tải

Công suất do máy tiêu thụ lúc không tải P_0 gồm công suất tổn hao trong lõi thép p_{Fe} và tổn hao đồng trên điện trở dây quấn sơ cấp p_{Cu1} . Vì dòng điện không tải nhỏ cho nên có thể bỏ qua công suất tổn hao trên điện trở dây quấn sơ.

Theo mạch điện hình 6.9b, ta có tổn hao không tải :

$$P_0 = R_1 I_0^2 + R_m I_{oR}^2 \approx R_m I_{oR}^2 = p_{Fe} \quad (6.40)$$

Như vậy có thể nói tổn hao không tải là tổn hao sắt trong lõi thép MBA.

3. Hệ số công suất không tải

Công suất phản kháng không tải Q_0 rất lớn so với công suất tác dụng không tải P_0 . Hệ số công suất không tải rất thấp :

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = \frac{I_0 R}{I_0} = 0,1 \div 0,3 \quad (6.41)$$

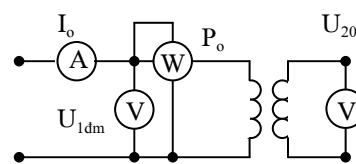
hoặc tính theo P_0 , U_1 và I_0 hoặc công suất toàn phần không tải $S_0 = U_1 I_0$:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0} = \frac{P_0}{S_0} \quad (6.42)$$

6.7.3. Thí nghiệm không tải mba

Để xác định hệ số biến áp a , tổn hao sắt từ trong lõi thép p_{Fe} , và các thông số của mba ở chế độ không tải, ta thí nghiệm không tải.

Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải (hình 6.10). 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 : Watt kế chỉ P_0 là công suất không tải; Ampe kế chỉ I_0 là dòng điện không tải; còn Vôn kế chỉ U_{1dm} và U_{20} là điện áp sơ cấp và thứ cấp. Từ đó ta tính được:



Hình 6.10 Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải máy biến áp

1. Hệ số biến áp a :

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}} \quad (6.43)$$

2. Dòng điện không tải phần trăm

$$i_0 \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100 = 1\% \div 10\% \quad (6.44)$$

3. Tổn hao trong lõi thép

$$P_{Fe} = P_0 - R_1 I_0^2 \approx P_0 \quad (6.45)$$

4. Tổng dẫn nhánh từ hoá

$$+ \text{Điện trở không tải : } R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \quad (6.46)$$

$$+ \text{Tổng trở không tải : } Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0} \quad (6.47)$$

+ Điện kháng không tải. Do $R_m \gg X_m$ nên xem $R_m = \infty$, vậy :

$$X_0 = X_1 + X_m = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \quad (6.48)$$

Điện kháng từ hóa $X_m \gg X_1$ nên lấy gần đúng bằng:

$$X_m = X_0 \quad \text{hay} \quad B_m = \frac{1}{X_m} \quad (6.49)$$

Thông dòng điện $I_{oR} \ll I_{oX}$, nên $X_m \approx \frac{U_{1dm}}{I_o}$

+ Điện trở đặc trưng tổn hao thép : bỏ qua tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp khi không tải ($R_1 = 0$, hình 6.9c), ta có điện trở đặc trưng tổn hao thép là :

$$R_m = \frac{U_{1dm}^2}{P_o} \quad \text{hay} \quad G_m = \frac{P_o}{U_{1dm}^2} \quad (6.50)$$

$$Y_m = \frac{I_o}{U_{1dm}} = \sqrt{G_m^2 + B_m^2} \quad (6.51)$$

5. Hệ số công suất không tải.

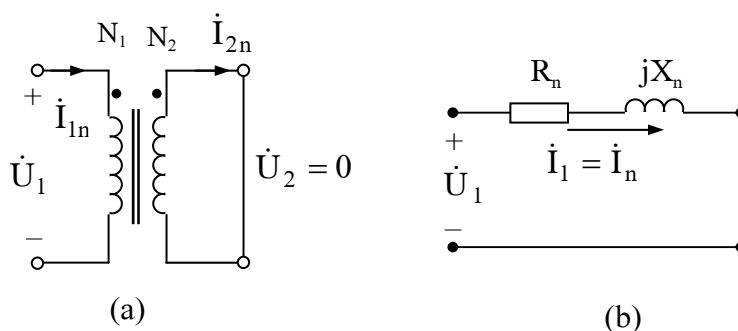
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_o}{U_{1dm} I_o} \quad (6.52)$$

6.8. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

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 máy biến áp bị ngắn mạch như hai dây dẫn phía thứ cấp chập vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng tổng trở rất nhỏ. Đây là tình trạng sự cố.

6.8.1. Phương trình và mạch điện thay thế mba khi ngắn mạch

Khi MBA ngắn mạch $U_2 = 0$, mạch điện thay thế MBA vẽ trên hình 6.11. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch I_n .



Hình 6-11 Chế độ ngắn mạch m.b.a
a. Mạch điện thực; b. Mạch điện thay thế

Phương trình điện áp của MBA ngắn mạch:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n (R_n + jX_n) = \dot{I}_n Z_n \quad (6.53)$$

6.8.2. Đặc điểm của chế độ ngắn mạch

1. Dòng điện ngắn mạch :

Từ phương trình (6.53), ta có dòng điện ngắn mạch khi điện áp định mức:

$$I_n = \frac{U_{1dm}}{Z_n} \quad (6.54)$$

Do tổng trở ngắn mạch rất nhỏ nên dòng điện ngắn mạch rất lớn khoảng bằng $(10 \div 25)I_{dm}$. Đây là trường hợp sự cố, rất nguy hiểm cho máy biến áp. Khi sử dụng mba cần tránh tình trạng ngắn mạch này.

2. Tổn hao ngắn mạch

Công suất ngắn mạch P_n do máy tiêu thụ lúc ngắn là tổn hao đồng trong hai dây quấn :

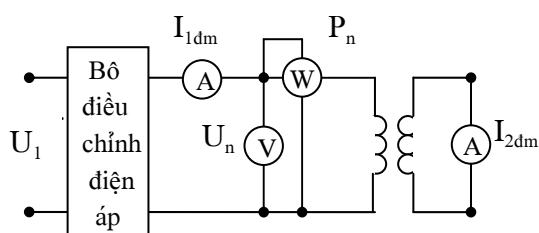
$$P_n = P_{Cu1} + P_{Cu2} = R_1 I_{1n}^2 + R_2 I_{2n}^2 = R_n I_n^2 \quad (6.55)$$

3. Hệ số công suất ngắn mạch

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_1 I_n} = \frac{R_n}{Z_n} \quad (6.56)$$

6.8.3. Thí nghiệm ngắn mạch

Thí nghiệm ngắn mạch là để xác định điện áp ngắn mạch phần trăm $u_n\%$, tổn hao đồng định mức $P_{Cu\ dm}$, hệ số công suất $\cos \varphi_n$, điện trở ngắn mạch R_n và điện kháng ngắn mạch X_n của mạch điện thay thế mba. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch vẽ trên hình 6.12.



Hình 6-12 Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch

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 $U_1 = U_n$ 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; P_n là tổn hao ngắn mạch; I_{1dm} và I_{2dm} là dòng điện sơ cấp và thứ cấp định mức.

1. Tổn hao ngắn mạch

Lúc 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 trên điện trở hai dây quấn khi mba làm việc ở chế độ định mức. Ta có:

$$P_n = R_1 I_{1dm}^2 + R_2 I_{2dm}^2 = R_n I_n^2 \quad (6.57)$$

2. Tổng trở, điện trở và điện kháng ngắn mạch.

+ Tổng trở ngắn mạch:

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{ldm}} \quad (6.58)$$

+ Điện trở ngắn mạch:

$$R_n = \frac{P_n}{I_{ldm}^2} \quad (6.59)$$

+ Điện kháng ngắn mạch:

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \quad (6.60)$$

Trong m.b.a thường $R_1 = R'_2$ và $X_1 = X'_2$. Vậy điện trở và điện kháng tản của dây quấn sơ cấp:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R'_2 = \frac{R_n}{2} \\ X_1 &= X'_2 = \frac{X_n}{2} \end{aligned} \right\} \quad (6.61)$$

và điện trở và điện kháng tản của dây quấn thứ cấp:

$$R_2 = \frac{R'_2}{a^2}; \quad X_2 = \frac{X'_2}{a^2} \quad (6.62)$$

3. Hệ số công suất ngắn mạch

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_n I_{ldm}} \quad (6.63)$$

4. Điện áp ngắn mạch

Điện áp ngắn mạch $U_n = Z_n I_{ldm}$ gồm hai thành phần: Thành phần trên điện trở R_n , gọi là điện áp ngắn mạch tác dụng U_{nR} , Thành phần trên điện kháng X_n , gọi là điện áp ngắn mạch phản kháng U_{nX} .

Điện áp ngắn mạch phần trăm:

$$u_n \% = \frac{Z_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = \frac{U_n}{U_{ldm}} 100\% \quad (6.64)$$

+ Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm:

$$u_{nR} \% = \frac{R_n I_{ldm}}{U_{ldm}} \times 100\% \quad (6.65)$$

+ Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm:

$$u_{nX} \% = \frac{X_n I_{ldm}}{U_{ldm}} \times 100\% \quad (6.66)$$

6.9. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải mba là chế độ mà dây quấn sơ nối với nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải. Để đánh giá mức độ tải của máy, ta so sánh nó với tải định mức và định nghĩa hệ số tải k_t :

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{1dm}} \approx \frac{P_2}{P_{2dm}} \approx \frac{S_2}{S_{2dm}} \quad (6.67)$$

Khi $k_t = 1$: máy có tải định mức; $k_t < 1$: máy non tải; $k_t > 1$: máy quá tải.

Chế độ có tải, phương trình cân bằng điện áp và dòng điện xét ở mục 6.4, còn mạch điện thay thế xét ở mục 6.5.

6.9.1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp mba và đặc tính ngoài.

1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp

Khi máy biến áp mang tải, theo (6.15) sự thay tải dẫn đến điện áp thứ cấp U_2 thay đổi. Độ biến thiên điện áp thứ cấp mba ΔU_2 là hiệu số số học giữa trị số điện áp thứ cấp lúc không tải U_{2dm} (điều kiện $U_1 = U_{1dm}$) và lúc có tải U_2 .

$$\Delta U = U_{2dm} - U_2 \quad (6.68)$$

Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm tính như sau:

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} \times 100\%$$

Nhân tử và mẫu với hệ số biến áp a , ta có:

$$\Delta U_2 \% = \frac{aU_{2dm} - aU_2}{aU_{2dm}} \times 100\%$$

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U_{1dm}} \times 100\% \quad (6.69)$$

Xác định $\Delta U_2\%$ bằng phương pháp giải tích.

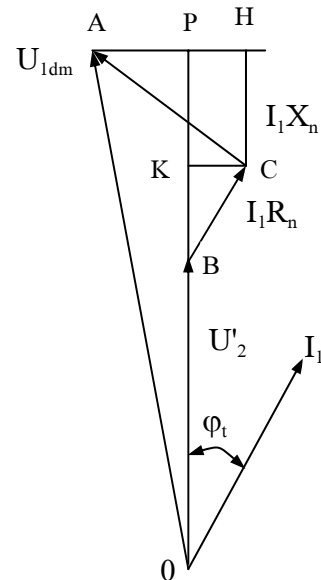
Gọi: $k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{I'_2}{I'_{2dm}}$: hệ số tải của mba.

$\cos\varphi_t$ hay $\cos\varphi_2$ hệ số công suất của phụ tải.

Đồ thị vectơ của mba ứng với mạch điện thay thế gần đơn giản vẽ trên hình 6.13. Trên thực tế góc lệch pha giữa \vec{U}_{1dm} và \vec{U}'_2 rất nhỏ, để tính ΔU_2 từ A và C hạ đường thẳng vuông góc xuống 0B, cắt 0B kéo dài tại P và K, có thể coi gần đúng:

$$U_{1dm} = OA \approx OP$$

$$U_{1dm} - U'_2 \approx BP = BK + KP$$



Hình 6.13 Xác định ΔU của mba

Tính: $BK = I_1 R_n \cos \varphi_t = I_{1dm} R_n \left(\frac{I_1}{I_{1dm}} \right) \cos \varphi_t = k_t U_{nr} \cos \varphi_t$ (6.70a)

$KP = I_1 X_n \sin \varphi_t = I_{1dm} X_n \left(\frac{I_1}{I_{1dm}} \right) \sin \varphi_t = k_t U_{nx} \sin \varphi_t$ (6.70b)

Lấy (6.70a) và (6.70b) thay vào (6.69), ta có:

$$\Delta U_2 \% = \frac{k_t (U_{nr} \cos \varphi_t + U_{nx} \sin \varphi_t)}{U_{1dm}} \times 100\%$$

$$\Delta U_2 \% = k_t \left(\frac{U_{nr} \cos \varphi_t}{U_{1dm}} \times 100\% + \frac{U_{nx} \sin \varphi_t}{U_{1dm}} 100\% \right)$$

$$\Delta U_2 \% = k_t (u_{nr} \% \cos \varphi_t + u_{nx} \% \sin \varphi_t) \quad (6.71)$$

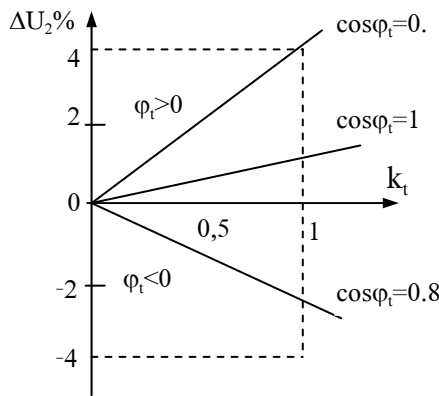
trong đó: $u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{1dm}} 100\% = u_n \% \cos \varphi_n$; (6.72a)

$$u_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{1dm}} 100\% = u_n \% \sin \varphi_n \quad (6.73b)$$

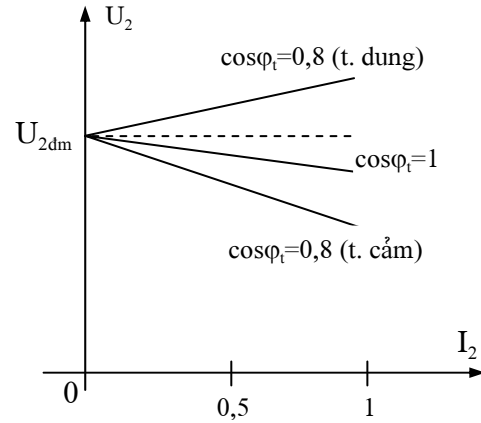
Từ công thức (6.71) cho thấy độ biến thiên điện áp thứ cấp ΔU_2 phụ thuộc vào hệ số tải k_t và hệ số công suất $\cos \varphi_t$. Giả thiết hệ số công suất $\cos \varphi_t$ không đổi thì $\Delta U_2 \% = f(k_t)$. Trên hình (6.14) vẽ quan hệ $\Delta U_2 \% = f(k_t)$ với các $\cos \varphi_t$ khác nhau.

2. Đặc tính ngoài của mba

Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn quan hệ $U_2 = f(I_2)$, khi $U_1 = U_{1dm}$ và $\cos \varphi_t = \text{const}$ (hình 6.15).



Hình 6.14 Quan hệ $\Delta U_2 = f(k_t) \big|_{\cos \varphi_t = \text{const}}$



Hình 6.15 Đặc tính ngoài $U_2 = f(I_2)$

Điện áp thứ cấp U_2 là:

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100} \right) \quad (6.74)$$

Dựa vào công thức (6.74) ta vẽ đường đặc tính ngoài với các tính chất tải khác nhau. Từ đồ thị ta thấy, khi tải dung I_2 tăng thì U_2 tăng còn khi tải cảm hoặc trở I_2 tăng thì U_2 giảm. Tải cảm U_2 giảm nhiều hơn.

Khi cung cấp điện cần phải đảm bảo chất lượng điện áp, do đó cần phải điều chỉnh điện áp thứ cấp U_2 . Để điều chỉnh U_2 ta thay đổi số vòng dây trong cuộn dây khoảng $\pm 2 \times 2,5\%$. Thường thay đổi số vòng dây của cuộn dây cao áp vì ở đó dòng điện nhỏ nên việc thay đổi số vòng dây được dễ dàng hơn. Những mba có công suất nhỏ, việc thay đổi số vòng dây bằng tay thì phải cắt mba ra khỏi lưới điện, còn những mba có công suất lớn, thường việc thay đổi số vòng dây tự động không cắt mba ra khỏi lưới điện (dùng bộ điều áp dưới tải)

6.9.2. Hiệu suất máy biến áp

Hiệu suất η của mba :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p} \quad (6.75)$$

với $\sum p = p_{cu1} + p_{cu2} + p_{Fe}$

Ta đã có phân trước: $p_{Fe} = P_0$

$$p_{Cu1} + p_{Cu2} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = R_n I_2^2 = R_n I_{2dm}^2 \left(\frac{I_2}{I_{2dm}} \right)^2 = P_n k_t^2 \quad (6.76)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_t \approx U_{2dm} I_{2dm} \frac{I_2}{I_{2dm}} \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t \quad (6.77)$$

Thế (6.76) và (6.77) vào (6.75), ta có:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + k_t^2 P_n}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} \quad (6.78a)$$

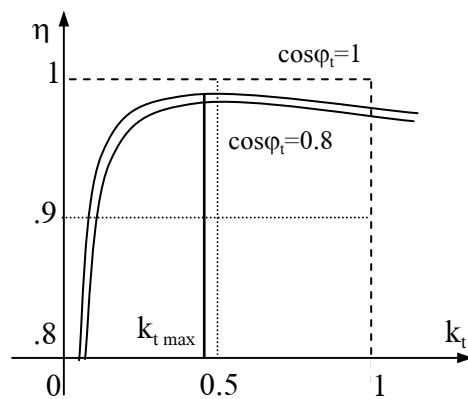
$$\text{hay} \quad \eta = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_t}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} \quad (6.78b)$$

Ta thấy hiệu suất mba là một hàm của hệ số tải và hệ số công suất $\eta = f(k_t, \cos \varphi_t)$. Khi $\cos \varphi_t = \text{const}$, hiệu suất của mba đạt cực đại η_{\max} bằng cách đạo hàm 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:

$$k_t^2 P_n = P_0$$



Hình 6.16 Quan hệ $\eta = f(k_t) \mid \cos \varphi_t = \text{const}$

Như vậy hiệu suất m.b.a cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ.

$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \quad (6.79)$$

Đối với m.b.a có công suất trung bình và lớn, thường được thiết kế chế tạo đạt hiệu suất cực đại khi:

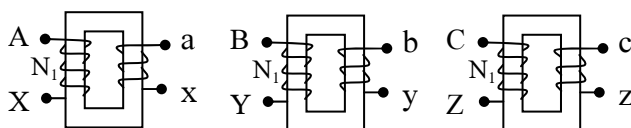
$$\frac{P_0}{P_n} = 0.2 \div 0.25$$

Vậy $k_t = 0.45 \div 0.5$ và đặc tính hiệu suất trình bày trên hình 6.16.

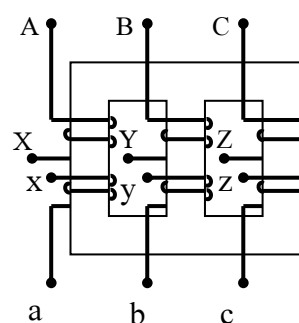
6.10. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

6.10.1. Mạch từ mba ba pha

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng ba mba một pha gọi là tổ mba ba pha (hình 6.17), hoặc dùng một mba ba pha ba trụ (hình 6.18). Dây quấn sơ cấp của mba ba pha kí hiệu bằng các chữ in hoa: Pha A kí hiệu là AX, pha B là BY, pha C là CZ. Dây quấn thứ cấp kí hiệu bằng các chữ thường: Pha a kí hiệu là ax, pha b là by, pha c là cz.

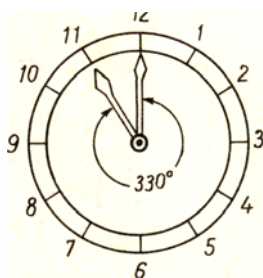


Hình 6.17 Tổ mba ba pha



Hình 6.18 Mba ba pha ba trụ

6.10.2. Các cách đấu dây mba ba pha.

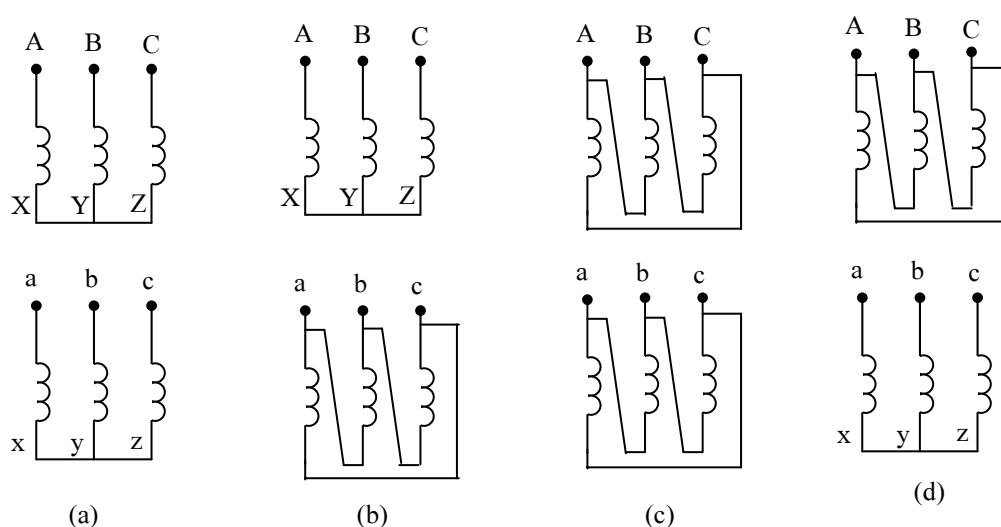


Hình 6.19 Biểu thị góc lệch pha

Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác. Nếu sơ cấp đấu hình sao và thứ cấp cũng đấu hình sao, ta kí hiệu Y/Y. Tương tự ta có 4 cách đấu cơ bản: Y/Y, Y/Δ, Δ/Δ, Δ/Y (hình 6.20a,b,c,d). Nếu phía đấu hình sao có dây trung tính ta kí hiệu Y_0 .

Với các cách kí hiệu đầu dây và đấu dây khác nhau, thì điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp MBA ba pha lệch nhau một góc bằng bội số của 30°

và trên thực tế người ta không dùng độ để biểu thị góc lệch pha mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị góc lệch pha (hình 6.19). Kim dài cố định ở con số 12, chỉ sdd dây sơ cấp, còn kim ngắn chỉ các con số 1, 2, 3, ..., 12 tương ứng 30° , 60° , 90° , ..., 120° . Vì thế khi kí hiệu tổ đấu dây mba, ngoài kí hiệu cách đấu các dây quấn (hình sao hoặc hình tam giác), còn ghi thêm chữ số chỉ góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ mba có tổ đấu dây Y/Y-12 (hình 6.20a), nghĩa là dây quấn sơ cấp đấu Y, dây quấn thứ cấp đấu Y và góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là $12 \times 30^\circ = 360^\circ$; còn tổ đấu dây Y/ Δ -11 (hình 6.20b) góc lệch pha giữa hai điện áp dây là $11 \times 30^\circ = 330^\circ$. Tổ đấu dây rất quan trọng khi mba làm việc chung trong hệ thống điện.



Hình 6.20 Các cách đấu dây mba ba pha

6.10.1. Tỷ số biến áp

Gọi W_1 và W_2 lần lượt là số vòng dây một pha của dây quấn sơ và dây quấn thứ cấp. Tỷ số biến áp pha giữa dây quấn sơ cấp và thứ cấp là:

$$a_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6.80)$$

Tỷ số biến áp dây của mba ba pha được định nghĩa là:

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} \quad (6.81)$$

Tỷ số biến áp dây a_d không chỉ phụ thuộc vào tỷ số vòng dây của hai cuộn dây mà còn phụ thuộc vào cách đấu dây của mba. Thật vậy:

+ Khi mba nối Y/Y (hình 6.20a):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6.82)$$

+ Khi mba nối Y/ Δ (hình 6.20b):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}.U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{W_1}{W_2} \quad (6.83)$$

+ Khi mba nối Δ/Δ (hình 6.20c):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6.84)$$

+ Khi mba nối Δ/Y (hình 6.20d):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3}.U_{p2}} = \frac{W_1}{\sqrt{3}.W_2} \quad (6.85)$$

6.10.2. Máy biến áp làm việc song song

Trong hệ thống điện, trong các lưới điện có các trạm biến áp. Những trạm này thường có các mba làm việc song song với nhau. Các mba làm việc song song là các mba có các cuộn dây sơ cấp lấy điện từ nguồn điện chung và các cuộn dây thứ cấp cung cấp điện cho một phụ tải chung. Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn rất nhiều so với công suất mba, cho phép nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống điện và cung cấp điện an toàn, khi một mba hỏng hóc hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho mba làm việc song song là : điện áp sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau, phải có cùng tổ nối dây và điện áp ngắn mạch phải bằng nhau.

1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp tương ứng của các MBA phải bằng nhau

$$U_{I1} = U_{I2} ; U_{21} = U_{22}$$

Nghĩa là tỉ số biến áp của các mba phải bằng nhau :

$$a_1 = a_2.$$

Trong thực tế cho phép hệ số biến áp của các mba khác nhau không quá 0,5%.

2. Các máy biến áp phải có cùng tổ nối dây

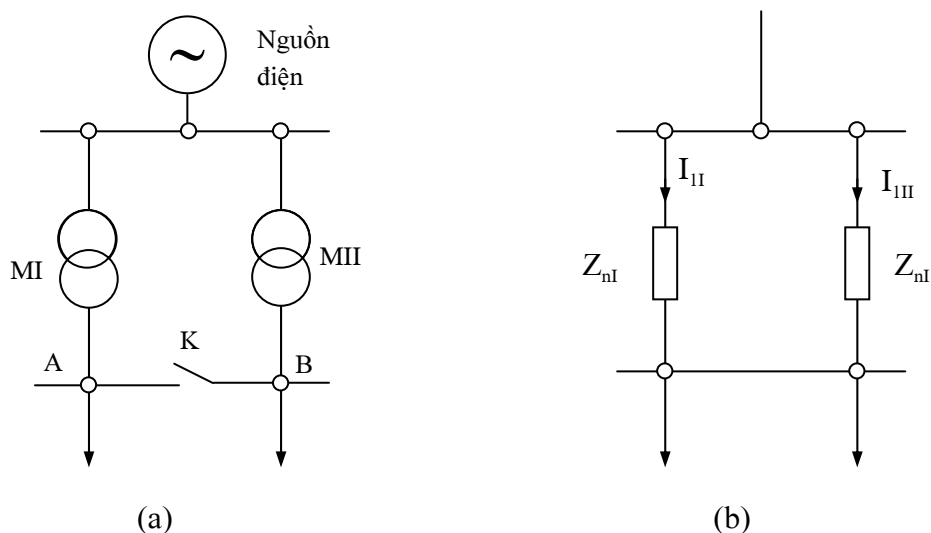
Trên hình 6.21a là sơ đồ nối hai mba làm việc song song. Nếu hai máy I có tổ nối dây Y/ Δ -11 thì máy II cũng có tổ nối dây Y/ Δ -11. Điều kiện này đảm bảo cho điện áp dây thứ cấp của hai mba trùng pha nhau.

Ta có thể giải thích sự cần thiết của điều kiện một và hai sơ đồ hình 6.21. Trên sơ đồ này khi chưa đóng cầu dao K, tại điểm A có điện áp dây thứ cấp U_{d2I} của máy một, còn tại điểm B có điện áp dây thứ cấp U_{d2II} của máy hai.

Do đó điện áp giữa hai đầu AB là :

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = \dot{U}_{d2I} - \dot{U}_{d2II}$$

Khi điều kiện một và hai thỏa mãn, ta có $U_{d2I} = U_{d2II}$ và chúng trùng pha nhau nên $U_{AB} = 0$. Trong trường hợp này khi đóng cầu dao K để cho hai mba làm việc song song đảm bảo không có dòng điện cân bằng chạy trong hai máy. Nhưng nếu một trong hai điều kiện không thỏa mãn tức là $U_{d2I} \neq U_{d2II}$ hoặc chúng không trùng pha thì khi đóng cầu dao K, điện áp U_{AB} sẽ tạo ra dòng điện cân bằng rất lớn chạy qua trong hai máy, có khả năng làm cháy các máy biến áp.



Hình 6.21 Máy biến áp làm việc song song

3. Điện áp ngắn mạch của các máy biến áp phải bằng nhau

Gọi $u_{nI} \%$ là điện áp ngắn mạch phần trăm của máy I; $u_{nII} \%$ là điện áp ngắn mạch phần trăm của máy II. Hai mba có điện áp ngắn mạch bằng nhau, nghĩa là :

$$u_{nI} \% = u_{nII} \%$$

Điều kiện này đảm bảo cho hệ số tải của các mba bằng nhau, nghĩa là phụ tải sẽ phân bố tỉ lệ với công suất của máy. Thật vậy, từ sơ đồ tương đương hình 6.21b, với z_{nI} và z_{nII} là tổng trở ngắn mạch của máy một và hai. Vì hai máy làm việc song song nên điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau $I_I Z_{nI} = I_{II} Z_{nII}$, Từ đó ta rút ra :

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{Z_{nII}}{Z_{nI}} \quad (6.86)$$

Nhân hai vế của (6.86) với $\frac{I_{II dm}}{I_{Idm}}$, ta có :

$$\frac{I_I}{I_{II}} \times \frac{I_{II dm}}{I_{Idm}} = \frac{Z_{nII} \cdot I_{II dm}}{Z_{nI} \cdot I_{Idm}}$$

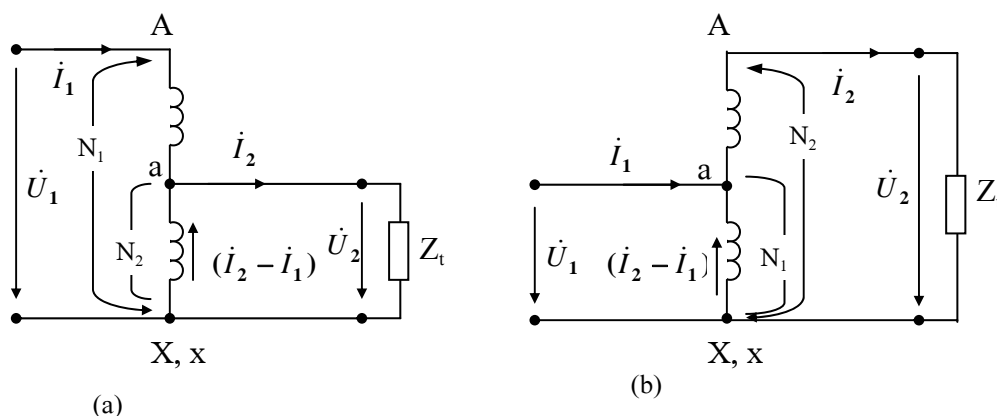
vậy
$$\frac{k_{\text{II}}}{k_{\text{III}}} = \frac{u_{\text{nII}} \%}{u_{\text{nI}} \%} \quad (6.87)$$

Như vậy, từ 6.87 ta có : khi $u_{\text{nI}} \% = u_{\text{nII}} \%$ thì hệ số tải của hai máy bằng nhau $k_{\text{II}} = k_{\text{III}}$; còn điều kiện ba không thỏa mãn, ví dụ $u_{\text{nI}} \% < u_{\text{nII}} \%$ thì $k_{\text{II}} > k_{\text{III}}$, nếu có quá tải thì máy một quá tải trước và ngược lại. Trong thực tế người ta cho phép điện áp ngắn mạch của các máy biến áp làm việc song song sai khác nhau 10%.

6.11 MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

6.11.1. Máy tự biến áp

Máy tự biến áp hay còn được gọi là mba tự ngẫu. Máy tự biến áp là mba có dây quấn điện áp thấp là một bộ phận của dây quấn điện áp cao.



Hình 6.22 Máy tự biến áp: a) giảm áp; b) tăng áp

Máy tự biến áp một pha công suất nhỏ được dùng trong các phòng thí nghiệm và trong các thiết bị điện có yêu cầu điều chỉnh điện áp ra liên tục. Máy tự biến áp ba pha thường dùng để điều chỉnh điện áp khi mở máy các động cơ điện không đồng bộ ba pha công suất lớn để giảm dòng điện mở máy và dùng để liên lạc trong hệ thống điện có các cấp điện áp gần nhau.

Về cấu tạo và nguyên lý làm việc máy tự biến áp tương tự mba thông thường, chỉ khác cách đấu dây giữa hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp. Trong máy tự biến áp giảm áp (hình 6.22a) dây quấn thứ cấp là một phần của dây quấn sơ cấp. Trong máy tăng áp (hình 6.22b) dây quấn sơ cấp là một phần của dây quấn thứ cấp.

Tỉ số biến áp là:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

hay là
$$U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1}$$

Ta thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a , sẽ thay đổi được số vòng dây N_2 và do đó thay đổi được điện áp U_2 . Vì thế máy tự biến áp dùng để điều chỉnh điện áp liên tục.

Từ sơ đồ cho thấy, sự truyền tải năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp trong máy tự biến áp bằng hai con đường: **điện và điện từ**. Còn ở các máy biến áp thông thường có dây quấn sơ cấp và thứ cấp riêng biệt, năng lượng từ sơ cấp truyền qua thứ cấp chỉ bằng điện từ. Vì thế máy tự biến áp có ưu điểm hơn máy biến áp hai dây quấn: với cùng kích thước máy tự biến áp truyền công suất qua nhiều hơn, hiệu suất cao hơn, sụt áp ít hơn. Tuy nhiên U_1 và U_2 chênh nhau quá nhiều thì ưu điểm không đáng kể, nên máy tự biến áp chỉ được dùng khi tỉ số biến áp nhỏ hơn 3:1.

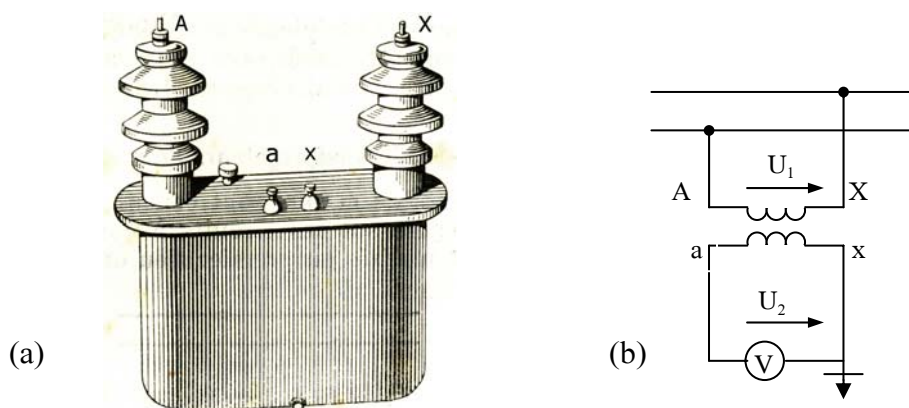
Còn khuyết điểm của máy tự biến áp là dây quấn sơ và dây quấn thứ không được cách ly về điện nên độ an toàn thấp. Chẳng hạn, nếu máy tự biến áp bị sự cố trên đoạn ax ở hình 6.22a, đoạn này bị đứt như vậy gần như tải chịu toàn bộ điện áp sơ cấp, rất nguy hiểm.

6.11.2. Máy biến áp đo lường.

Khi cần đo điện áp hoặc dòng điện lớn, người ta dùng các máy biến điện có tỉ số chính xác kết hợp với các dụng cụ đo tiêu chuẩn. Có hai loại máy biến áp đo lường: máy biến dòng điện và máy biến điện áp.

1. Máy biến điện áp

Máy biến điện áp (hình 6.23a) dùng để biến điện áp cao thành điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ đo tiêu chuẩn. Như vậy máy biến điện áp có dây quấn sơ nối song song với lưới điện có điện áp lớn cần đo và dây quấn thứ nối với Vôn mét (hình 6.23b), cuộn dây áp của Oát mét... . Các loại dụng cụ này có tổng trở rất lớn nên xem như làm việc ở chế độ không tải. Thông thường người ta qui định điện áp U_2 định mức là 100V.



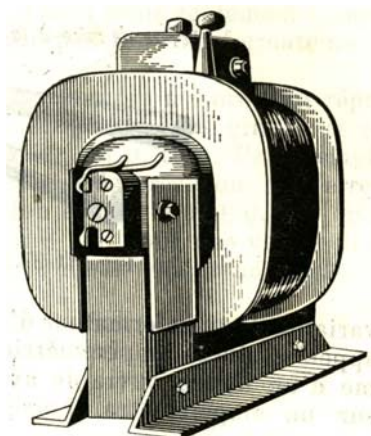
Hình 6.23 Máy biến điện áp

Chú ý: Khi sử dụng máy biến điện áp không được nối tắt mạch thứ cấp vì nối tắt mạch thứ cấp tương đương nối tắt sơ cấp nghĩa là gây sự có ngắn mạch ở lưới điện.

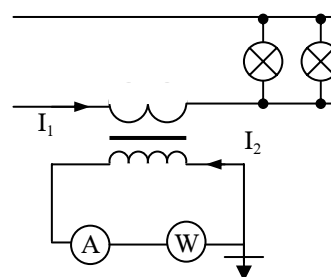
2. Máy biến dòng điện

Máy biến dòng điện dùng để biến dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường bằng các dụng cụ đo tiêu chuẩn và các mục đích khác.

Máy biến dòng điện (hình 6.24a) có dây quấn sơ gồm ít vòng dây mắc nối tiếp với mạch cần đo dòng và dây quấn thứ gồm nhiều vòng dây nối với ampe mét, cuộn dây dòng của Woát mét (hình 6.24b), cuộn dây của các rơle bảo vệ, hoặc các thiết bị điều khiển khác. Các loại dụng cụ này có tổng trở Z rất bé nên máy biến dòng điện làm việc ở trạng thái ngắn mạch, khi đó lõi thép không bão hòa và $\Phi = (0.8 \div 1) \text{Wb}$.



(a)



(b)

Hình 6.24 Máy biến dòng điện

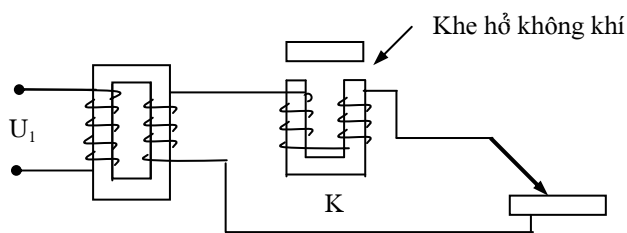
Chú ý: Khi sử dụng máy biến dòng điện không được để dây quấn thứ cấp hở mạch vì như vậy dòng từ hóa $I_0 = I_1$ rất lớn và lõi thép bão hòa nghiêm trọng sẽ nóng lên làm cháy dây quấn, hơn nữa từ thông bằng đầu sẽ sinh ra sdd nhọn đầu ở dây quấn thứ cấp có thể xuất hiện điện áp cao hàng nghìn vôn làm cho dây quấn thứ và người sử dụng không an toàn.

6.11.3. Máy biến áp hàn hồ quang

Là loại máy biến áp đặc biệt dùng để hàn bằng phương pháp hồ quang điện. Máy được chế tạo có điện kháng tản lớn và cuộn dây thứ cấp nối với điện kháng ngoài K để hạn chế dòng điện hàn. Vì thế đường đặc tính hàn rất dốc, phù hợp với yêu cầu hàn điện (hình 6.25).

Cuộn dây sơ cấp nối với nguồn điện, cuộn dây thứ cấp một đầu nối với cuộn điện kháng K rồi nối tới que hàn, còn đầu kia nối với tấm kim loại cần hàn.

Máy biến áp làm việc ở chế độ ngắn mạch ngắn hạn dây quấn thứ cấp. Điện áp thứ cấp định mức của máy biến áp hàn thường là $60 \div 70\text{V}$. Khi dí que hàn vào tấm kim loại, sẽ có dòng điện lớn chạy qua làm nóng chỗ tiếp xúc. Khi nhấc que hàn cách tấm kim loại một khoảng nhỏ, vì cường độ điện trường lớn làm ion hóa chất khí, sinh hồ quang và tỏa nhiệt lượng lớn làm nóng chảy chỗ hàn.



Hình 6.25 Sơ đồ máy biến áp hàn hồ quang

Để điều chỉnh dòng điện hàn, có thể thay đổi số vòng dây của dây quấn thứ cấp máy biến áp hàn hoặc thay đổi điện kháng ngoài bằng cách thay đổi khe hở không khí của lõi thép K.



BÀI TẬP

Bài 6.1. Xét MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không). Cuộn dây sơ cấp có 400 vòng, cuộn dây thứ cấp có 800 vòng. Tiết diện lõi thép là 40cm^2 . Nếu cuộn dây sơ cấp được đấu vào nguồn 600V , 60Hz , hãy tính :

- Từ cảm cực đại trong lõi ?
- Điện áp thứ cấp ?

Đáp số : a. $1,4\text{ T}$ b. 1200V .

Bài 6.2. Cho một MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 20kVA , $1200\text{V}/120\text{V}$.

- Tính dòng định mức sơ cấp và thứ cấp ?
- Nếu máy cấp cho tải 12kW có hệ số công suất $= 0,8$; tính dòng sơ và thứ cấp ?

Đáp số : a. $16,7\text{A}$; 167A b. $12,5\text{A}$; 125A .

Bài 6.3. Cho một MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có tỉ số vòng dây 4:1 Điện áp thứ cấp là $120\angle 0^\circ$ V. Người ta đấu một tải $Z_t = 10\angle 30^\circ \Omega$ vào thứ cấp. Hãy tính :

- Điện áp sơ cấp, dòng điện sơ cấp và thứ cấp ?
- Tổng trở tải qui về sơ cấp ?

Đáp số : a. $480\angle 0^\circ$ V; $3\angle 30^\circ$ A, $12\angle 30^\circ$ A b. $160\angle 30^\circ \Omega$.

Bài 6.4. Cho MBA một pha lý tưởng (không sụt áp, tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 50kVA, 400V/2000V cung cấp cho tải 40kVA có hệ số công suất = 0,8 (R-L); Tính:

- Tổng trở tải ?
- Tổng trở tải qui về sơ cấp ?

Đáp số : a. $100\angle 36,87^\circ \Omega$ b. $4\angle 36,87^\circ \Omega$.

Bài 6.5 Cho MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có số vòng dây = 180: 45. Điện trở sơ và thứ cấp lần lượt bằng 0,242 và 0,076. Tính điện trở tương đương qui về sơ cấp ?

Đáp số : a. 1,4 T b. 1200V.

Bài 6.6. Cho MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có số vòng dây = 220: 500. Phía sơ cấp đấu vào nguồn điện áp 220 V, phía thứ cấp cung cấp cho tải 10kVA.

- Tính điện áp trên tải, dòng điện thứ cấp và sơ cấp ?
- Tính tổng trở tương đương của máy nhìn từ nguồn ?

Đáp số : a. 500V, 20A, 50A b. $4,4\Omega$.

Bài 6.7. Trong thí nghiệm ngắn mạch của một MBA ba pha 100kVA nối Y/Y, 4000/1000V các dụng cụ đo đấu ở phía sơ cấp chỉ các giá trị : $U_n = 224$ V ; $I_n = 25$ A ; $P_n = 2500$ W. Tính điện trở và điện kháng ngắn mạch của máy qui về sơ cấp ?

Đáp số : $R_n = 1,33\Omega$, $X_n = 5\Omega$

Bài 6.8. Một MBA một pha 500kVA, 2300/230V khi thí nghiệm không tải và ngắn mạch, các dụng cụ đo đấu ở phía sơ cấp chỉ các giá trị :

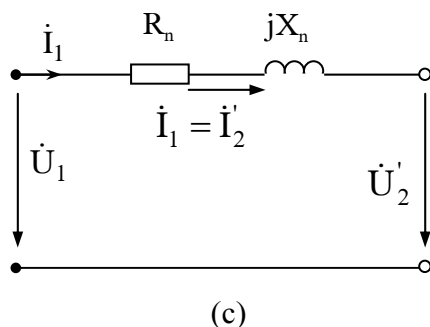
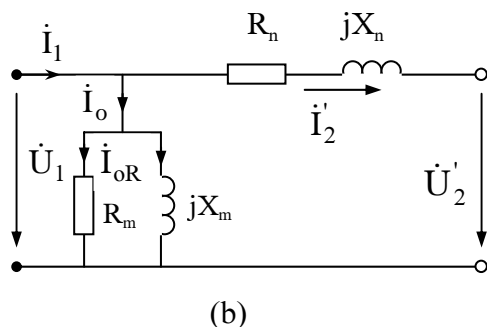
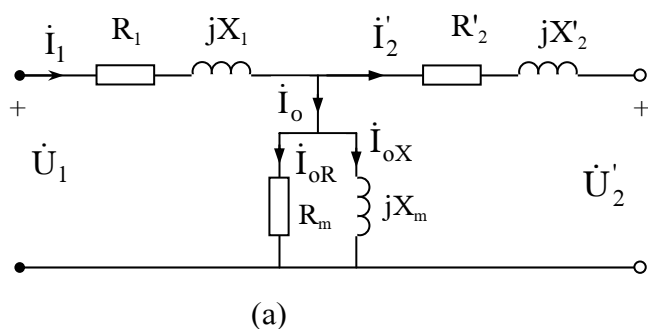
Thí nghiệm không tải : $U = 2300$ V ; $I_0 = 9,4$ A ; $P_0 = 2250$ W

Thí nghiệm ngắn mạch : $U_n = 95$ V ; $I_n = 218$ A ; $P_n = 8.200$ W.

Tính các thông số mạch điện thay thế của máy MBA qui về sơ cấp ?

Đáp số : $R_m = 2351\Omega$, $X_m = 244,7\Omega$, $R_l = R'_2 = 0,087\Omega$, $X_l = X'_2 = 0,2\Omega$

Bài 6.9. Một MBA một pha 500kVA, 2300/230V như bài tập 2-8, cung cấp dòng định mức cho tải có hệ số công suất $\cos\varphi = 1$. Tính hiệu suất MBA bằng cách lần lượt dùng các mạch điện tương đương sau :



Bài 6.10. Một MBA một pha 50kVA, 2400/240V, tổn hao đồng định mức 680W, tổn hao thép 260W.

- Tính hiệu suất khi hệ số công suất $\cos\varphi = 1$ lúc đầy tải và nửa tải ?
- Tính hệ số tải khi hiệu suất cực đại và hiệu suất cực đại MBA ?

Bài 6.11. Một MBA một pha 10kVA, 480/120V có các thông số sau :

$$R_1 = 0,6 \, \Omega; \, R_2 = 0,0375 \, \Omega; \, X_1 = 1 \, \Omega; \, X_2 = 0,0625 \, \Omega; \, R_m = 3000\Omega; \, X_m = 500 \, \Omega;$$

- Dùng mạch điện tương đương hình a để tính áp và dòng sơ cấp khi máy cung cấp 10kVA cho tải ở 120V và hệ số công suất $\cos\varphi = 0,85$ (R-L) ?
- Tính tổn hao đồng sơ cấp, tổn hao đồng thứ cấp, tổn hao trong lõi thép và hiệu suất của MBA?

Bài 6.12. Một MBA một pha 50kVA, 400/2000V có các thông số sau :

$$R_1 = 0,02 \, \Omega; \, R_2 = 0,5 \, \Omega; \, X_1 = 0,06 \, \Omega; \, X_2 = 1,5 \, \Omega; \, R_m = 500\Omega; \, X_m = 167 \, \Omega;$$

Máy cung cấp 40kVA cho tải có hệ số công suất $\cos\varphi = 0,8$ (R-L).

- Dùng mạch điện tương đương hình a,b,c để tính điện áp và dòng điện sơ cấp, tính độ biến thiên điện áp thứ cấp % ?
- Tính hiệu suất của tải đang xét và hiệu suất cực đại của MBA?

Bài 6.13. Một MBA 3 pha có tổ nối dây Y/Y, 560kVA, 6000/400V có dòng điện không tải $i_0\% = 2,6\%$; điện áp ngắn mạch $u_n\% = 4\%$; tổn hao không tải $P_o = 1570W$; tổn hao ngắn mạch $P_n = 7000W$.

- Tìm dòng điện định mức, dòng không tải, hệ số công suất $\cos\varphi_0$?
- Tính các thông số của mạch điện thay thế của MBA?
- Xác định hệ số tải để hiệu suất cực đại ?
- Tính điện áp thứ cấp và hiệu suất khi hệ số tải bằng 0,5 và $\cos\varphi_t = 0,8$ (R-L).

Bài 6.14. Một MBA 3 pha có tổ nối dây Y/Y, 560kVA, 6000/400V có các thông số của mạch điện thay thế một pha như sau :

$$R_1 = 0,4 \, \Omega; \, R_2 = 1,78 \cdot 10^{-3} \, \Omega; \, X_1 = 1,31 \, \Omega; \, X_2 = 5,8 \cdot 10^{-3} \, \Omega; \, R_m = 18274 \, \Omega; \, X_m = 1407 \, \Omega.$$

Máy cung cấp 450kVA cho tải ba pha có hệ số công suất $\cos\varphi = 0,8$ (R-L).

- a. Dùng mạch điện tương đương hình a,b,c để tính áp và dòng dây sơ cấp, tính độ biến thiên điện áp thứ cấp % ?.
- b. Tính hiệu suất của tải đang xét và hiệu suất cực đại của MBA?



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Chương 7

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ của rôto n khác với tốc độ từ trường quay trong máy n_1 . Máy điện không đồng bộ có thể làm việc ở hai chế độ : Động cơ và máy phát.

Máy phát điện không đồng bộ ít dùng vì có đặc tính làm việc không tốt, nên trong chương này ta chỉ xét động cơ không đồng bộ. Động cơ không đồng bộ được sử dụng nhiều trong sản xuất và trong sinh hoạt vì chế tạo đơn giản, giá thành rẻ, độ tin cậy cao, vận hành đơn giản, hiệu suất cao và gần như không bảo trì. Dây công suất của nó rất rộng từ vài watt đến hàng ngàn kilowatt. Hầu hết là động cơ ba pha, có một số động cơ công suất nhỏ là một pha.

Các số liệu định mức của động cơ không đồng bộ pha là:

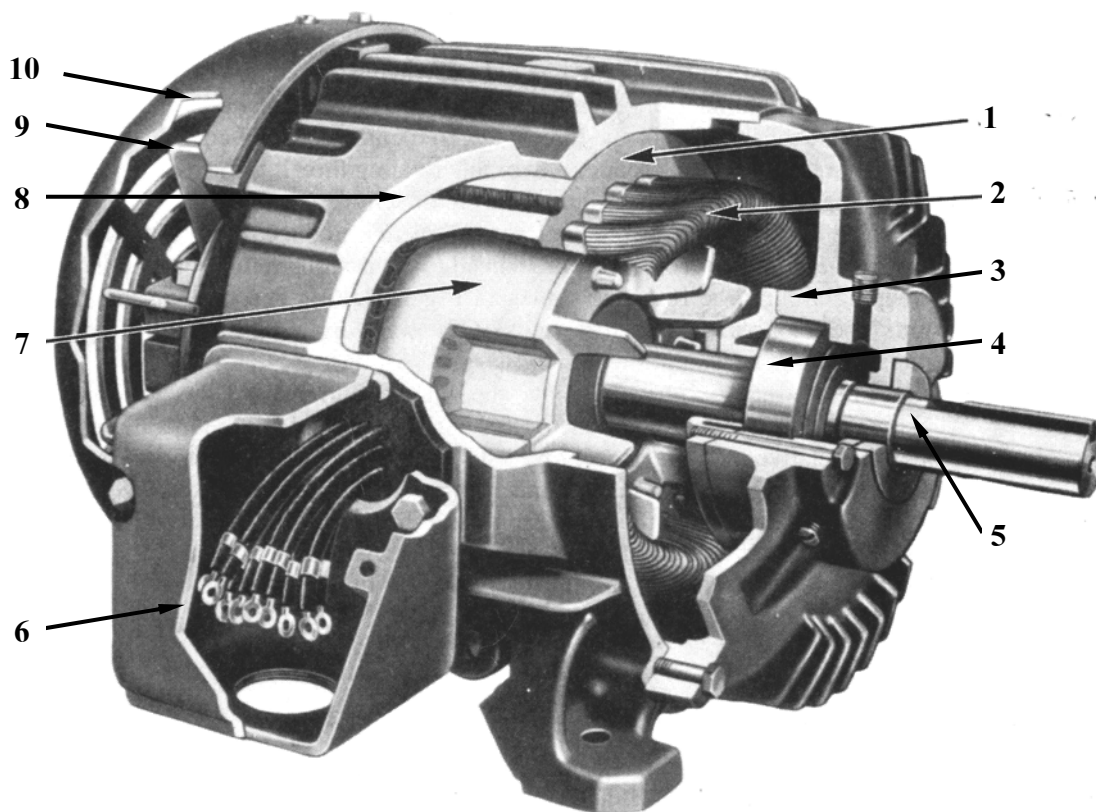
Công suất cơ có ích trên trục:	$P_{dm} (kW).$
Điện áp dây stato:	$U_{dm} (V).$
Dòng điện dây stato:	$I_{dm} (A).$
Tốc độ quay rôto:	$n_{dm}(\text{vòng/phút}).$
Hệ số công suất:	$\cos\varphi_{dm}.$
Hiệu suất:	$\eta_{dm}.$
Tần số:	$f_{dm}(Hz).$

7.2. CẤU TẠO CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ được trình bày trên hình 7.1, gồm hai bộ phận chủ yếu là stator và rôto, ngoài ra còn có vỏ máy, nắp máy và trục máy. Trục làm bằng thép, trên đó gắn rôto, ổ bi và phía cuối trục có gắn một quạt gió để làm mát máy dọc trục.

7.2.1. Stato (sơ cấp hay phần ứng)

Stato gồm hai bộ phận chính là lõi thép và dây quấn, ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy (hình 7.1). Còn hình 7.3c là ký hiệu động cơ trên sơ đồ điều khiển.



Hình 7.1 Cấu tạo của động cơ điện không đồng bộ

1. Lõi thép stato; 2. Dây quấn stato; 3. Nắp máy; 4. Ổ bi; 5. Trục máy; 6. Hộp dầu cục; 7. Lõi thép rôto; 8. Thân máy; 9. Quạt gió làm mát; 10. Hộp quạt

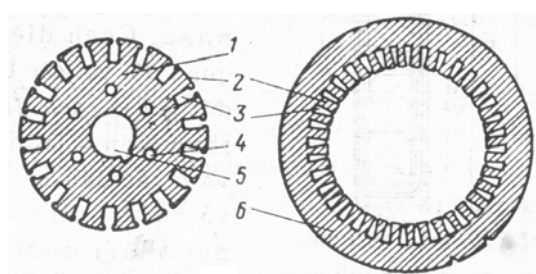
1. Lõi thép :

Lõi thép stator có dạng hình trụ (hình 7.2b), làm bằng các lá thép kỹ thuật điện, được dập rãnh bên trong (hình 7.2a) rồi ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy.

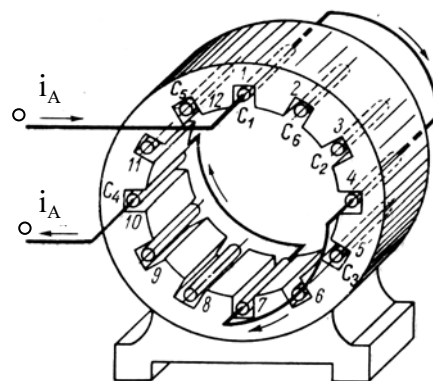
2. Dây quấn stato :

Dây quấn stato thường được làm bằng dây đồng có bọc cách điện và đặt trong các rãnh của lõi thép (hình 7.2a). Trên hình 7.2b vẽ sơ đồ khai triển dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh của một máy điện, dây quấn pha A đặt trong các rãnh 1, 4, 7, 10; pha B đặt trong các rãnh 3, 6, 9, 12; pha C đặt trong các rãnh 5, 8, 11, 2.

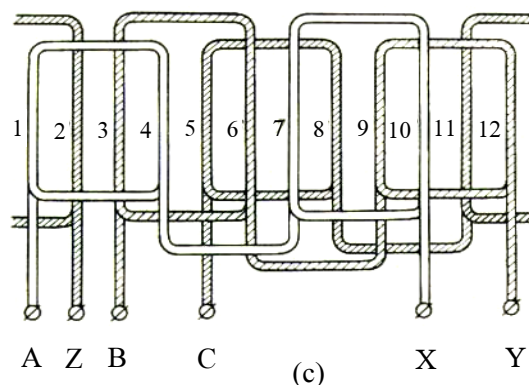
Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong dây quấn ba pha stator sẽ tạo nên từ trường quay.



(a)



(b)



(c)

Hình 7.2 Kết cấu stator máy điện không đồng bộ
a) Lá thép stator; b) Lõi thép stator;
c) Dây quấn stator

3. Vỏ máy :

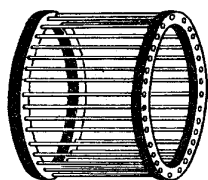
Vỏ máy gồm có thân và nắp, thường làm bằng gang.

7.2.2. Rotor (thứ cấp hay phần quay)

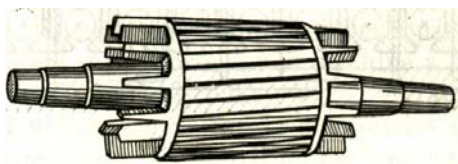
Rotor là phần quay gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

1. **Lõi thép** : Lõi thép rotor gồm các lá thép kỹ thuật điện được lấy từ phần bên trong của lõi thép stator ghép lại, mặt ngoài dập rãnh (hình 7.2a) để đặt dây quấn, ở giữa có dập lỗ để lắp trục.

2. **Dây quấn** : Dây quấn rotor của máy điện không đồng bộ có hai kiểu : rotor ngắn mạch còn gọi là rotor lồng sóc và rotor dây quấn.



(a)



(b)



(c)

Hình 7.3 Cấu tạo rotor động cơ không đồng bộ.

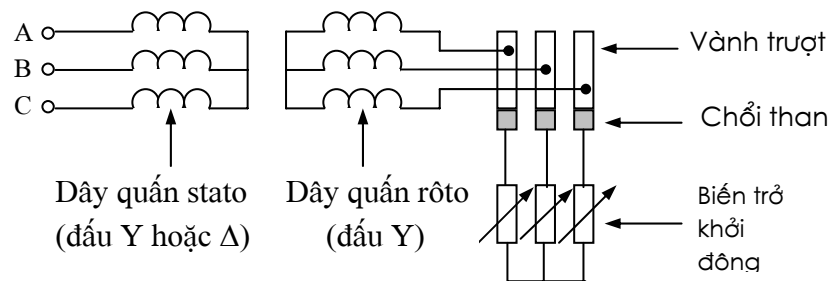
a) Dây quấn rotor lồng sóc c) Lõi thép rotor d) Ký hiệu động cơ trên sơ đồ

- Rotor lồng sóc (hình 7.3a) gồm các thanh đồng hoặc thanh nhôm đặt trong rãnh và bị ngắn mạch bởi hai vành ngắn mạch ở hai đầu. Với động cơ cỡ nhỏ, dây

quần rotor được đúc bằng nhôm nguyên khối gồm thanh dẫn, vành ngăn mạch, cánh tản nhiệt và cánh quạt làm mát (hình 7.3b). Các động cơ công suất trên 100kW thanh dẫn làm bằng đồng được đặt vào các rãnh rotor và gắn chặt vào vành ngăn mạch.

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong dây quần ba pha stato sẽ tạo nên từ trường quay.

- Rôto dây quần (hình 7.4) cũng quần giống như dây quần ba pha stato và có cùng số cực từ như dây quần stato. Dây quần kiểu này luôn luôn đấu sao (Y) và có ba đầu ra đầu vào ba vành trượt, gắn vào trục quay của rôto và cách điện với trục. Ba chổi than cố định và luôn tỳ trên vành trượt này để dẫn điện vào một biến trở cũng nối sao nằm ngoài động cơ để khởi động hoặc điều chỉnh tốc độ.



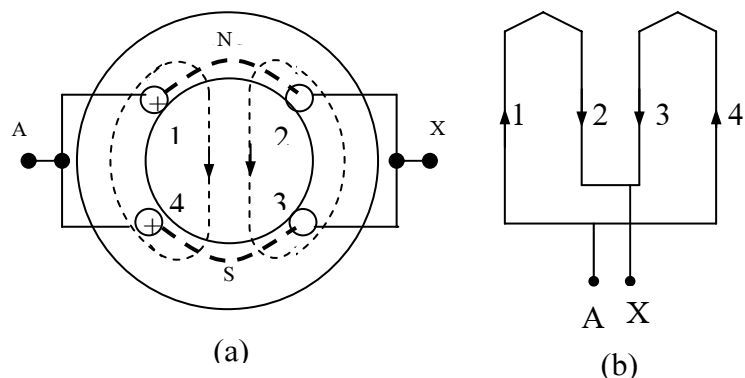
Hình 7.4 Cấu tạo của động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quần

7.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.3.1. Từ trường đập mạch của dây quần một pha

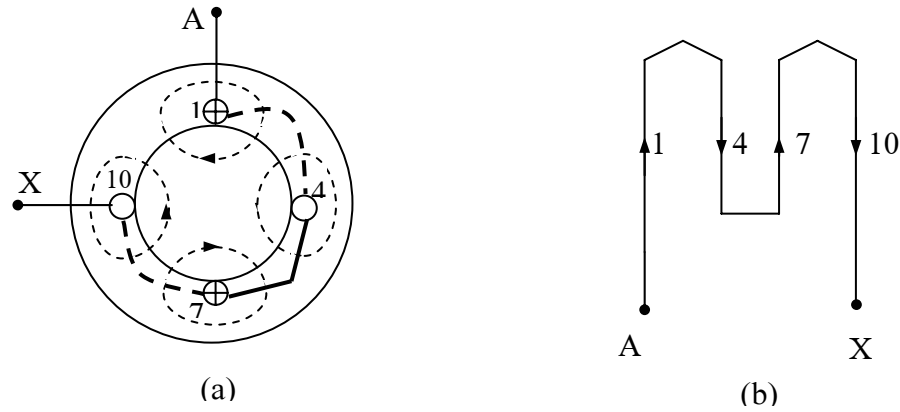
Từ trường của dây quần một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, được gọi là từ trường đập mạch

Xét dây quần một pha AX đặt trong 4 rãnh của stato (hình



Hình 7.5 Từ trường đập mạch 2 cực của dây quần một pha

7.5a,b). Cho dòng điện hình sin $i_A = I_m \sin \omega t$ chạy qua dây quần. Giả thiết chiều dòng điện trong các dây dẫn được vẽ trên hình 7.5a,b. Căn cứ vào chiều dòng điện, vẽ chiều từ trường theo qui tắc vắn nút chai. Dây quần hình 7.5a tạo thành từ trường một đôi cực.



Hình 7.6 Từ trường đập mạch 4 cực của dây quấn một pha

Trường hợp đầu dây quấn như trên hình 7.6, ta sẽ được một từ trường đập mạch 4 cực. Chú ý rằng trên hình 7.5 dây quấn được chia làm hai nhóm nối song song, còn trên hình 7.6 dây quấn được mắc nối tiếp.

7.3.2. Từ trường quay của dây quấn ba pha

1. Sự hình thành từ trường quay

Xét máy điện ba pha đơn giản, trên stato có 6 rãnh (hình 7.7). Trong đó người ta đặt dây quấn ba pha đối xứng AX, BY, CZ. Trục của các dây quấn ba pha lệch nhau trong không gian một góc 120° điện.

Giả thiết rằng trong ba dây quấn có hệ thống dòng điện ba pha đối xứng thứ tự thuận chạy qua:

$$\left. \begin{aligned} i_A &= I_m \sin \omega t \\ i_B &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_C &= I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

Lúc đó từ cảm $\vec{B}_A, \vec{B}_B, \vec{B}_C$ do các dòng điện i_A, i_B, i_C tạo ra riêng rẽ là các từ cảm đập mạch có phương lần lượt trùng với trục các pha A, B, C còn chiều cho bởi qui tắc vắn nút chai và độ lớn tỉ lệ lần lượt với i_A, i_B, i_C . Từ cảm do cả ba dòng điện tạo ra là tổng vectơ:

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_B + \vec{B}_C \quad (7.2)$$

Ta xét \vec{B} tại các thời điểm khác nhau:

α) Xét thời điểm $\omega t = 90^\circ$ (Hình 7.7a)

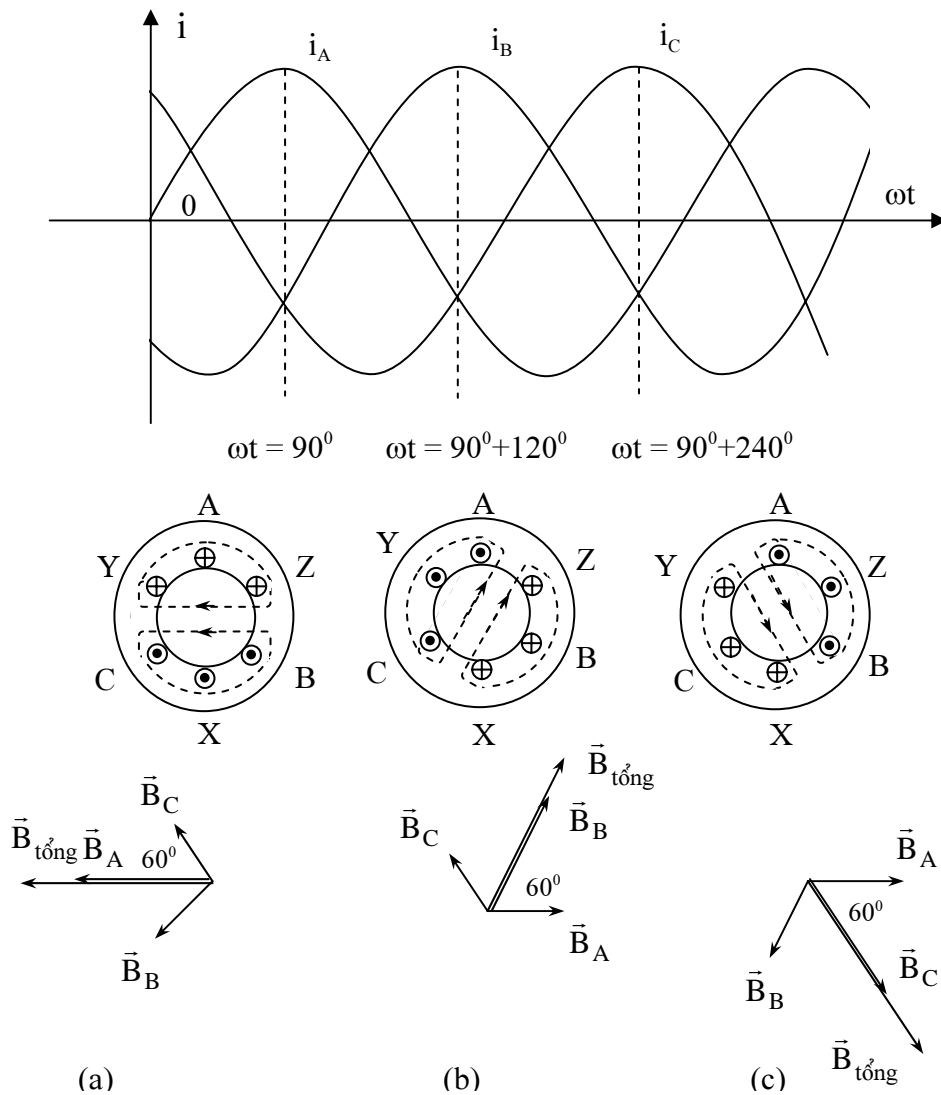
Ở thời điểm này, dòng điện pha A cực đại và dương ($i_A = I_m$), nên \vec{B}_A cũng cực đại và hướng theo chiều dương của trục pha A ($B_A = B_m$). Đồng thời các dòng điện pha B và C âm ($i_B = i_C = -I_m/2$) nên \vec{B}_B và \vec{B}_C hướng theo chiều âm của trục pha B và C, và có độ dài $B_m/2$. Từ cảm tổng \vec{B} hướng theo chiều dương của trục pha A và có độ dài $(3/2)B_m$.

β) Xét thời điểm $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$ (Hình 7.7b)

Lúc này là thời điểm sau thời điểm đã xét ở trên một phần ba chu kỳ. Ở thời điểm này, dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm. Lý luận tương tự, ta thấy từ trường tổng \vec{B} hướng theo chiều dương của trục pha B, có độ dài $(3/2)B_m$ và đã quay đi một góc 120° so với thời điểm $\omega t = 90^\circ$.

γ) Xét thời điểm $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$ (Hình 7.7c)

Lúc này là thời điểm sau thời điểm đầu hai phần ba chu kỳ. Ở thời điểm này, dòng điện pha C cực đại và dương, các dòng điện pha A và B âm. Lý luận tương tự, ta thấy từ trường tổng \vec{B} hướng theo chiều dương của trục pha C, có độ dài $(3/2)B_m$ và đã quay đi một góc 240° so với thời điểm $\omega t = 90^\circ$.



Hình 7.7 Từ trường quay hai cực của dây quấn ba pha

Qua phân tích trên ta thấy, từ trường tổng của hệ thống dòng điện hình sin ba pha đối xứng chạy qua dây quấn ba pha là từ trường quay tròn. Từ trường quay móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto là từ trường chính của máy điện, nó tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng.

Với cách cấu tạo dây quấn như hình (7.7), ta có từ trường quay một đôi cực. Nếu thay đổi cách cấu tạo dây quấn, ta có từ trường quay 2, 3, ... đôi cực.

2. Đặc điểm từ trường quay

α) Tốc độ từ trường quay

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện stato f và số đôi cực từ p . Thật vậy, với dây quấn hình 7.5, máy có một đôi cực $p = 1$, khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay một vòng. Do đó dòng điện biến thiên f chu kỳ trong một giây, từ trường quay f vòng/giây. Với dây quấn hình 7.6, máy có hai đôi cực $p = 2$, khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay $1/2$ vòng (từ cực N qua S đến N là $1/2$ vòng). Do đó dòng điện biến thiên f chu kỳ trong một giây, từ trường quay $f/2$ vòng/giây. Một cách tổng quát, khi máy có p đôi cực từ, dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay $1/p$ vòng. Do đó dòng điện biến thiên f chu kỳ trong một giây, từ trường quay f/p vòng/giây. Vậy tốc độ từ trường quay (hay còn gọi là tốc độ đồng bộ) trong một giây là:

$$n_1 = \frac{f}{p} \text{ (vòng/giây)} \quad (7.3a)$$

$$\text{hoặc} \quad n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)} \quad (7.3b)$$

β) Chiều từ trường quay

Chiều của từ trường quay phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện. Muốn đổi chiều quay của từ trường ta thay đổi thứ tự hai trong ba pha cho nhau. Giả sử đi dọc theo chu vi stato ta lần lượt gặp trục các pha A, B, C theo chiều kim đồng hồ (hình 7.7). Nếu thứ tự pha thuận, từ trường \vec{B} sẽ lần lượt quét qua các trục pha A, B, C ... theo chiều kim đồng hồ (nam châm giả SN quay theo chiều kim đồng hồ). Nếu thứ tự pha ngược, cực đại dòng các pha i_A, i_B, i_C lần lượt xảy ra theo thứ tự A, C, B ... và từ trường \vec{B} sẽ lần lượt quét qua các trục pha theo thứ tự A, C, B ... nghĩa là ngược chiều kim đồng hồ.

γ) Biên độ của từ trường quay

Vì từ thông tỉ lệ với dòng điện nên từ thông tức thời do dòng điện i_A, i_B, i_C tạo ra và lần lượt xuyên qua các pha A, B, C là:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_{pm} \sin(\omega t) \\ \Phi_B &= \Phi_{pm} \sin(\omega t - 120^\circ) \\ \Phi_C &= \Phi_{pm} \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (7.4)$$

trong đó Φ_{pm} là từ thông cực đại xuyên qua một pha.

Vì trục của pha A tạo với trục các pha B và C các góc lần lượt bằng 120° và 240° nên từ thông tổng xuyên qua pha A do cả ba dòng điện i_A, i_B, i_C tạo ra là:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_A + \Phi_B \cos 120^\circ + \Phi_C \cos 240^\circ \\ &= \Phi_A - \frac{1}{2}(\Phi_B + \Phi_C) \end{aligned}$$

Trong hệ thống dòng điện ba pha đối xứng $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$ hay:

$$\Phi_B + \Phi_C = -\Phi_A$$

do đó:
$$\Phi = \Phi_A + \frac{1}{2}\Phi_A = \frac{3}{2}\Phi_A$$

Cuối cùng ta có:

$$\Phi = \frac{3}{2}\Phi_{pm} \sin \omega t = \Phi_m \sin \omega t \quad (7.5)$$

với
$$\Phi_m = \frac{3}{2}\Phi_{pm} \quad (7.6)$$

Vậy từ thông tức thời xuyên qua dây quấn một pha biến thiên hình sin theo thời gian t và có biên độ bằng $3/2$ từ thông cực đại một pha.

7.3.3. Từ thông tản

Từ thông xét ở trên là từ thông chính, móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto. Ngoài ra, có bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn, gọi là từ thông tản. Ta có từ thông tản stato, chỉ móc vòng với dây quấn stato và từ thông tản rôto, chỉ móc vòng với dây quấn rôto. Từ thông tản được đặc trưng bởi điện kháng tản X_t như đã xét trong máy biến áp.

7.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Khi đặt điện áp xoay chiều ba pha có tần số f_1 vào dây quấn stato, trong dây quấn stato sẽ có hệ thống dòng ba pha chạy qua, dòng điện này sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ $n_1 = 60f_1/p$. Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto và cảm ứng trong đó các sdd E_2 . Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch, nên sdd cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện I_2 trong các thanh dẫn rôto. Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rôto I_2 , kéo rôto quay theo chiều của từ trường quay với tốc độ n .

Để minh họa, ta xét từ trường quay \vec{B} của stato đang quay theo chiều kim đồng hồ với tốc độ n_1 (hình 7.8). Lúc đó, thanh dẫn \mathbf{a} của rôto đang chuyển động trong từ cảm \vec{B} với tốc độ (tương đối) \vec{v} nên trong thanh dẫn \mathbf{a} của rôto cảm ứng sdd \vec{e}_2 có chiều cho bởi:

$$\vec{e}_2 = \vec{v} \times \vec{B} \quad (7.7)$$

tức là \vec{e}_2 hướng từ trước ra sau. Vì rôto ngắn mạch nên E_2 tạo ra dòng điện I_2 cùng chiều E_2 .

Dòng điện i_2 đặt trong từ cảm \vec{B} sẽ chịu tác dụng lực điện từ có chiều cho bởi:

$$\vec{F}_2 = I_2 \times \vec{B} \quad (7.8)$$

tức là cùng chiều từ trường quay stato.

Tốc độ rôto của máy n luôn 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 rôto không có sdd và dòng điện cảm ứng, nên lực điện từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ rôto gọi là tốc độ trượt n_2 :

$$n_2 = n_1 - n$$

Hệ số trượt của tốc độ là:

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1} \quad (7.9)$$

trong $\Omega_1 = 2\pi n_1$ và $\Omega = 2\pi n$. là tốc độ góc của từ trường quay và của rôto.

Khi rôto đứng yên, tốc độ $n = 0$, hệ số trượt $s = 1$; khi rôto quay định mức $s = 0,02 \div 0,06$. Tốc độ động cơ là:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \text{ vg/ph.} \quad (7.10)$$

7.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

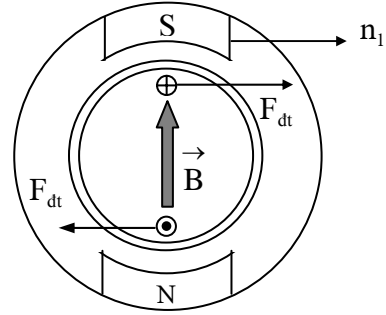
7.5.1. Phương trình điện áp ở dây quấn stato.

Dây quấn stato của động cơ tương tự như dây quấn sơ cấp máy biến áp, ta có phương trình điện áp là:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jX_1) = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (7.11)$$

trong đó: $Z_1 = R_1 + jX_1$: tổng trở của dây quấn stato.

* R_1 là điện trở của dây quấn stato.



Hình 7.8 Quá trình tạo momen quay của động cơ không đồng bộ

* X_1 là điện kháng tản của dây quấn stato.

E_1 là sđđ pha stato do từ thông của từ trường quay sinh ra có trị số là:

$$E_1 = 4,44f_1 N_1 k_{dq1} \Phi_m \quad (7.12)$$

Với W_1 , k_{dq1} lần lượt là số vòng dây và hệ số dây quấn của một pha stato. Hệ số dây quấn $k_{dq1} < 1$, nói lên sự giảm sđđ của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và rút ngắn bước dây quấn so với quấn tập trung như máy biến áp.

Φ_m là biên độ từ thông của từ trường quay.

f_1 là tần số dòng điện trong dây quấn stato.

7.5.2. Phương trình điện áp ở dây quấn rôto.

Từ trường chính quay với tốc độ n_1 , rôto quay với tốc độ n theo chiều từ trường quay. Vậy giữa từ trường quay và dây quấn rôto có tốc độ trượt:

$$n_2 = n_1 - n$$

Tần số sđđ và dòng điện trong dây quấn rôto:

$$f_2 = \frac{n_2 p}{60} = \frac{n_1 - n}{n_1} \times \frac{n_1 p}{60} = s f_1 \quad (7.13)$$

trong đó, s - là hệ số trượt của động cơ không đồng bộ. lúc làm việc ở chế độ tải định mức, thường $s_{dm} = 0,02 \div 0,06$. Nếu tần số $f_1 = 50\text{Hz}$ thì $f_2 = 1 \div 3\text{Hz}$.

Sđđ pha cảm ứng trong dây quấn rôto lúc quay là:

$$E_{2s} = 4,44f_2 N_2 k_{dq2} \Phi_m \quad (7.14a)$$

$$E_{2s} = 4,44s f_1 N_2 k_{dq2} \Phi_m \quad (7.14b)$$

Trong đó: N_2 , k_{dq2} lần lượt là số vòng dây và hệ số dây quấn của dây quấn rôto. Hệ số dây quấn $k_{dq2} < 1$, nói lên sự giảm sđđ của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và rút ngắn bước dây quấn.

Khi rôto đứng yên $s = 1$, tần số $f_2 = f_1$. Sđđ dây quấn rôto lúc đứng yên là:

$$E_2 = 4,44f_1 N_2 k_{dq2} \Phi_m \quad (7.15)$$

So sánh (7.15) và (7.14b), ta thấy:

$$E_{2s} = s E_2 \quad (7.16)$$

Điện kháng của dây quấn rôto:

+ lúc đứng yên:

$$X_2 = 2\pi f_1 L_2 \quad (7.17)$$

+ lúc quay:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi s f_1 L_2 = s X_2 \quad (7.18)$$

trong đó: L_2 là điện cảm tản của dây quấn rôto.

Từ (7.12) và (7.15), ta có tỉ số sđđ pha stato và rôto là:

$$a_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 k_{dq1}}{N_2 k_{dq2}} \quad (7.19)$$

với: a_e gọi là hệ số qui đổi sdd rôto về stato.

Phương trình điện áp của mạch điện rôto lúc quay là:

$$0 = \dot{E}_{2s} - \dot{I}_2(R_2 + jX_{2s}) \quad (7.20a)$$

hay:
$$0 = s\dot{E}_2 - \dot{I}_2(R_2 + jsX_2) \quad (7.20b)$$

VÍ DỤ 7.1

Điện áp và tần số của động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn nối Y có 6 cực từ khi dây quấn rôto hở mạch là 100V, $f = 50\text{Hz}$. Xác định điện áp và tần số trong dây quấn rôto khi quay ở tốc độ 950 vòng/phút.

Giải

1. Tốc độ đồng bộ :
$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ vòng/phút}$$

Hệ số trượt :
$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05$$

2. Điện áp trong dây quấn rôto lúc quay :

$$E_{2s} = sE_2 = 0,05.100 = 5\text{V}$$

3. Tần số dòng điện trong dây quấn rôto :

$$f_2 = sf_1 = 0,05.50 = 2,5 \text{ Hz}$$

7.5.3. Phương trình stđ của động cơ không đồng bộ.

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy do dòng điện của cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn stato sinh ra từ trường quay stato quay với tốc độ n_1 so với stato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay rôto quay với tốc độ n_2 so với rôto bằng:

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1 s}{p} = s n_1$$

Vì rôto quay đối với stato có tốc độ n , nên từ trường rôto sẽ quay đối với stato có tốc độ là:

$$n_2 + n = s n_1 + n = s n_1 + n_1(1-s) = n_1$$

Vậy từ trường quay stato và từ trường quay rôto quay cùng tốc độ n_1 , nên từ trường tổng hợp là từ trường quay với tốc độ n_1 .

Cũng lý luận tương tự như máy biến áp, từ thông Φ_m có trị số hầu như không đổi ứng với chế độ không tải và có tải. Do đó ta có thể viết phương trình sức từ động của động cơ:

$$m_1 N_1 k_{dq1} \dot{I}_1 - m_2 N_2 k_{dq2} \dot{I}_2 = m_1 N_1 k_{dq1} \dot{I}_0$$

trong đó: I_0 là dòng điện stato lúc không tải;

I_1, I_2 là dòng điện stato và rôto khi có tải;

m_1, m_2 là số pha của dây quấn stato và rôto;

k_{dq1}, k_{dq2} là hệ số dây quấn của dây quấn stato và rôto.

Chia hai vế cho $m_1 N_1 k_{dq1}$ và đặt:

$$\frac{\dot{I}_2}{m_1 N_1 k_{dq1}} = \frac{\dot{I}_2}{a_i} = \dot{I}_2',$$

ta có: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (7.21)$

Trong đó, \dot{I}_2' là dòng điện rôto qui đổi về stato, còn hệ số qui đổi dòng điện là:

$$a_i = \frac{m_1 N_1 k_{dq1}}{m_2 N_2 k_{dq2}} \quad (7.22)$$

7.6. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán, từ hệ phương trình cân bằng điện áp và sức từ động của máy điện không đồng bộ, ta thành lập sơ đồ mạch điện tương đương gọi là mạch điện thay thế máy điện không đồng bộ.

Từ (7.11), ta viết lại phương trình cân bằng điện áp stator của máy điện là:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 (R_1 + jX_1) = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (7.23)$$

Mạch điện tương đương phương trình cân bằng điện áp phía stator 7.23, trình bày trên hình 7.9a, giống dây quấn sơ cấp mba

Viết lại phương trình (7.20b) là phương trình mạch điện rotor lúc quay, trong đó dòng điện I_2 và sđđ E_{2s} có tần số $f_2 = sf_1$.

$$0 = s\dot{E}_2 - \dot{I}_2 (R_2 + jsX_2) \quad (7.24)$$

Mạch điện tương đương phương trình cân bằng điện áp ở dây quấn rotor theo phương trình 7.24, trình bày trên hình 7.9b.

Chia hai vế (7.24) cho s , ta có:

$$0 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right) = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \left(R_2 \frac{1-s}{s} + R_2 + jX_2 \right) \quad (7.25)$$

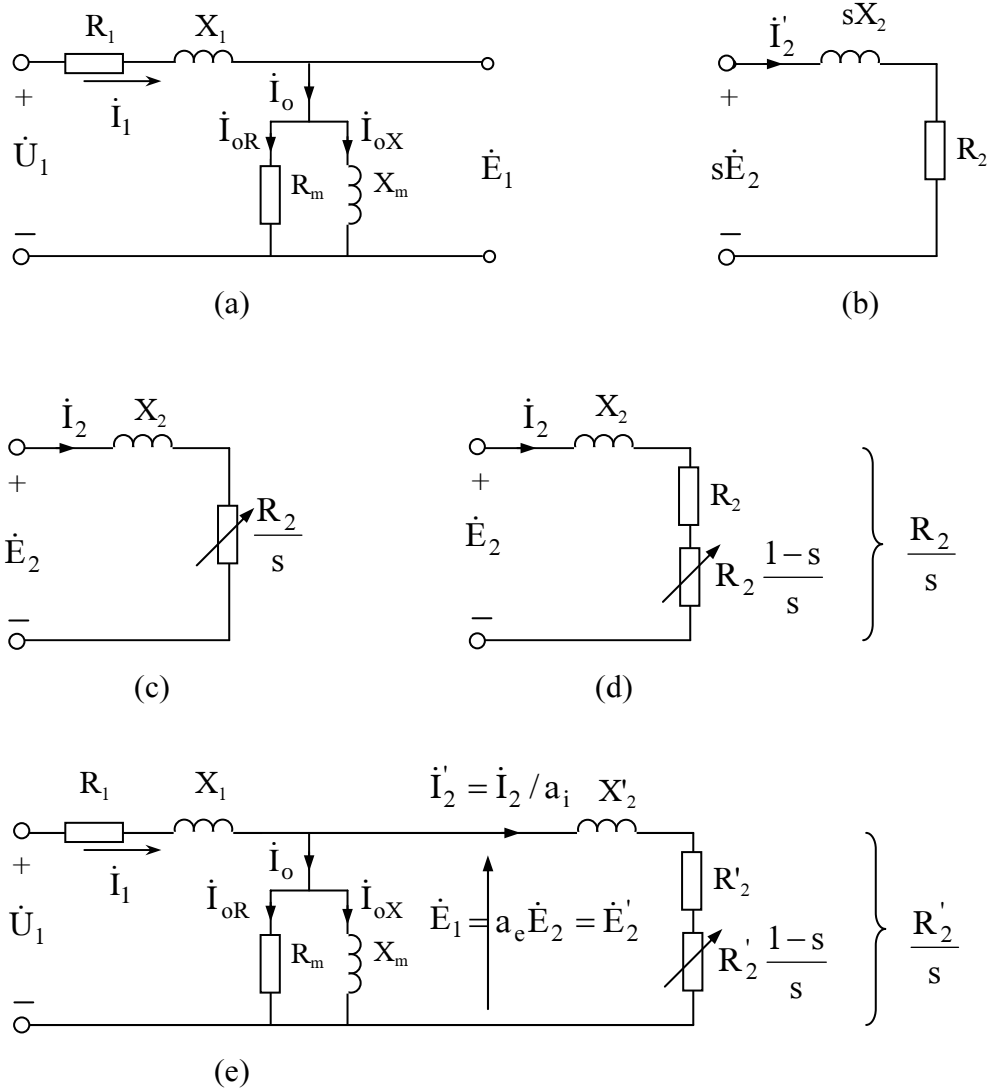
Mạch điện tương đương phương trình (7.25), trình bày trên hình 7.9c,d. Phương trình (7.25) là phương trình điện áp rotor lúc quay đã được qui đổi về rotor đứng yên. Có thể gọi là phương trình điện áp rotor qui đổi về tần số stator.

Nhân phương trình (7.25) với a_c , chia và nhân với a_i , ta có:

$$0 = a_e \dot{E}_2 - \frac{\dot{I}_2}{a_i} \left(\frac{R_2}{s} a_e a_i + jX_2 a_e a_i \right) \quad (7.26a)$$

$$0 = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(\frac{R_2'}{s} + jX_2' \right) \quad (7.26b)$$

$$0 = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(R_2' \frac{1-s}{s} + R_2' + jX_2' \right) \quad (7.26c)$$



Hình 7.9 Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ. a) Mạch điện thay thế phía stator; b, c, d) Mạch điện thay thế phía rotor; e) Mạch điện thay thế đầy đủ máy điện không đồng bộ.

trong đó: $E_2' = a_e E_2 = E_1$ là sdd pha rotor qui đổi về stator; $I_2' = I_2 / a_i$ là dòng điện rotor qui đổi về stator; $R_2' = R_2 a_i a_e = a^2 R_2$ là điện trở dây quấn rotor qui đổi về stator; $X_2' = X_2 a_i a_e = a^2 X_2$ là điện kháng dây quấn rotor qui đổi về stator; a^2 là hệ số qui đổi tổng trở; còn $R_2' / s = R_2' + R_2'(1-s)/s = R_2' + R_{c0}$ và $R_{c0} = R_2'(1-s)/s$ gọi là

điện trở cơ giả tưởng, năng lượng tiêu tán trên điện trở này tương đương năng lượng điện từ biến thành cơ năng trên trục động cơ khi nó quay (hình 7.9e).

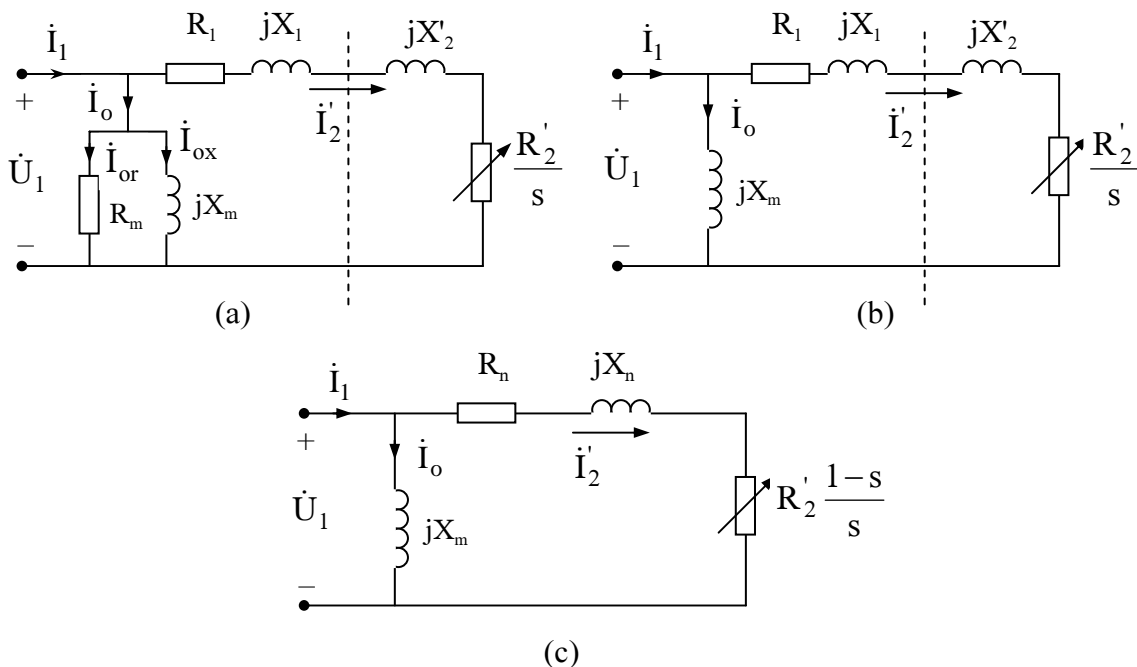
Cuối cùng ta có phương trình cơ bản lúc rotor quay là:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \\ 0 &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' (R_2' \frac{1-s}{s} + R_2' + jX_2') \\ \dot{E}_2' &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \end{aligned} \right\} \quad (7.27)$$

Dựa vào các phương trình cơ bản sau khi qui đổi (7.27), và hai mạch điện hình 7.9a và d, ta thành lập mạch điện thay thế hình 7.9e cho động cơ điện không đồng bộ khi rotor quay giống như máy biến áp, ở đây dây quấn sơ cấp máy biến áp là dây quấn stator, dây quấn thứ cấp máy biến áp là dây quấn rotor và phụ tải máy biến áp là điện trở cơ giả tưởng $R'_{co} = R_2'(1-s)/s$, đây là điện trở đặc trưng cho công suất cơ P_{co} của động cơ.

7.7. CÁC DẠNG KHÁC CỦA MẠCH ĐIỆN THAY THẾ

Để thuận tiện cho việc tính toán, sơ đồ hình 7.9e được xem gần đúng tương đương với sơ đồ hình 7.10a, khi chuyển nhánh từ hóa về nối trực tiếp với điện áp U_1 được sử dụng nhiều trong tính toán động cơ điện không đồng bộ.



Hình 7.10 Sơ đồ thay thế gần đúng máy điện không đồng bộ

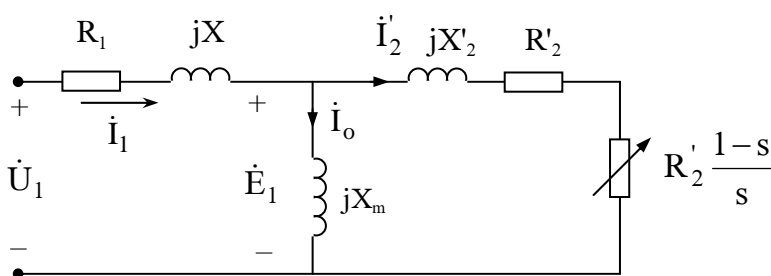
Trong máy điện không đồng bộ thường $R_m \gg X_m$, nên ta bỏ qua điện trở đặc trưng cho tổn hao trong lõi thép, hình 7-10b.

Ngoài ra, nếu làm một vài phép biến đổi đơn giản, ta có sơ đồ thay thế như hình 7-10c, trong đó:

$$R_n = R_1 + R_2' \quad (7.28)$$

$$X_n = X_1 + X_2' \quad (7.29)$$

Từ sơ đồ thay thế có thể tính dòng điện stator, dòng điện rotor, moment, công suất cơ... và những tham số khác. Như vậy ta đã chuyển việc tính toán một hệ Điện - Cơ về việc tính toán mạch điện đơn giản.



Hình 7.11 Mạch điện thay thế IEEE

Trong máy điện không đồng bộ, do có khe hở không khí lớn nên tồn tại dòng điện từ hóa lớn, khoảng $(30-50)\%I_{dm}$. Điện kháng tản X_1 cũng lớn. Trong trường hợp như vậy điện kháng từ hóa X_m không nên dịch chuyển về đầu nguồn (hình 7-10c) mà giữ nguyên vị trí như hình 7-9e. Bỏ qua điện trở R_m còn tổn hao sắt ta gộp vào tổn hao cơ và tổn hao phụ gọi chung là tổn hao quay. Từ đó ta có mạch điện thay thế hình 7-11 do IEEE (đọc I ba E) đề xướng, ở đây sdd E_1 khác so với U_1 .

7.8. QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG TRONG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ điện không đồng bộ nhận điện năng từ lưới điện, nhờ từ trường quay điện năng đã được biến đổi thành cơ năng trên trục động cơ.

Công suất tác dụng động cơ điện nhận từ lưới điện :

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (7.30)$$

Trong đó: U_1 , I_1 là điện áp pha và dòng điện pha, còn φ_1 là góc lệch pha của dòng điện và điện áp pha.

Công suất này một phần bù vào tổn hao đồng trên dây quấn stator: $p_{Cu1} = m_1 I_1^2 R_1$ và tổn hao sắt thép trong lõi thép: $p_{Fe} = m_1 I_{0R}^2 R_m$. Công suất còn lại gọi là công suất điện từ truyền qua rotor:

$$P_{dt} = P_1 - (p_{Cu1} + p_{Fe}) = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (7.31)$$

Công suất điện từ truyền qua rotor, sau khi mất một phần vì tổn hao đồng trên dây quấn rotor: $p_{Cu2} = m_1 I_2'^2 R_2'$. Còn lại là công suất cơ trên trục:

$$P_{co} = P_{dt} - p_{Cu2} = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} - m_2 I_2'^2 R_2' = m_1 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} \quad (7.32)$$

Từ công thức (7.31) và (7.32), ta có công suất cơ trên trục và P_{dt} :

$$P_{co} = (1-s)P_{dt} \quad P_{dt} = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} = \frac{p_{Cu2}}{s} \quad (7.33)$$

Công suất cơ trên trục sau khi trừ đi tổn hao quay p_q (ma sát, quạt gió và phụ), còn lại là công suất có ích trên đầu trục hay công suất ra của động cơ điện:

$$P_2 = P_{co} - p_q$$

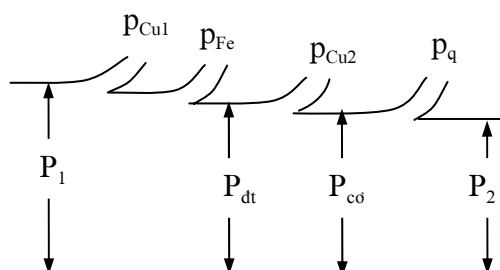
Tổng tổn hao của động cơ điện:

$$\Sigma p = p_{Cu1} + p_{Fe} + p_{Cu2} + p_q$$

Giản đồ năng lượng của động cơ không đồng bộ trình bày trên hình 7.12.

Hiệu suất của động cơ điện:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \quad (7.34)$$



Hình 7.12 Giản đồ năng lượng động cơ không đồng bộ

VÍ DỤ 7.2

Động cơ không đồng bộ ba pha nối Y có công suất $P_{dm} = 11kW$, $U_{dm} = 380V$, $f_{dm} = 50Hz$, 4 cực từ, $n_{dm} = 1440$ vòng/phút. Tổn hao quay (quạt gió, ma sát và phụ) là 750W. Xác định:

1. Công suất cơ?
2. Công suất điện từ?
3. Tổn hao đồng trong dây quấn rotor?

Giải

1. Công suất cơ của động cơ:

$$\begin{aligned} \text{Công suất cơ} &= \text{Công suất trên đầu trục} + \text{Tổn hao quay} \\ &= 11000 + 750 = 11750W \end{aligned}$$

2. Công suất điện từ:

$$\text{Tốc độ đồng bộ} : n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ vòng/phút}$$

$$\text{Hệ số trượt} : s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04$$

$$\text{Công suất điện từ : } P_{dt} = \frac{P_{cơ}}{1-s} = \frac{11750}{1-0,04} = 12240 \text{ W}$$

3. Tổn hao đồng trong dây quấn rotor :

$$P_{Cu2} = sP_{dt} = 0,04 \times 12240 = 489,6 \text{ W}$$

7.9. MÔMEN CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Thường lợi dụng mạch điện thay thế để tính mômen điện từ theo hệ số trượt. Mômen điện từ của động cơ điện không đồng bộ:

$$M = \frac{P_{cơ}}{\Omega} \quad (7.35)$$

Viết lại biểu thức (7.32):

$$\left. \begin{aligned} P_{cơ} &= m_1 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} \\ \Omega &= (1-s)\Omega_1 = (1-s)\omega_1 / p \end{aligned} \right\} \quad (7.36)$$

Còn

Từ sơ đồ thay thế IEEE (hình 7.11) , khi bỏ qua X_m , ta có:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7.37)$$

Thế (7.36) rồi (7.37) vào (7.35), ta có mômen điện từ của động cơ điện không đồng bộ :

$$M = \frac{m_1}{\Omega_1} \times \frac{U_1^2 \times R_2'/s}{(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (7.38)$$

Nhận xét về moment :

+ M tỉ lệ U_1^2 .

+ M tỉ lệ nghịch $Z^2 = (R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2$ khi tần số cho trước.

+ $M = f(s)$.

Vẽ quan hệ mômen theo hệ số trượt $M = f(s)$. Để vẽ hình 7.13, ta tính:

7.9.1. Tìm mômen cực đại

- Giả thiết các tham số khác là không đổi.
- Đặt $y = 1/s$.

Viết lại biểu thức mômen điện từ (7.38):

$$M = \frac{Ay}{B + Cy + Dy^2}$$

$$\text{trong đó: } \left\{ \begin{aligned} A &= \frac{m_1 U_1^2 R_2'}{\Omega_1} \\ B &= R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} C &= 2R_1 R_2' \\ D &= R_2'^2 \end{aligned} \right.$$

Lấy đạo hàm và tìm hệ số trượt tới hạn s_{th} ứng với mômen cực đại M_{max} .

$$\left. \frac{dM}{dy} \right|_{y=y_{th}} = \frac{A(B - Dy_{th}^2)}{(B + Cy_{th} + Dy_{th}^2)^2} = 0$$

$$\rightarrow y_{th} = \pm \sqrt{B/D}$$

$$\rightarrow s_{th} = \pm \sqrt{D/B}$$

$$\rightarrow s_{th} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7.39)$$

Dấu: (+) ứng với chế độ động cơ.

(-) ứng với chế độ máy phát.

Sau khi thế (7.39) vào (7.38), ta có mômen cực đại :

$$M_{max} = \pm \frac{m_1}{2\Omega_1} \times \frac{U_1^2}{\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7.40)$$

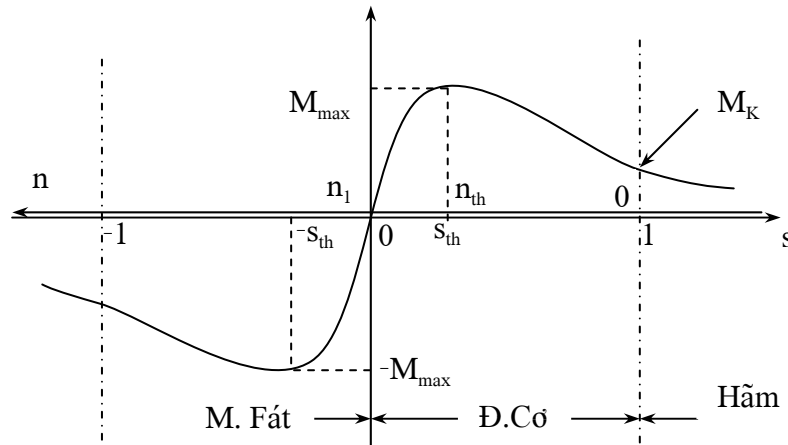
Thường $R_1 \ll X_1 + X_2'$, nên xem $R_1 = 0$, ta có:

$$s_{th} = \pm \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} \quad (7.41)$$

$$M_{max} = \pm \frac{m_1}{2\Omega_1} \frac{U_1^2}{X_1 + X_2'} \quad (7.42)$$

Ta nhận xét về M_{max} :

- + M_{max} tỉ lệ với U_1^2
- + M_{max} không phụ thuộc R_2'
- + M_{max} ở chế độ máy phát lớn hơn một ít so với chế độ động cơ.
- + R_2' càng lớn thì s_{th} càng lớn và s_{th} không phụ thuộc điện áp.
- + R_2' tăng thì M_{max} không đổi mà dịch sang phải.



Hình 7.13 Quan hệ $M = f(s)$

7.9.2. Mômen khởi động

Điểm $s = 1$ ($n = 0$) ứng với chế độ khởi động của động cơ:

$$M_K = \frac{m_1}{\Omega_1} \times \frac{U_1^2 R_2'}{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (7.43)$$

Ta nhận xét về M_K :

- + M_K tỉ lệ với U_1^2
- + M_K tỉ lệ nghịch với $Z_n^2 = R_n^2 + X_n^2$
- + Tìm $M_K = M_{\max}$ thì hệ số trượt $s_{th} = 1$ (hình 7.14a). Ta có:

$$s_{th} = \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} = 1 \quad (7.44)$$

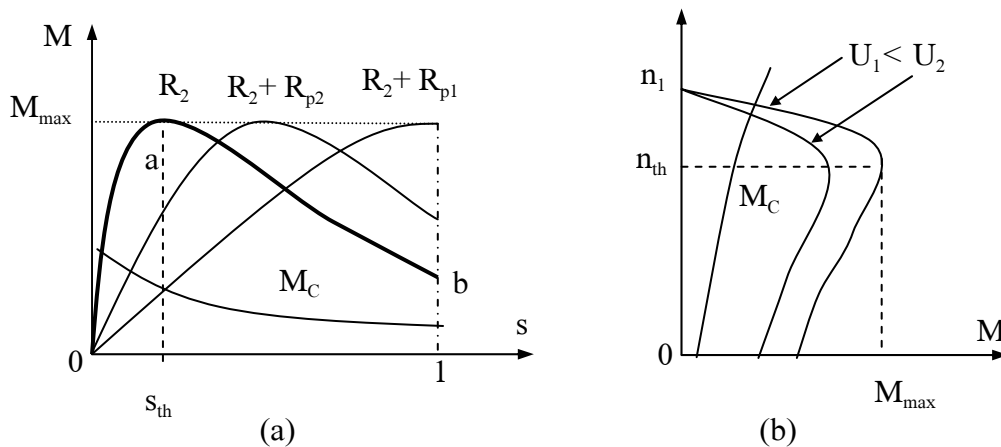
$R_2' = X_1 + X_2'$: đây là điện trở rôto để $M_K = M_{\max}$.

7.9.3. Đặc tính cơ của động cơ điện

Đặc tính cơ của động cơ điện là quan hệ $n = f(M_2)$ hoặc $M_2 = f(n)$. Mà ta có $M = M_0 + M_2$, ở đây ta xem $M_0 = 0$ hoặc chuyển M_0 về momen cản tĩnh M_C , vì vậy $M_2 = M = f(n)$.

Từ hình 7.13, ta xét chế độ động cơ nghĩa là $s = 0 \div 1$ (hình 7.14a). Nếu thay $s = (n_1 - n)/n_1$ ta sẽ có quan hệ $n = f(M_2)$ chính là đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 7.14b). Từ hình 7.14a, ta có :

- + Đoạn oa ($0 < s < s_{th}$): Động cơ làm việc ổn định. Đặc tính cơ cứng.
- + Đoạn ab ($s_{th} < s < 1$): Động cơ làm việc không ổn định.



Hình 7.14 Đặc tính động cơ không đồng bộ

a) Quan hệ momen theo hệ số trượt. b) Đặc tính cơ động cơ không đồng bộ

Đối với động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc, ta có ba thông số quan trọng ghi trong lý lịch máy là năng lực quá tải m_M , bội số momen khởi động m_K và bội số dòng điện khởi động m_I :

$$m_M = \frac{M_{\max}}{M_{dm}} (=1,7 \div 3); \quad m_K = \frac{M_K}{M_{dm}} (=1,1 \div 1,7); \quad m_I = \frac{I_K}{I_{dm}} (=1,1 \div 1,7)$$

7.10. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Dòng điện khởi động : Khi khởi động $\Omega = 0$, $s = 1$ nên:

$$I_K = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_n^2 + X_n^2)}} \quad (7.45)$$

Thường thì : $I_K = (4 \div 7)I_{dm}$ ứng với U_{dm} .

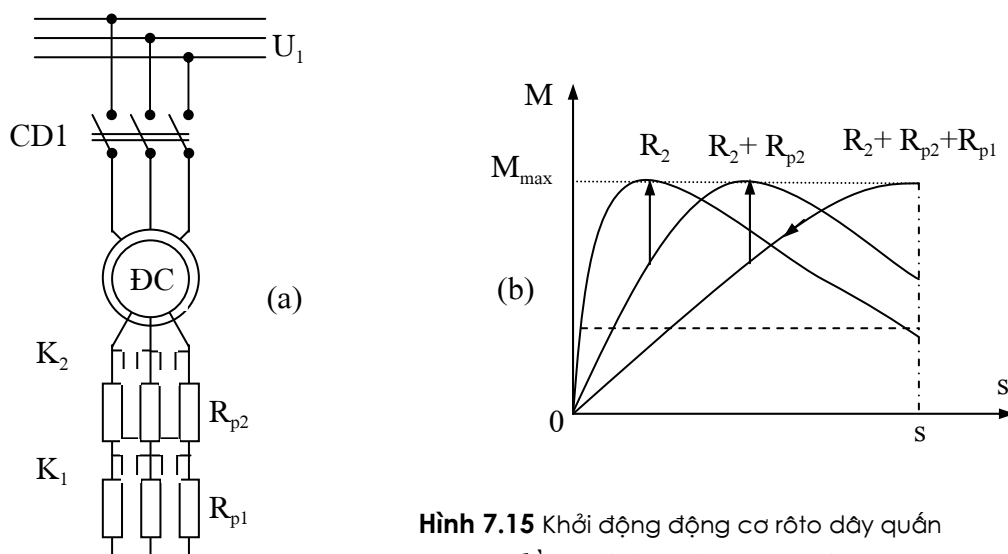
Yêu cầu khi ở máy:

- M_K phải lớn để thích ứng với đặc tính tải.
- I_K càng nhỏ càng tốt để không ảnh hưởng đến các phụ tải khác.
- Thời gian khởi động t_K cần nhỏ để máy có thể làm việc được ngay.
- Thiết bị khởi động đơn giản, rẻ tiền, tin cậy và ít tổn năng lượng.

Những yêu cầu trên là trái ngược nhau, vì thế tùy theo yêu cầu sử dụng, công suất động cơ và công suất của lưới điện mà ta chọn phương pháp khởi động thích hợp.

7.10.1. Khởi động động cơ rôto dây quấn

Khi khởi động dây quấn rôto được nối với các điện trở phụ R_{pK} (hình 7.15a). Đầu tiên K_1 và K_2 mở, động cơ khởi động qua điện trở phụ lớn nhất, sau đó đóng K_1 rồi K_2 giảm dần điện trở phụ về không. Đường đặc tính mômen ứng với các điện trở phụ khởi động R_{p1} và R_{p2} ở hình 7.15b.



Hình 7.15 Khởi động động cơ rôto dây quấn
a) Sơ đồ mạch lực ; b) Đặc tính mômen

Lúc khởi động $n = 0$ thì $s = 1$, muốn mômen khởi động $M_K = M_{\max}$ thì $s_{th} = 1$:

$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_{pK}}{X_1 + X'_2} = 1 \quad (7.46)$$

Từ đó xác định được điện trở khởi động ứng với mômen khởi động $M_K = M_{\max}$.

Khi có R_{pK} dòng điện khởi động là:

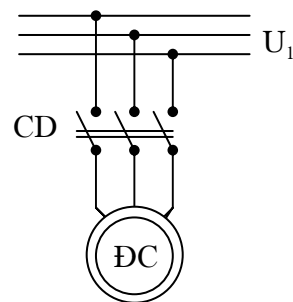
$$I_{Kp} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R_{pK})^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (7.47)$$

Nhờ có điện trở r_m dòng điện khởi động giảm xuống, mômen khởi động tăng, đó là ưu điểm lớn của động cơ rôto dây quấn.

7.10.2. Khởi động động cơ rôto lồng sóc

a. Khởi động trực tiếp:

Đóng cầu dao CD nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới điện (hình 7.16). Ưu điểm của phương pháp này là thiết bị khởi động đơn giản; mômen khởi động M_K lớn; thời gian khởi động t_K nhỏ. Còn khuyết điểm là dòng điện khởi động I_K lớn làm ảnh hưởng đến các phụ tải khác. Vì vậy nó chỉ được dùng cho những động cơ công suất nhỏ và công suất của nguồn $S_{nguồn}$ lớn hơn nhiều lần công suất động cơ $S_{d.cơ}$.



Hình 7.16 Khởi động trực tiếp

2. Khởi động bằng cách giảm điện áp đặt vào dây quấn stato:

Các phương pháp sau đây nhằm mục đích giảm dòng điện khởi động I_K . Nhưng khi giảm điện áp khởi động thì momen khởi động cũng giảm theo.

a. Khởi động dùng cuộn kháng mắc nối tiếp vào mạch stato:

Khi khởi động: CD2 cắt, đóng CD1 để nối dây quấn stator vào lưới điện thông qua điện kháng ĐK, động cơ quay ổn định, đóng CD2 để ngắn mạch cuộn kháng ĐK, nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới (hình 7.17).

Điện áp đặt vào dây quấn stato khởi động là:

$$U_K = kU_1 \quad (k < 1)$$

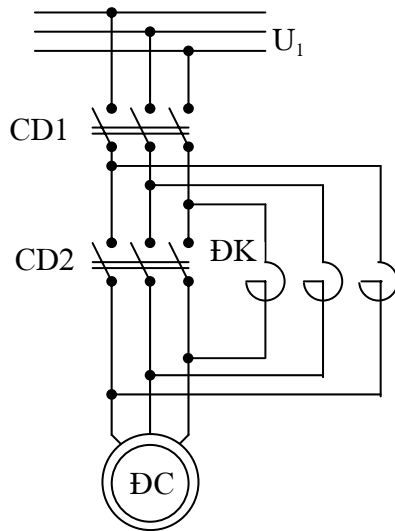
Dòng điện khởi động:

$$I'_K = kI_K$$

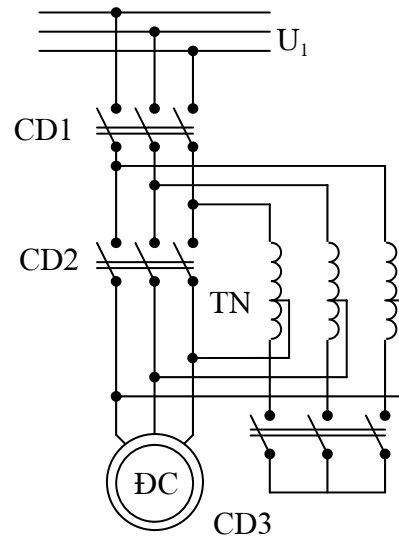
với I_K : dòng khởi động trực tiếp.

Mômen khởi động:

$$M_K = k^2 M_{K0}$$



Hình 7.17 Khởi động dùng điện kháng



Hình 7.18 Khởi động dùng BA TN

b. Khởi động dùng mba tử ngẫu:

Trước khi khởi động: cắt CD2, đóng CD3, MBA TN để ở vị trí điện áp đặt vào động cơ khoảng $0.6U_{dm}$, đóng CD1 để nối dây quấn stato vào lưới điện thông qua MBA TN, động cơ quay ổn định, cắt CD3, đóng CD2 để nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới (hình 7.18).

Khi khởi động, động cơ được cấp điện:

$$U_K = k_T U_1 \quad (k < 1)$$

Lúc đó dòng điện mm:

$$I'_K = k I_K$$

với I_K : dòng khởi động trực tiếp.

Dòng điện mba TN nhận từ lưới điện:

$$I_1 = k_T I'_K = k^2 I_K$$

Mômen khởi động:

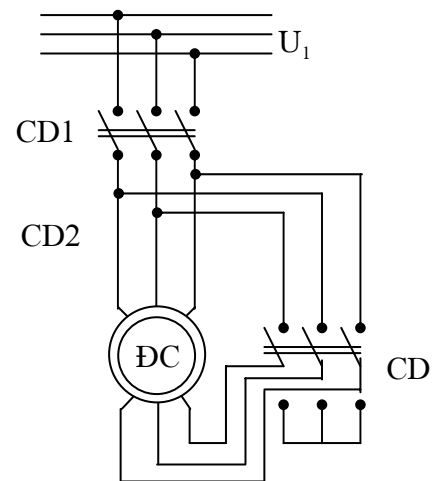
$$M'_K = k^2 M_K.$$

c. Khởi động bằng cách đổi nối $Y \rightarrow \Delta$:

Lúc máy làm việc bình thường động cơ nối tam giác Δ , khi khởi động nối hình sao Y , sau khi tốc độ quay gần ổn định chuyển về nối Δ để làm việc (hình 7.19).

Điện áp pha khi khởi động:

$$U'_{Kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_K$$



Hình 7.19 Khởi động đổi nối $Y \rightarrow \Delta$

Điện áp pha khi khởi động:

$$I_{KY} = I'_{Kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{Kf}$$

Điện áp pha khi khởi động trực tiếp:

$$I_{K\Delta} = \sqrt{3} I_{Kf}$$

Ta có:

$$\frac{I_{K\Delta}}{I_{KY}} = \frac{\sqrt{3} I_{Kf}}{\frac{I_{Kf}}{\sqrt{3}}} = 3$$

Còn mômen khởi động của động cơ M_K giảm đi 3 lần.

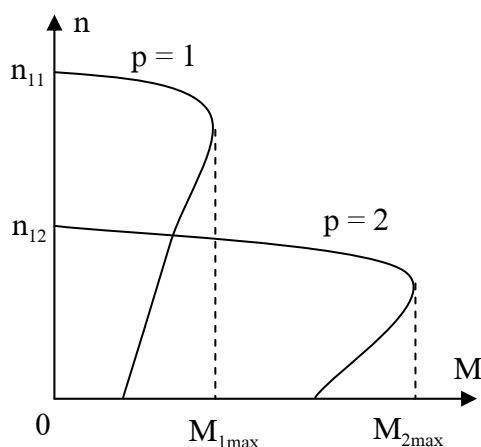
7.11. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ được cho bởi:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \text{ vg/ph}$$

Nhìn vào biểu thức trên ta thấy: động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc có thể điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi tần số dòng điện stato, đổi nối dây quấn stato để thay đổi số đôi cực từ p của từ trường hoặc thay đổi điện áp đặt vào dây quấn stato để thay đổi hệ số trượt s . Tất cả các phương pháp điều chỉnh đó đều thực hiện ở phía stato. Đối với động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn thường điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở mạch rôto để thay đổi hệ số trượt s , việc điều chỉnh được thực hiện ở phía rôto.

7.11.1. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực từ:



Hình 7.20. Đặc tính cơ ĐK có hai cực
đầu nối dây quấn thành bốn cực

Số cực của từ trường quay stato tùy thuộc vào cách đấu dây quấn stato. Bằng cách đấu lại dây quấn, một động cơ hai cực ($p = 1$) có thể thành bốn cực ($p = 2$). Động cơ không đồng bộ có cấu tạo dây quấn để thay đổi số đôi cực từ được gọi là động cơ nhiều cấp tốc độ. Phương pháp này chỉ dùng cho loại động cơ rôto lồng sóc.

Trên hình 7.20 trình bày hai đặc tính $M_1(n)$ và $M_2(n)$ ứng với hai tốc độ đồng bộ n_{11} và n_{12} .

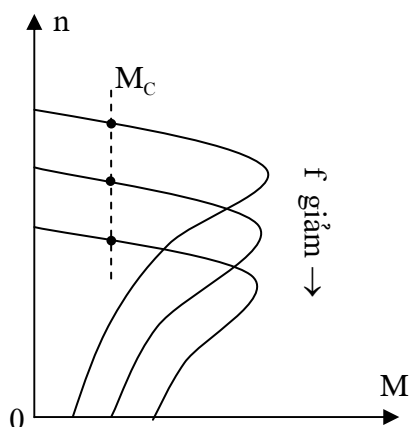
Theo công thức (7.3b) và (7.42), ta có:

$$n_{11} = 2n_{12} \text{ và } M_{2\max} = 2M_{1\max}.$$

7.11.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Từ công thức (7.12), nếu bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn, ta có :

$$\frac{U_1}{f_1} = 4,44 N_1 k_{dq1} \Phi_m$$



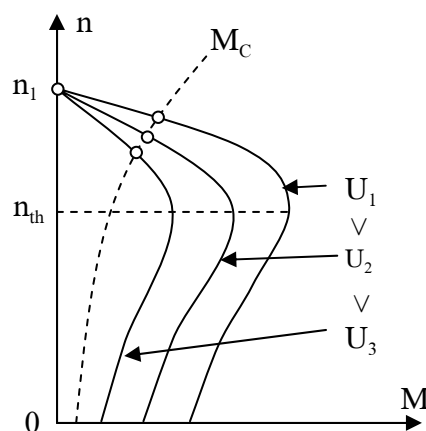
Hình 7.21. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Như vậy từ thông Φ_m tỉ lệ với tỉ số U_1/f . Muốn giữ Φ_m không đổi khi giảm f , ta phải đồng thời giảm U_1 sao cho tỉ số U_1/f không đổi (hình 7.21).

Cách điều chỉnh U_1/f không đổi thì mômen cực đại cũng không đổi và cách điều chỉnh này có các đặc tính thích hợp với loại tải cần mômen không đổi khi vận tốc thay đổi.

7.11.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp nguồn điện

Ta đã biết, hệ số trượt tới hạn s_{th} không phụ thuộc vào điện áp. Theo (7.50) và (7.55), nếu r'_2 không đổi thì khi giảm điện áp nguồn U_1 , hệ số trượt tới hạn s_{th} sẽ không đổi còn M_{max} giảm tỉ lệ với U_1^2 . Vậy họ đặc tính thay đổi như hình 7.22 làm cho tốc độ thay đổi theo. Phương pháp này chỉ thực hiện khi máy mang tải, còn khi máy không tải giảm điện áp nguồn, tốc độ động cơ gần như không đổi.



Hình 7.22 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp nguồn điện

7.11.4. Thay đổi điện trở rôto của động cơ rôto dây quấn

Thay đổi điện trở dây quấn rôto, bằng cách mắc thêm biến trở ba pha vào mạch rôto của động cơ rôto dây quấn như hình 7.15a.

Do biến trở điều chỉnh phải làm việc lâu dài nên có kích thước lớn hơn biến trở khởi động. Họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi dùng biến trở điều chỉnh tốc độ trình bày trên hình 7.15b. Ta thấy rằng khi tăng điện trở, tốc độ quay của động cơ giảm.

Phương pháp này gây tổn hao trong biến trở nên làm hiệu suất động cơ giảm. Tuy vậy, đây là phương pháp khá đơn giản, tốc độ được điều chỉnh liên tục trong phạm vi tương đối rộng nên được dùng nhiều trong các động cơ công suất cỡ trung bình.

7.12. CÁC ĐẶC TÍNH ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Đó là đồ thị cho biết sự thay đổi của dòng điện stato I_1 , tốc độ rôto n , momen quay M , hệ số công suất $\cos\varphi$ và hiệu suất η theo công suất hữu ích trên trục P_2 , khi điện áp U_1 và tần số f của nguồn không đổi (hình 7.23).

7.12.1. Đặc tính dòng điện stato $I_1 = f(P_2)$

Theo (7.22), dòng điện \dot{I}_1 là tổng vectơ của dòng điện không tải \dot{I}_0 và dòng điện làm việc (\dot{I}_2). Khi U_1 không đổi, I_0 cũng gần như không đổi và bằng khoảng $(20 \div 40)\%I_{dm}$. Khi P_2 tăng, dòng I_2 tăng nên I_1 tăng theo.

7.12.2. Đặc tính tốc độ $n = f(P_2)$.

Theo công thức hệ số trượt, ta có:

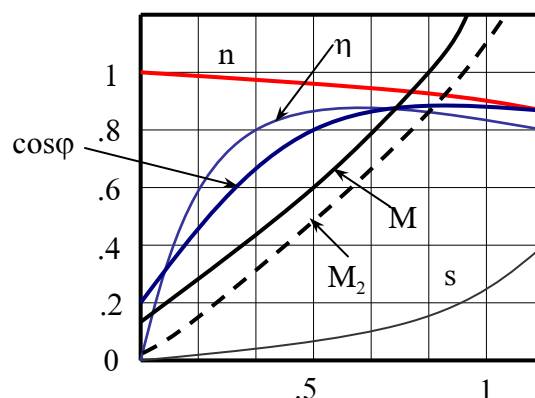
$$n = n_1(1-s)$$

trong đó : $s = p_{Cu2}/P_{dt}$. Khi không tải $p_{Cu2} \ll P_{dt}$ nên $s \approx 0$ động cơ điện quay gần tốc độ đồng bộ $n \approx n_1$. Khi mang tải thì tổn hao đồng cũng tăng lên n giảm một ít, nên đường đặc tính tốc độ là đường dốc xuống.

7.12.3. Đặc tính mômen $M = f(P_2)$.

Ta có $M = f(s)$ thay đổi rất nhiều.

Nhưng trong phạm vi $0 < s < s_{th}$ thì đường $M = f(s)$ gần giống đường thẳng, nên $M_2 = f(P_2)$ là đường thẳng.



Hình 7.23 Đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ.

7.12.4. Đặc tính hiệu suất $\eta = f(P_2)$.

Ta có hiệu suất của máy:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} 100\% \quad (7.48)$$

trong đó: $\sum p$ tổng tổn hao, nhưng ở đây chỉ có tổn hao đồng thay đổi theo phụ tải còn các tổn hao khác là không đổi.

7.12.5. Đặc tính hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$.

Hệ số công suất của máy điện không đồng bộ bằng:

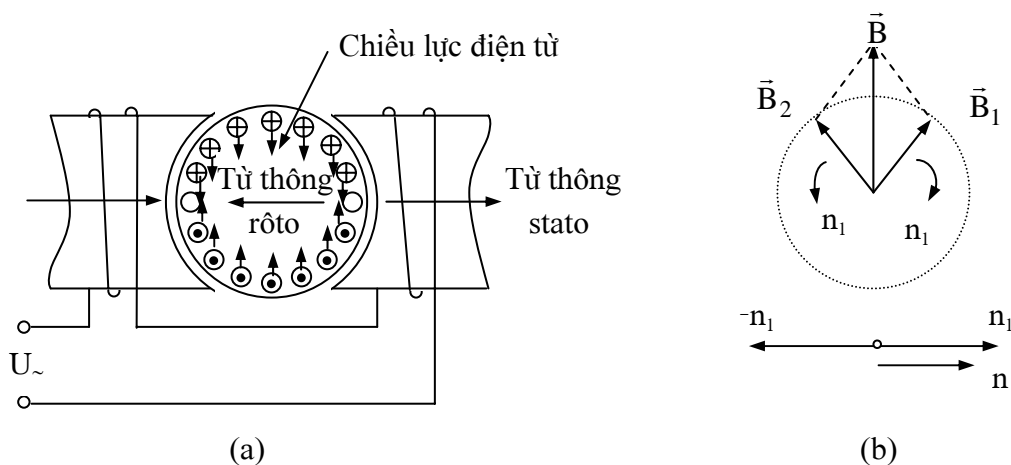
$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (7.49)$$

Vì máy điện không đồng bộ bằng luôn luôn nhận công suất phản kháng từ lưới. Lúc không tải hệ số công suất $\cos\varphi_0$ rất thấp thường nhỏ hơn 0,2. Khi tải tăng, P_1 tăng lên, nên $\cos\varphi$ cũng tăng cho đến $\cos\varphi = 0,8 \div 0,9$. Sau đó giảm xuống dần.

7.13. ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

7.13.1. Đại cương, cấu tạo, nguyên lý làm việc

Động cơ điện không đồng bộ một pha được sử dụng rất rộng rãi trong dân dụng và công nghiệp như máy giặt, tủ lạnh, máy bơm, quạt, các dụng cụ cầm tay,... Nói chung là các động cơ công suất nhỏ. Cụm từ "động cơ công suất nhỏ" chỉ các động cơ có công suất nhỏ hơn 750W. Phần lớn động cơ một pha thuộc loại này, mặc dù chúng còn được chế tạo với công suất đến 7,5kW và ở hai cấp điện áp 110V và 220V.



Hình 7.24 Động cơ không đồng bộ một pha một dây quấn

a) Từ thông và lực điện từ tác dụng lên rôto.

b) Từ trường đập mạch được phân thành hai từ trường quay thuận và quay ngược

Về cấu tạo, stato giống động cơ không đồng bộ ba pha nhưng trên đó ta đặt dây quấn một pha và được cung cấp bởi nguồn điện xoay chiều một pha; còn rôto thường là rôto lồng sóc (hình 7.24a).

Cho dòng điện xoay chiều hình sin chạy vào dây quấn stato thì từ trường stato có phương không đổi nhưng có độ lớn thay đổi hình sin theo thời gian, gọi là từ trường đập mạch:

$$B = B_m \sin \omega t \cos \alpha \quad (7.50)$$

Từ trường này sinh ra dòng điện cảm ứng trong các thanh dẫn dây quấn rôto, các dòng điện này sẽ tạo ra từ thông rôto mà theo định luật Lenz, sẽ chống lại từ thông stato. Từ đó ta xác định được chiều dòng điện cảm ứng và chiều của lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn rôto. Ta thấy momen tổng tác dụng lên rôto bằng không và do đó rôto không thể tự quay được. Để động cơ có thể làm việc được, trước hết ta phải quay rôto theo một chiều nào đó và sau đó động cơ sẽ tiếp tục quay theo chiều đó.

Để thấy rõ nguyên lý làm việc của động cơ, ta xem hình 7.24b, ta thấy từ trường đập mạch \vec{B} là tổng của hai từ trường quay \vec{B}_1 và \vec{B}_2 cùng tốc độ quay n_1 nhưng biên độ bằng một nửa từ trường đập mạch và quay ngược chiều nhau:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (7.51)$$

với $B_{1m} = B_{2m} = B_m/2 \quad (7.52)$

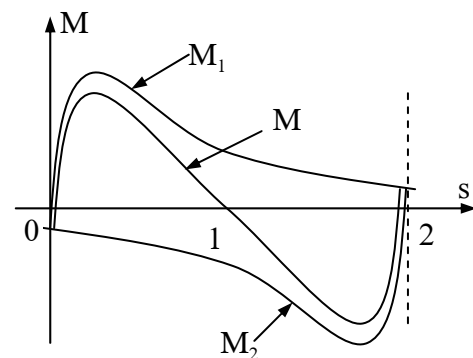
và $n_1 = \frac{60f}{p} \quad (7.53)$

- Từ trường quay \vec{B}_1 quay cùng chiều với rôto lúc động cơ làm việc, gọi là từ trường quay thuận.
- Từ trường quay \vec{B}_2 quay ngược chiều với rôto lúc động cơ làm việc, gọi là từ trường quay ngược.

Từ trường quay thuận \vec{B}_1 tác dụng với dòng điện rôto sẽ tạo ra momen quay thuận M_1 (hình 7.25); Còn từ trường quay ngược \vec{B}_2 tác dụng với dòng điện rôto sẽ tạo ra momen quay ngược M_2 (hình 7.25). Tổng đại số hai momen này cho ta đặc tuyến $M = f(s)$:

$$M = M_1 + M_2 = f(s)$$

Từ đặc tính hình 7.25, ta thấy



Hình 7.25 Mômen của động cơ không đồng bộ một pha

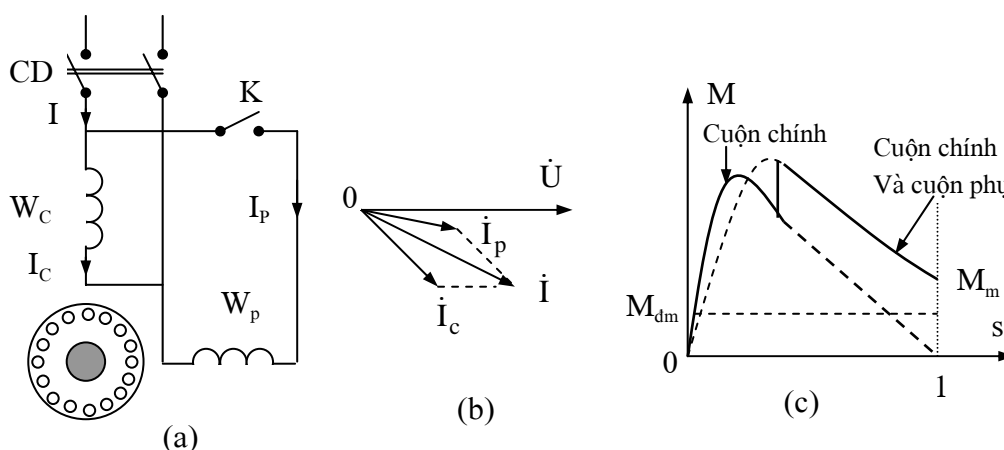
rằng lúc khởi động ($n = 0, s = 1$), $M_1 = M_2$ và ngược chiều nhau nên mômen tổng $M = 0$, vì vậy động cơ không thể tự quay được. Nếu ta quay động cơ theo một chiều nào đó, $s \neq 1$ tức $M \neq 0$ động cơ sẽ tiếp tục quay theo chiều đó.

Vì vậy để động cơ một pha làm việc được, ta phải có biện pháp khởi động, nghĩa là tìm cách tạo ra cho động cơ một momen lúc rôto đứng yên ($M = M_K$ khi $s = 1$).

7.13.2. Động cơ dùng dây quấn phụ khởi động (hình 7.26)

Loại động cơ này được dùng khá phổ biến như máy điều hòa, máy giặt, dụng cụ cầm tay, quạt, bơm ly tâm ...

Các phần chính của loại động cơ này cho trên hình 7.26a, gồm dây quấn chính W_c (dây quấn làm việc), dây quấn phụ (dây quấn khởi động W_m). Hai cuộn dây này đặt lệch nhau một góc 90° điện trong không gian. Và rôto lồng sóc.



Hình 7.26 Động cơ dùng dây quấn phụ. a) Sơ đồ kết cấu. b) Đồ thị vectơ lúc khởi động. c) Đặc tính $M = f(s)$

Để có được mômen khởi động, người ta tạo ra góc lệch pha giữa dòng điện qua cuộn chính I_c và dòng qua cuộn dây phụ I_p bằng cách mắc thêm một điện trở nối tiếp với cuộn phụ hoặc dùng dây quấn cỡ nhỏ hơn cho cuộn phụ, góc lệch này thường nhỏ hơn 30° . Dòng trong dây quấn chính và trong dây quấn phụ sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen khởi động. Đồ thị vectơ lúc khởi động được trình bày trên hình 7.26b.

Khi tốc độ đạt được $70 \div 75$ % tốc độ đồng bộ, cuộn dây phụ được cắt ra nhờ công tắc ly tâm K và động cơ tiếp tục làm việc với cuộn dây chính. Đặc tính momen được trình bày trên hình 7.26c.

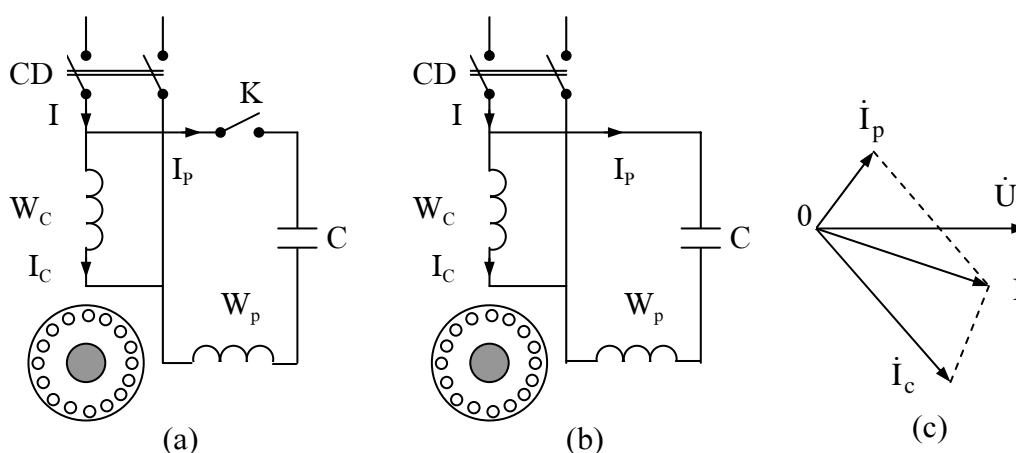
7.13.3. Động cơ dùng tụ điện (hình 7.27)

Các động cơ không đồng bộ một pha có cuộn dây phụ được mắc nối tiếp với một tụ điện được gọi là động cơ tụ điện. Loại động cơ này có cuộn dây phụ bố trí lệch so với cuộn dây chính một góc 90° điện trong không gian, để tạo góc lệch về thời gian ta mắc nối tiếp với cuộn dây phụ một tụ điện. Nếu tụ điện mắc nối tiếp với cuộn phụ chọn giá trị thích hợp thì góc lệch pha giữa I_C và I_p là gần 90° (hình 7.27b). Tùy theo yêu cầu về momen khởi động và momen lúc làm việc, ta có các loại động cơ tụ điện như sau:

1. Động cơ dùng tụ điện khởi động (hình 7.27a). Khi khởi động tốc độ động cơ đạt đến $75 \div 85\%$ tốc độ động bộ, công tắc K mở ra và động cơ sẽ đạt đến tốc độ ổn định.

2. Động cơ dùng tụ điện thường trực (hình 7.27b). Cuộn dây phụ và tụ điện khởi động được mắc luôn khi động cơ làm việc bình thường. Loại này có công suất thường nhỏ hơn 500W và có đặc tính cơ tốt.

Ngoài ra, để cải thiện đặc tính làm việc và momen khởi động ta dùng động cơ hai tụ điện. Một tụ điện khởi động khá lớn (khoảng $10 \div 15$ lần tụ điện thường trực) được ghép song song với tụ điện thường trực. Khi khởi động tốc độ động cơ đạt đến $75 \div 85\%$ tốc độ động bộ, tụ điện khởi động được cắt ra khỏi cuộn phụ, chỉ còn tụ điện thường trực nối với cuộn dây phụ khi làm việc bình thường.



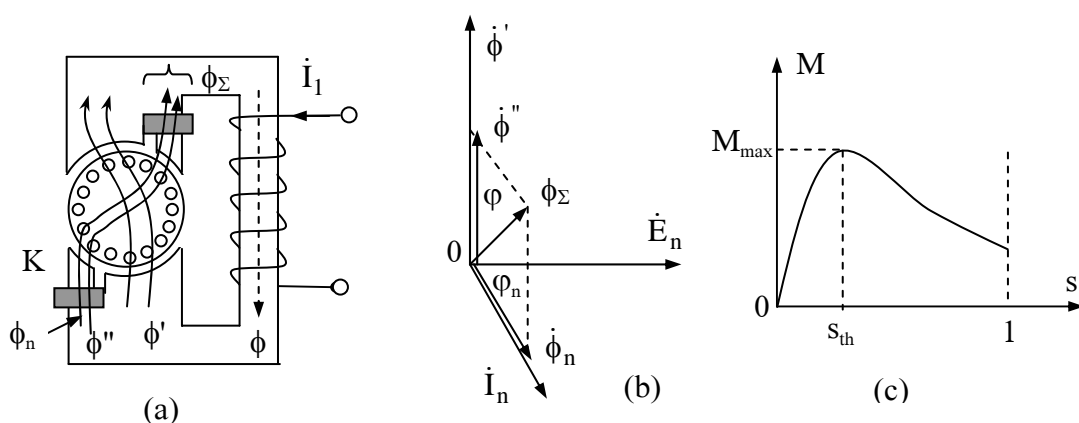
Hình 7.27 Động cơ một pha dùng tụ điện.
a) Tụ điện khởi động. b) Tụ điện thường trực. c) Đồ thị vectơ.

7.13.4. Động cơ có vòng ngắn mạch ở cực từ (hình 7.28).

Hình 7.28a cho thấy cấu tạo loại động cơ này. Trên stato ta đặt dây quấn một pha và cực từ được chia làm hai phần, phần có vòng ngắn mạch K ôm $1/3$ cực từ và

rôto lồng sóc. Dòng điện chạy trong dây quấn stato \dot{I}_1 tạo nên từ thông $\dot{\phi}'$ qua phần cực từ không vòng ngắn mạch và từ thông $\dot{\phi}''$ qua phần cực từ có vòng ngắn mạch. Từ thông $\dot{\phi}''$ cảm ứng trong vòng ngắn mạch sđđ \dot{E}_n , chậm pha so với $\dot{\phi}''$ một góc 90° (hình 7.28b). Vòng ngắn mạch có điện trở và điện kháng nên tạo ra dòng điện \dot{I}_n chậm pha so với \dot{E}_n một góc $\varphi_n < 90^\circ$. Dòng điện \dot{I}_n tạo ra từ thông $\dot{\phi}_n$ và ta có từ thông tổng qua phần cực từ có vòng ngắn mạch :

$$\dot{\phi}_\Sigma = \dot{\phi}'' + \dot{\phi}_n$$



Hình 7.28 Động cơ KĐ một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ
a) Cấu tạo. b) Đồ thị vectơ. c) Đặc tính mômen

Từ thông này lệch pha so với từ thông qua phần cực từ không có vòng ngắn mạch một góc là φ . Do từ thông $\dot{\phi}'$ và $\dot{\phi}_\Sigma$ lệch nhau trong không gian nên chúng tạo ra từ trường quay và làm quay rôto. Loại động cơ này có mômen khởi động khá nhỏ $M_K = (0,2-0,5)M_{dm}$, hiệu suất thấp (từ 25 - 40%), thường chế tạo với công suất 20 - 30W, đôi khi cũng có chế tạo công suất đến 300W và hay sử dụng làm quạt bàn, quạt trần, máy quạt đĩa ...



BÀI TẬP

Bài 7.1. Động cơ không đồng bộ ba pha 12 cực từ, tần số 50Hz. Động cơ sẽ ququây với tốc độ bao nhiêu nếu hệ số trượt bằng 0,06 ?

Bài 7.2 Động cơ không đồng bộ ba pha 3 đôi cực từ, tần số 50Hz, quay với tốc độ 960vg/ph. Hãy xác định :

1. Vận tốc đồng bộ ?
2. Tần số dòng điện rotor ?
3. Vận tốc tương đối của rotor so với từ trường quay ?.

Bài 7.3. Động cơ không đồng bộ ba pha, tần số 50Hz, quay với tốc độ gần bằng 1000vg/ph lúc không tải và 970vg/ph lúc đầy tải.

1. Động cơ có bao nhiêu cực từ ?
2. Tính hệ số trượt lúc đầy tải ?
3. Tìm tần số điện áp trong dây quấn rotor lúc đầy tải ?
4. Tính tốc độ của :
 - a. Từ trường quay của rotor so với rotor ?
 - b. Từ trường quay của rotor so với stator ?.
 - c. Từ trường quay của rotor so với từ trường quay stator ?.

Bài 7.4. Động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn, tần số 50Hz, 6 cực từ 220V có stator đấu Δ và rotor đấu Y. Số vòng dây rotor bằng 80% số vòng dây stator. Khi hệ số trượt bằng 0,04. Hãy tính điện áp giữa hai vành trượt của rotor ?

Bài 7.5 Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn, tần số 50Hz, 6 cực từ 220V có stator đấu Δ và rotor đấu Y. Số vòng dây rotor bằng một nửa số vòng dây stator. Khi hệ số trượt bằng 0,04. Hãy tính điện áp và tần số giữa các vành trượt nếu :

- a. Rotor đứng yên ?
- b. Hệ số trượt rotor bằng 0,04 ?
- c. Rotor được quay với máy khác theo chiều ngược chiều từ trường quay ?.

Bài 7.6. Tốc độ đầy tải của động cơ không đồng bộ tần số 50Hz tần số 50Hz là 460vg/ph. Tìm số cực từ và hệ số trượt lúc đầy tải ?

Bài 7.7 Một động cơ không đồng bộ ba pha 15hp, tần số 50Hz, 6 cực từ, 220V có stator đấu Y. Có các thông số mạch qui đổi về stator như sau :

$$R_1 = 0,126 \, \Omega ; \quad R'_2 = 0,094 \, \Omega ; \quad R_m = 57 \, \Omega ; \quad X_n = 0,46 \, \Omega ; \quad X_m = 9,8 \, \Omega ;$$

Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 280W có thể xem như không đổi.

Khi hệ số trượt bằng 0,03, hãy dùng mạch điện thay thế gần đúng hình 3.8a để tính :

- a. Dòng điện dây và hệ số công suất của động cơ ?
- b. Công suất ra và moment của động cơ ?
- c. Hiệu suất của động cơ ?

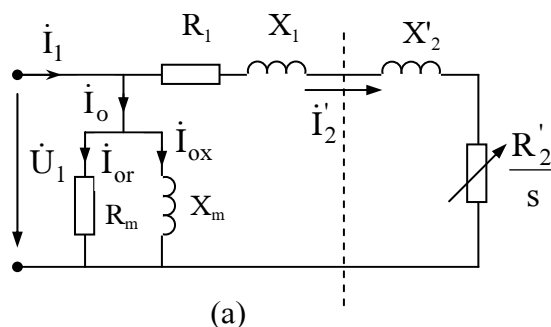
Bài 7.8. Một động cơ không đồng bộ ba pha 125hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, 440V có stator đấu Y. Các thông số mạch của động cơ qui đổi về stator như sau :

$R_1 = 0,068 \, \Omega$; $R'_2 = 0,052 \, \Omega$; $R_m = 54 \, \Omega$; $X_1 = X'_2 = 0,224 \, \Omega$; $X_m = 3,68 \, \Omega$;

Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 1200W có thể xem như không đổi.

Khi hệ số trượt $s = 0,03$, hãy dùng mạch điện thay thế gần đúng hình BT 7.8 để tính:

- Dòng điện dây và hệ số công suất của động cơ ?
- Công suất ra và moment trên đầu trục của động cơ ?
- Hiệu suất của động cơ ?



Hình BT 7.8 Sơ đồ thay thế gần đúng máy điện không đồng bộ

Bài 7.9. Một động cơ không đồng bộ ba pha 125hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, 440V có stator đấu Y. Các thông số mạch của động cơ quy đổi về stator như sau :

$R_1 = 0,068 \, \Omega$; $R'_2 = 0,052 \, \Omega$; $R_m = 54 \, \Omega$; $X_1 = X'_2 = 0,224 \, \Omega$; $X_m = 7,68 \, \Omega$;

Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 1200W có thể xem như không đổi.

Khi hệ số trượt bằng 0,03, hãy dùng mạch điện thay thế gần đúng hình 3.8a để tính :

- Hệ số trượt tối hạn và moment cực đại của động cơ ?
- Dòng điện khởi động và moment khởi động của động cơ ?
- Dòng điện ứng với moment cực đại ?

Bài 7.10. Nhãn của một động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có ghi các số liệu như sau : 25 hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, dòng 64A, 440V có stator đấu Y. Giả sử động cơ tiêu thụ công suất từ lưới điện 20,8kW khi làm việc ở chế độ định mức. Hãy tính :

- Hệ số trượt định mức của động cơ ?
- Hệ số công suất định mức của động cơ ?
- Moment định mức ?

Bài 7.11. Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có ghi các số liệu như sau : 25 hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, điện áp 440V, stator đấu Y. Động cơ có moment khởi động bằng 112N.m và moment định mức bằng 83N.m. Dòng điện khởi động trực tiếp là 128A khi nối vào lưới điện có điện áp định mức. Hãy tính :

- Moment khởi động khi điện áp giảm còn 300V ?
- Điện áp cần cung cấp cho động cơ để moment khởi động bằng moment định mức của động cơ ?
- Dòng điện khởi động khi điện áp giảm còn 300V ?
- Điện áp cần cung cấp cho động cơ để dòng khởi động không quá 32A ?

Bài 7.12. Một động cơ không đồng bộ ba pha tần số 50Hz, 4 cực từ, 220V có các thông số mạch của động cơ qui đổi về stator như sau :

$$R_1 = 0,3 \, \Omega ; R'_2 = 0,2 \, \Omega ; X_1 = X'_2 = 1 \, \Omega ; G_m = 20 \, \text{mS} ; B_m = 60 \, \text{mS} ;$$

- Tính tốc độ và dòng điện trong dây quấn stator khi khi $s = 0,02$?
- Tính hệ số công suất và công suất ra của động cơ khi $s = 0,05$?

Bài 7.13. Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn có 500hp, tần số 25Hz, 12 cực từ, điện áp 2200V có stator đấu Y. Các thông số mạch của động cơ qui đổi về stator như sau :

$$R_1 = 0,225 \, \Omega ; R'_2 = 0,235 \, \Omega ; R_m = 780 \, \Omega ; X_n = 1,43 \, \Omega ; X_m = 31,75 \, \Omega ;$$

- Tính dòng điện không tải và công suất vào động cơ khi điện áp bằng định mức. Giải sử tổn hao ma sát bằng tổn hao thép của động cơ ?
- Giữ không cho rotor quay. Hãy tính điện áp cung cấp cho động cơ stator sao cho dòng dây bằng 228A. Tính công suất tiêu thụ bởi động cơ ?
- Tìm mômen cực đại và hệ số trượt, dòng điện dây và hệ số công suất tương ứng ?
- Tìm trị số điện trở phụ phải đưa vào mạch rotor để moment khởi động bằng moment cực đại và tính moment này ?



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Chương 8

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.1. ĐẠI CƯƠNG

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 n luôn không đổi.

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của lưới điện các quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là tuabin hơi, tuabin nước hoặc tuabin khí. Các máy phát thường nối làm việc song song với nhau. Công suất của một máy phát đã chế tạo trên 1200MW.

Còn động cơ điện đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW và với yêu cầu tốc độ không đổi. Động cơ điện đồng bộ dùng trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, máy bơm, khí nén, quạt gió...

8.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của máy điện đồng bộ gồm có hai bộ phận chính là stato và rôto.

8.2.1. Stato (phần ứng)

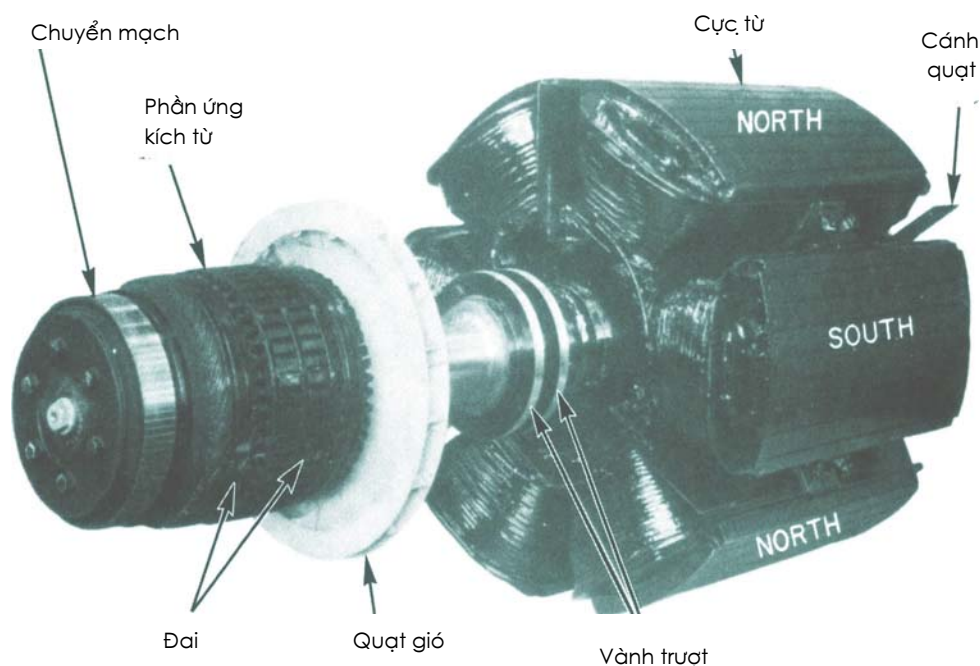
Stato của máy điện đồng bộ giống như stato của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stato và dây quấn ba pha stato (xem lại phần máy điện không đồng bộ). Dây quấn stato còn gọi là dây quấn phần ứng.

8.2.2. Rôto (phần cảm)

Rôto của máy điện đồng bộ là nam châm điện gồm có lõi sắt và dây quấn kích thích. Dòng điện đưa vào dây quấn kích thích là dòng điện một chiều. Rôto của máy điện đồng bộ có hai kiểu là rôto cực lõi và rôto cực ẩn.

1. Rôto cực lõi:

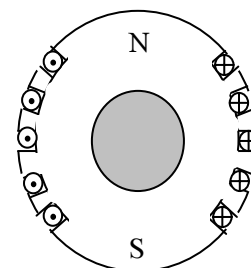
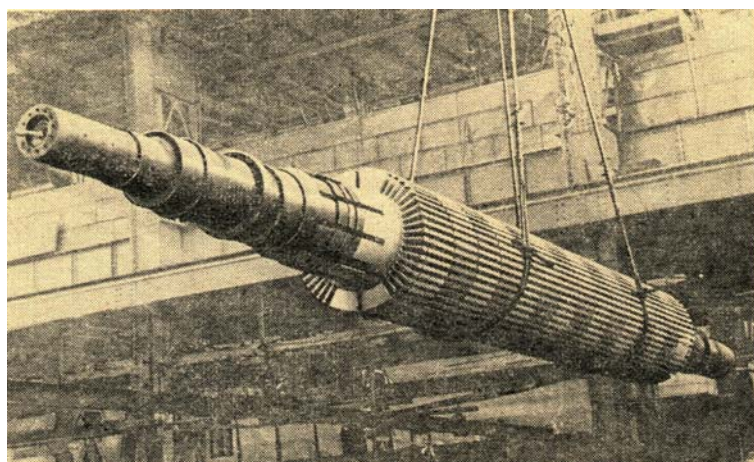
Dạng mặt cực để khe hở không khí không đều, mục đích là làm cho từ cảm phân bố trong khe hở không khí hình sin để sđd cảm ứng ở dây quấn stato hình sin (hình 8.1). Loại rôto này dùng ở các máy phát có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực như máy phát kéo bởi tuốc bin thủy điện.



Hình 8.1 Rôto cực lõi

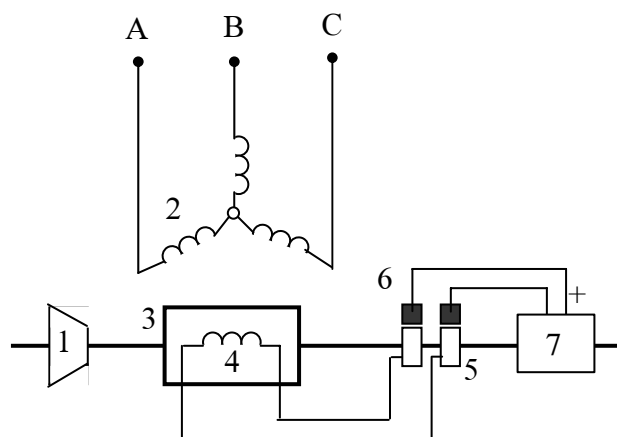
2. Rôto cực ẩn:

Khe hở không khí đều và rôto chỉ có hai cực hoặc bốn cực (hình 8.2). Loại rôto cực ẩn được dùng ở các máy có tốc độ cao như các máy kéo bởi tuốc bin nhiệt điện. Vì tốc độ cao nên để chống lực ly tâm, rôto được chế tạo nguyên khối có đường kính nhỏ.



Hình 8.2 Lõi thép và mặt cắt ngang rotor của máy điện đồng bộ cực ẩn

8.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ



Hình 8.3 Sơ đồ nguyên lý của MF đồng bộ ba pha

1. Động cơ sơ cấp (tuabin hơi); 2. Dây quấn stato; 3. Rôto của máy phát đồng bộ; 4. Dây quấn rôto; 5. Vành trượt; 6. Chổi than tỳ lên vành trượt; 7. Máy phát điện một chiều nối cùng trục với máy phát điện đồng bộ.

Động cơ sơ cấp 1 (tuabin hơi) quay rôto máy phát điện đồng bộ đến gần tốc độ định mức (hình 8.3), máy phát điện một chiều 7 được thành lập điện áp và cung cấp dòng điện một chiều cho dây quấn kích thích 4 máy phát điện đồng bộ thông qua chổi than 5 và vành góp 6, rôto 3 của máy phát điện đồng bộ trở thành nam châm điện. Do rôto quay, từ trường rôto quét qua dây quấn phần ứng stato và cảm ứng ra sđd xoay chiều hình sin, có trị số hiệu dụng là:

$$E_0 = \pi\sqrt{2}fNk_{dq}\Phi_0 \quad (8.1)$$

Trong đó: E_0 là sđd pha; N là số vòng dây của một pha; k_{dq} là hệ số dây quấn; Φ_0 từ thông cực từ rôto.

Nếu rôto có số đôi cực từ là p , quay với tốc độ n thì sđd cảm ứng trong dây quấn stato có tần số là:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (8.2a)$$

Hoặc

$$n = \frac{60f}{p} \text{ (vg/ph)} \quad (8.2b)$$

Khi dây quấn stato nối với tải, trong dây quấn sẽ có dòng điện ba pha chạy qua. Hệ thống dòng điện này sẽ sinh ra từ trường quay, gọi là từ trường phản ứng, có tốc độ là :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vg/ph)} \quad (8.2c)$$

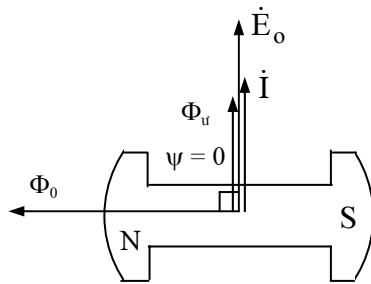
Từ (8.2b) và (8.2c), ta thấy tốc độ rôto n bằng tốc độ từ trường quay trong máy n_1 , nên gọi là *máy điện đồng bộ*.

8.4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

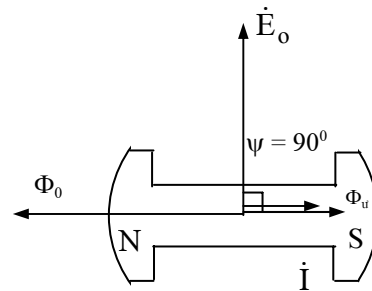
Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ Φ_0 cắt dây quấn stato và cảm ứng sđd E_0 chậm pha so với từ thông Φ_0 góc 90° (hình 8.4a). Dây quấn stato nối với tải nên có dòng điện I cung cấp cho tải. Dòng điện I chạy trong dây quấn stato tạo nên từ trường quay phản ứng. Từ trường phản ứng quay đồng bộ với từ trường cực từ Φ_0 . Góc lệch pha giữa E_0 và I do tính chất tải quyết định. Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

Trường hợp tải thuần trở (hình 8.4a) : E_0 và I trùng pha nên $\psi = 0$. Dòng điện I sinh ra từ thông phản ứng Φ_u cùng pha với dòng điện. Từ thông phản ứng theo hướng ngang trục, ta gọi là phản ứng phần ứng ngang trục. Từ thông này làm méo từ trường cực từ.

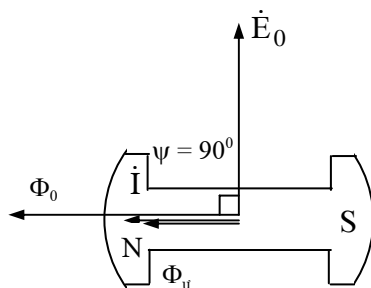
Trường hợp tải thuần cảm (hình 8.4b): E_0 và I lệch pha nhau một góc $\psi = 90^\circ$. Dòng điện I sinh ra từ thông phản ứng Φ_u ngược chiều với Φ_0 ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trục khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng.



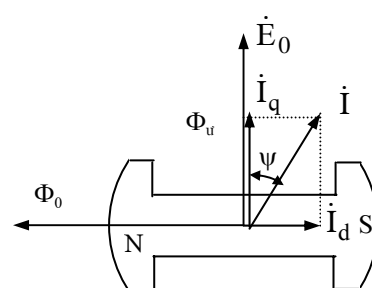
Hình 8.4a Tải thuần trở $\psi = 0$



Hình 8.4b Tải thuần cảm $\psi = 90^\circ$



Hình 8.4c Tải thuần dung $\psi = -90^\circ$



Hình 8.4d Tải hỗn hợp $\psi > 0$

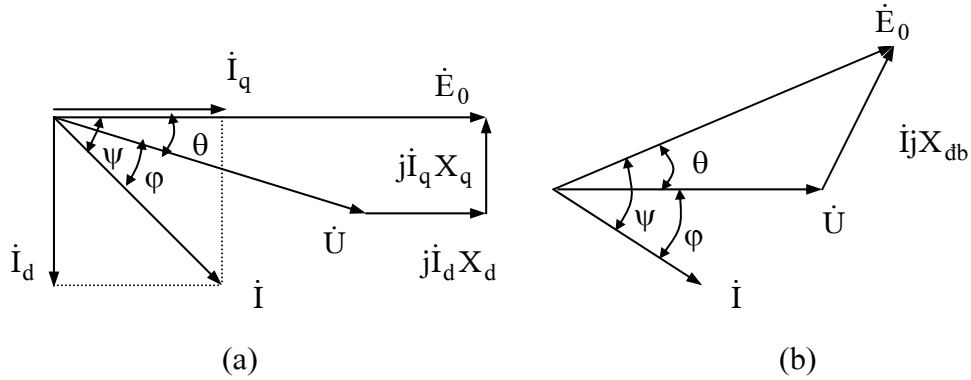
Trường hợp tải thuần dung (hình 8.4c): E_0 và I lệch pha nhau một góc $\psi = -90^\circ$. Dòng điện I sinh ra từ thông phần ứng Φ_u cùng chiều với Φ_0 ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trục từ, có tác dụng làm tăng từ trường tổng.

Trường hợp tải hỗn hợp (hình 8.4d, tải có tính cảm : $0 < \psi < \pi/2$) : E_0 và I lệch pha nhau một góc ψ . Ta phân tích dòng điện I làm hai thành phần: Thành phần dọc trục $I_d = I \sin \psi$ sinh ra từ thông phần ứng dọc trục Φ_{ud} cùng chiều với Φ_0 và thành phần ngang trục $I_q = I \cos \psi$ sinh ra từ thông phần ứng ngang trục Φ_{uq} vuông góc với Φ_0 ta gọi chung là phản ứng phần ứng ngang trục khử từ. Trường hợp tải có tính dung ($-\pi/2 < \psi < 0$), phản ứng phần ứng ngang trục trợ từ.

8.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.5.1. Phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện cực lồi

Khi máy phát điện làm việc từ thông cực từ Φ_0 sinh ra sđđ E_0 ở dây quấn stato. Khi máy có tải dòng điện I trong dây quấn stato sinh ra từ trường phần ứng Φ_u . Ở máy cực lồi do khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau nên ta phân tích Φ_u thành hai thành phần: dọc trục Φ_{ud} và ngang trục Φ_{uq} . Từ trường phần ứng ngang trục Φ_{uq} tạo nên sđđ ngang trục $\dot{E}_q = -j\dot{I}_q X_{uq}$, với X_{uq} là điện kháng phản ứng phần ứng ngang trục và từ trường phần ứng dọc trục Φ_{ud} tạo nên sđđ dọc trục $\dot{E}_d = -j\dot{I}_d X_{ud}$, với X_{ud} là điện kháng phản ứng phần ứng dọc trục.



Hình 8.5 Đồ thị vectơ máy phát điện đồng bộ
a. Máy cực lồi; b. Máy cực ẩn

Ngoài ra dòng điện tải I còn sinh ra từ thông tản của dây quấn stato được đặc trưng bởi điện kháng tản X_t không phụ thuộc hướng dọc trục hoặc ngang trục, tương ứng có sđđ tản là :

$$\dot{E}_t = -j\dot{I}X_t = -j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t \quad (8.3)$$

Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi :

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_{ud} - j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_{uq} - j\dot{I}_q X_t$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d(X_{ud} + X_t) - j\dot{I}_q(X_{uq} + X_t) \quad (8.4)$$

Bỏ qua điện áp rơi trên điện trở dây quấn phần ứng $\dot{I}R_u$, ta có :

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q \quad (8.5)$$

trong đó: $X_d = X_{ud} + X_t$ là điện kháng đồng bộ dọc trục;

$X_q = X_{uq} + X_t$ là điện kháng đồng bộ ngang trục.

Phương trình (8.5) tương ứng với đồ thị vectơ của máy phát điện đồng bộ cực lỗi, hình 8.5a.

Từ phương trình điện áp và đồ thị vectơ ta thấy góc lệch pha giữa sđđ E_0 và điện áp U gọi là góc công suất θ , do phụ tải quyết định.

8.5.2. Phương trình điện áp của máy phát điện cực ẩn

Đối với máy phát đồng bộ cực ẩn là trường hợp đặc biệt của máy phát cực lỗi, trong đó $X_{db} = X_d = X_q$, gọi là điện kháng đồng bộ. Phương trình điện áp của máy phát điện cực ẩn có thể viết là:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}X_{db} \quad (8.6)$$

Đồ thị vectơ của nó được trình bày trên hình 8.5.b.

8.6. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.6.1. Công suất tác dụng

1. Máy phát cực lỗi

Công suất tác dụng của máy phát điện cung cấp cho tải là

$$P = mUI\cos\varphi \quad (8.7)$$

Trong đó: U , I tương ứng là điện áp pha, dòng điện pha. Còn m là số pha.

Theo đồ thị vectơ hình 8.5a, ta có $\varphi = \psi - \theta$, do đó :

$$P = mUI\cos\varphi = mUI\cos(\psi - \theta) = mUI\cos\psi\cos\theta + mUI\sin\psi\sin\theta.$$

$$P = mUI_q\cos\theta + mUI_d\sin\theta \quad (8.8)$$

với $I\cos\psi = I_q$ và $I\sin\psi = I_d$.

Theo đồ thị vectơ hình 8.5a, ta rút ra:

$$I_q = \frac{U\sin\theta}{X_q} \quad \text{và} \quad I_d = \frac{E_0 - U\cos\theta}{X_d}$$

Thế biểu thức I_q và I_d vào phương trình (8.8), sau một vài biến đổi và bỏ qua tổn hao, ta có công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lỗi:

$$P_{dt} = mU \frac{E_0}{X_d} \sin\theta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (8.9)$$

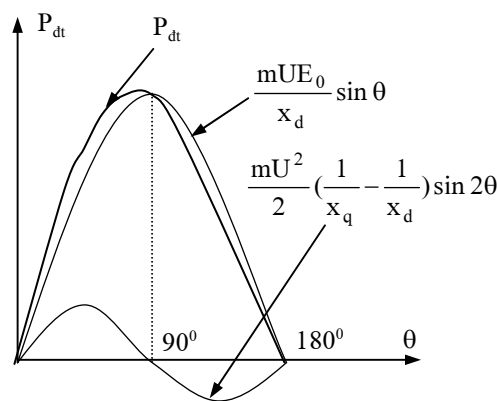
Ta thấy công suất điện từ gồm hai thành phần (hình 8.6):

- Thành phần $\frac{mUE_0}{X_d} \sin \theta$ do dòng điện kích từ tạo nên tỉ lệ với $\sin \theta$. Đó là

thành phần công suất chủ yếu của máy phát.

- Thành phần $m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$

không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ xuất hiện khi $X_q \neq X_d$. Do đó người ta chế tạo động cơ điện đồng bộ với rôto có khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau mà không cần dòng điện kích từ, do ảnh hưởng của thành phần công suất này cũng tạo nên được mômen quay, đó là nguyên lý của động cơ điện phản kháng.



Hình 8.6 Đặc tính góc công suất máy phát cực lõi

Đặc tính $P = f(\theta)$ gọi là đặc tính góc công suất. Máy phát làm việc ổn định khi θ trong khoảng $0 \div \frac{\pi}{2}$; khi tải định mức $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$.

2. Máy phát cực ẩn

Với máy phát điện cực ẩn $X_d = X_q = X_{db}$ nên phương trình (8.9) viết lại thành:

$$P_{dt} = mU \frac{E_0}{X_{db}} \sin \theta \quad (8.10)$$

Khi máy phát điện cực ẩn phát công suất cực đại thì góc công suất $\theta = 90^\circ$.

VÍ DỤ 8.1

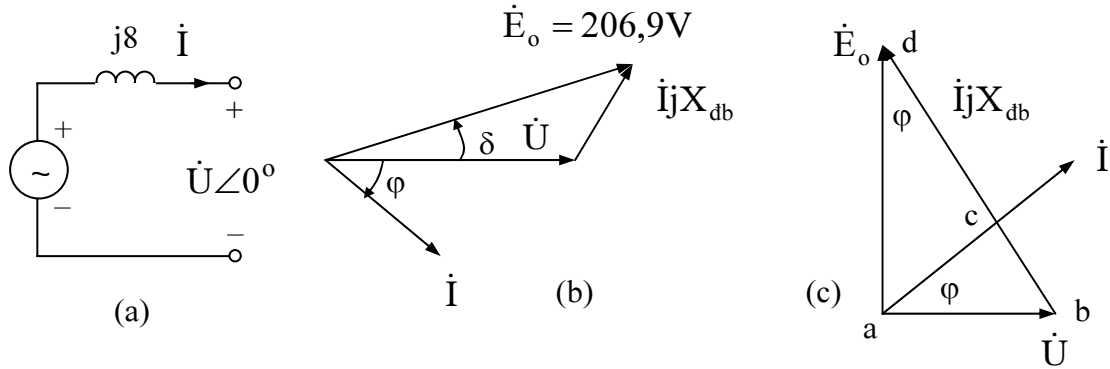
Máy điện đồng bộ ba pha cực ẩn 5kVA, 208V, 4 cực từ, 60Hz, nối Y có điện trở dây quấn stator không đáng kể và điện kháng đồng bộ $8\Omega/\text{pha}$. Máy làm việc ở chế độ máy phát nối vào lưới có 208V, 60Hz.

a. Xác định sdd kích thích và góc công suất khi máy làm việc đầy tải có hệ số công suất 0,8 (R-L). Vẽ đồ thị vector trong trường hợp này.

b. Với dòng điện kích thích của câu (a), công suất động cơ số cấp giảm chậm. Tìm giá trị tương ứng của dòng điện stator, hệ số công suất và công suất phản kháng trong điều kiện máy phát công suất cực đại ?

Giải

Mạch điện thay thế của máy phát điện một pha trình bày trên hình VD8.1.



Hình VD 8.1 Mạch điện tương đương và đồ thị vector máy phát

a. Điện áp pha của máy phát :

$$U = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V}$$

Dòng điện stator khi đầy tải :

$$I_{dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 208} = 13,9 \text{ A}$$

$$\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = 36,9^\circ \text{ (tính cảm)}$$

Phương trình cân bằng điện áp khi bỏ qua R_u :

$$\dot{E}_0 = U\angle 0^\circ + \dot{I}jX_{db}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_0 &= 120\angle 0^\circ + 13,9\angle -36,9^\circ \times 8\angle 90^\circ \\ &= 206,9 \angle 25,5^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Sdd kích thích của một pha : $E_0 = 206,9 \text{ V}$

Góc công suất : $\theta = 25,5^\circ$.

b. Máy phát công suất cực đại xảy ra khi $\theta = 90^\circ$, vậy :

$$P_{\max} = \frac{3E_0U}{X_{db}} = \frac{3 \times 206,9 \times 120}{8} = 9.320 \text{ W}$$

Dòng điện stator :

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_0 - \dot{U}}{jX_{db}} = \frac{206,9\angle 90^\circ - 120\angle 0^\circ}{j8} = 29,9\angle 30,1^\circ \text{ A}$$

Trị hiệu dụng : $I = 29,9 \text{ A}$.

Hệ số công suất : $\cos 30,1^\circ = 0,865$ (dung)

Cũng có thể dùng đồ thị vector (hình VD 8.1c) trong trường hợp phát công suất cực đại để tính dòng điện stator như sau :

$$(IX_{db})^2 = E_o^2 + U^2$$

$$\Rightarrow I = \left(\frac{206,9^2 - 120^2}{8^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 29,9 \text{ A}.$$

8.6.2. Công suất phản kháng

1. Máy phát cực lỗi :

Công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ là:

$$Q = mUI \sin \varphi = mUI \sin(\psi - \theta) = mUI \sin \psi \cdot \cos \theta + mUI \cos \psi \cdot \sin \theta.$$

$$Q = mUI_d \cdot \cos \theta + mUI_q \cdot \sin \theta \quad (8.10)$$

Thế biểu thức I_q và I_d vào phương trình (8.10), sau một vài biến đổi và , ta có công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ cực lỗi:

$$Q = mU \frac{E_0}{X_d} \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right) \quad (8.11)$$

2. Máy phát cực ẩn :

Đối với máy phát cực ẩn $X_d = X_q = X_{db}$ nên phương trình (8.11), ta có công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ cực ẩn là:

$$Q = \frac{mUE_0}{X_{db}} \cos \theta - \frac{mU^2}{X_{db}} = \frac{mU}{X_{db}} (E_0 \cos \theta - U) \quad (8.12)$$

8.6.3. Điều chỉnh công suất máy phát

1. Điều chỉnh công suất tác dụng :

Máy phát biến cơ năng thành điện năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát điện ta phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp.

2. Điều chỉnh công suất phản kháng :

Từ biểu thức công suất phản kháng (8.12), ta viết lại :

$$Q = \frac{mU(E_0 \cos \theta - U)}{X_{db}} \quad (8.13)$$

Giả thiết giữ U, f và P không đổi thì:

- Nếu $E_0 \cos \theta < U$ thì $Q < 0$, nghĩa là máy nhận công suất phản kháng của lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích thích.

- Nếu $E_0 \cos \theta > U$ thì $Q > 0$, máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích thích.

Như vậy, muốn điều chỉnh công suất phản kháng ta phải thay đổi E_0 , nghĩa là phải điều chỉnh dòng điện kích từ. Để tăng công suất phản kháng phát ra ta phải tăng dòng điện kích từ. Thật vậy, nếu tăng dòng điện kích từ, E_0 sẽ tăng và $\cos \theta$ tăng nhưng $E_0 \sin \theta$ không đổi, do đó Q tăng.

8.7. ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

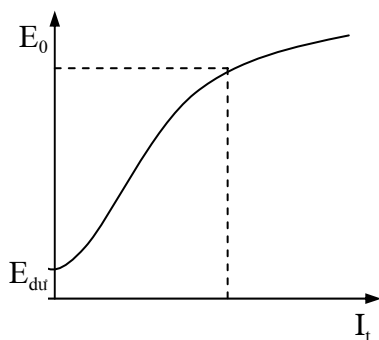
Chế độ làm việc của máy phát điện đồng bộ ở tải đối xứng được thể hiện rõ ràng qua các đại lượng như điện áp U ở đầu cực máy phát, dòng điện I trong dây quấn phần ứng, dòng điện kích thích I_t . Còn tần số $f = f_{dm} = \text{hằng số}$ và $\cos \varphi = \text{const}$ do tải bên ngoài quyết định. Như vậy từ ba đại lượng còn lại ta thành lập các đặc tính máy phát điện đồng bộ sau đây:

- + Đặc tính không tải
- + Đặc tính ngoài
- + Đặc tính điều chỉnh

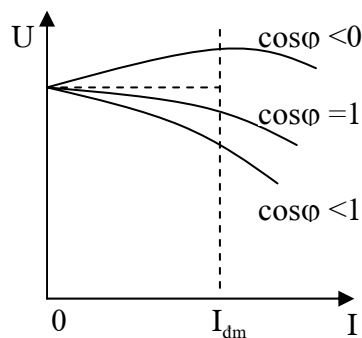
8.7.1. Đặc tính không tải của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính không tải của máy phát là quan hệ giữa sdd E và dòng điện kích từ I_t khi máy làm việc không tải ($I = 0$) và tốc độ quay của rôto không đổi (hình 8.7). Nó chính là dạng đường cong từ hóa $B = f(H)$ của vật liệu sắt từ.

8.7.2. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ



Hình 8.7 Đặc tính không tải $E_0 = f(I_t)$

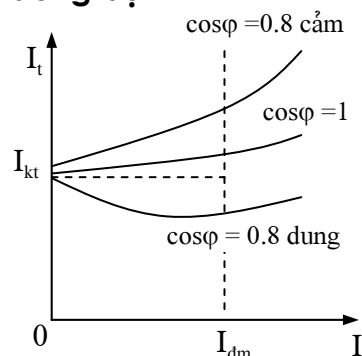


Hình 8.8 Đặc tính ngoài $U = f(I)$

Đặc tính ngoài của máy phát là quan hệ giữa điện áp U trên cực máy phát và dòng điện tải I khi tính chất tải không đổi ($\cos\varphi_t = \text{const}$), cũng như tốc độ quay rôto n và dòng điện kích từ I_k không đổi (hình 8.8).

8.7.3. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính điều chỉnh của máy phát là quan hệ giữa dòng điện kích từ I_k theo dòng điện tải I khi điện áp U không đổi và tốc độ quay rôto n , $\cos\varphi_t$ cũng không đổi (hình 8.9). Đặc tính này cho biết cần phải điều chỉnh dòng điện kích từ như thế nào để giữ điện áp U trên đầu cực máy phát không đổi. Thường trong các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ để giữ điện áp không đổi.



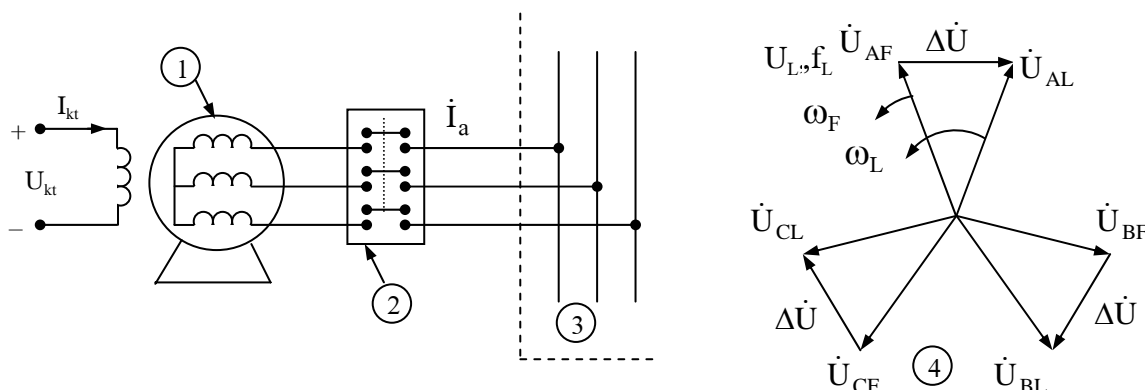
Hình 8.9 Đặc tính điều chỉnh $I_k = f(I)$ khi $U = \text{const}$

8.8. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

Trong hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau, tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn rất lớn so với công suất của từng máy phát, do đó tần số và điện áp của lưới điện gần như không đổi khi thay đổi tải.

Trước khi đưa một máy phát vào làm việc cùng với lưới điện tức là hoà đồng bộ (hình 8.10), phải kiểm tra các điều kiện sau đây:

1. Điện áp của máy phát phải bằng điện áp của lưới điện.
2. Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện.
3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.
4. Điện áp của máy phát và điện áp của lưới điện phải trùng pha nhau.



Hình 8.10. Hoà đồng bộ máy phát đồng bộ vào lưới điện

1. Máy phát đồng bộ; 2. Máy cắt; 3. Lưới điện; 4. Các điều kiện hoà đồng bộ

Khi các điều kiện trên được thỏa mãn tức là điện áp ở hai đầu máy cắt bằng không, ta đóng máy cắt 2 để hòa đồng bộ. Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy qua trong máy, phá hỏng máy và gây rối loạn hệ thống điện.

Sau khi hòa đồng bộ, cần lưu ý:

+ Ta điều chỉnh dòng điện kích từ I_t , điện áp của máy phát vẫn không đổi vì đó là điện áp của lưới điện. Việc thay đổi dòng điện kích từ I_t chỉ làm thay đổi công suất phản kháng của máy phát.

+ Muốn máy phát mang tải, ta tăng công suất động cơ sơ cấp: tăng lưu lượng nước trong máy thủy điện hoặc tăng lưu lượng hơi trong máy nhiệt điện.

8.9. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.9.1. Khái niệm chung

Về cấu tạo động cơ điện đồng bộ giống máy phát điện đồng bộ.

Máy phát điện đồng bộ có thể làm việc như động cơ điện đồng bộ. Nếu tháo động cơ sơ cấp ra khỏi máy phát và nối dây quấn stato vào lưới điện ba pha đồng thời cung cấp dòng điện một chiều cho dây quấn kích từ, động cơ sẽ quay với tốc độ không đổi và tạo ra momen kéo tải cơ đầu vào trục.

Ưu điểm động cơ điện đồng bộ là hệ số công suất cao và có thể điều chỉnh được bằng cách thay đổi dòng điện kích từ, điều này cho phép nâng cao hệ số công suất của lưới điện khi cần.

Trường hợp động cơ quay không tải và tăng dòng kích từ đủ lớn thì dòng điện lưới vào động cơ sẽ vượt trước điện áp của nó một góc gần 90° , lúc này động cơ làm việc như một tụ điện phát công suất phản kháng vào lưới, đây là chế độ máy bù đồng bộ.

8.9.2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ

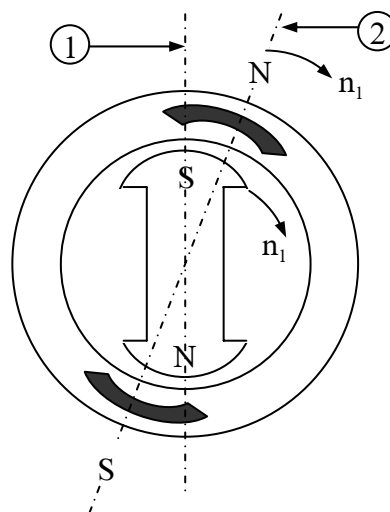
Khi cho dòng điện ba pha vào dây quấn stato, dòng điện ba pha ở dây quấn stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vg/ph)} \quad (8.14)$$

Nếu rôto đang đứng yên (hình 8.11), cực Nam S của rôto bị cực Bắc N stato kéo và nó có xu hướng quay theo chiều kim đồng hồ. Nhưng do quán tính và cực Bắc stato quét qua nó quá nhanh, trong khi nó chưa quay tới thì sau nửa chu kỳ nó đã đổi điện với cực Nam stato và bị đẩy lùi, nghĩa là rôto có xu hướng quay theo chiều

ngược lại. Kết quả là moment (mô máy) trung bình bằng không và rôto không quay được.

Tuy nhiên nếu chúng ta quay trước rôto với tốc độ đồng bộ các cực từ rôto bị "khóa chặt" vào cực từ stato trái dấu. Khi không tải, từ trường stato và rôto cùng quay với tốc độ đồng bộ n_1 và trục của chúng trùng nhau ($\theta = 0$). Lúc có tải trục từ trường rôto đi chậm sau trục từ trường stato một góc θ , tải càng nặng góc θ càng lớn, nhưng cả hai vẫn cùng quay với tốc độ đồng bộ n_1 .



Hình 8.11. Sự tạo ra mômen trong động cơ đồng bộ. 1. Trục rôto; 2. Trục từ trường stato

8.9.3. Phương trình điện áp, mạch điện tương đương, đồ thị vectơ

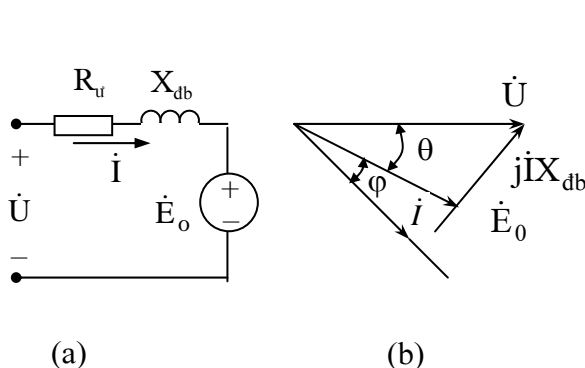
Gọi \dot{U} là điện áp pha của nguồn; \dot{E}_0 là sdd trong một pha stato; R_u là điện trở một pha stato; X_{db} là điện kháng đồng bộ. Ta có phương trình cân bằng điện áp ở stato là:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + R_u \dot{I} + jX_{db} \dot{I} \quad (8.15)$$

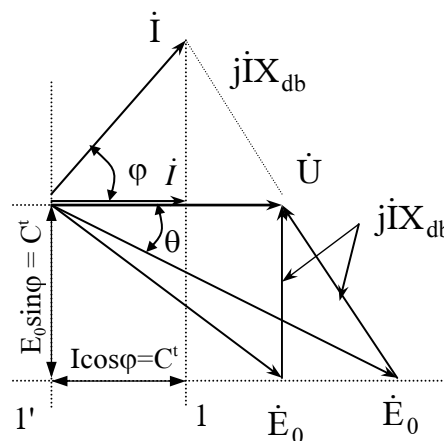
Khi bỏ qua điện trở dây quấn stato ($R_u = 0$), ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + jX_{db} \dot{I} \quad (8.16)$$

Mạch điện tương đương và đồ thị vectơ được trình bày trên hình 8.12.



Hình 8.12. a) Mạch điện tương đương; b) Đồ thị vectơ.



Hình 8.13. Đồ thị vectơ khi $\cos \varphi = 1$ và khi $\cos \varphi = 0,8$ (vượt trước)

8.9.4. Điều chỉnh hệ số công suất $\cos\varphi$ của động cơ điện đồng bộ

Trên hình 8.12b vẽ đồ thị vectơ ứng với trường hợp thiếu kích từ, dòng điện I chậm pha sau điện áp U . Khi sử dụng người ta không để động cơ làm việc ở chế độ này, vì động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện, làm cho hệ số công suất của lưới điện thấp. Trong công nghiệp thường động cơ đồng bộ làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện I vượt trước pha điện áp U , động cơ vừa tạo ra cơ năng, đồng thời phát ra công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện. Đây là ưu điểm lớn nhất của động cơ đồng bộ.

Để thấy rõ sự thay đổi hệ số công suất của động cơ đồng bộ, vẽ thêm hình 8.13 là đồ thị vectơ của hai trường hợp :

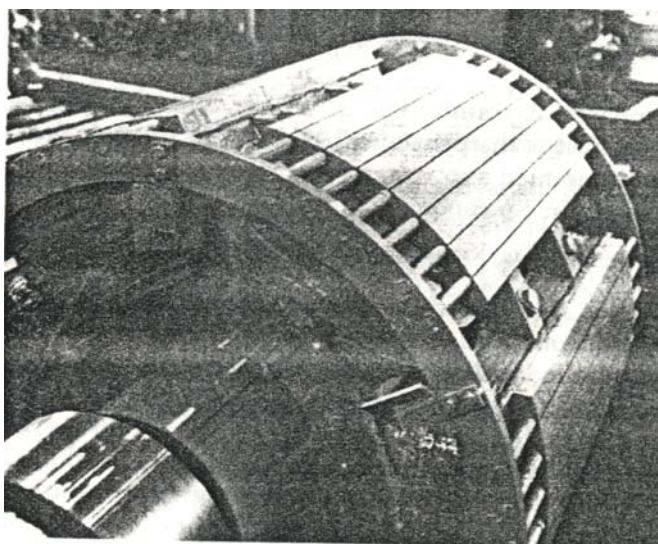
- + Khi $\cos\varphi = 1$ ứng với U và I trùng pha nhau;
- + Khi $\cos\varphi = 0,8$ ứng với chế độ quá kích từ, I vượt trước U một góc là φ .

Do U , f , P không đổi, nên $I\cos\varphi = \text{const}$, $E_0\sin\varphi = \text{const}$, nên khi vẽ cần lưu ý mút của vectơ I chạy trên đường 1 vuông góc với U và E_0 đường 1'.

8.9.5. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Động cơ đồng bộ không tự mở máy được. Từ trường quay stato quét qua các cực từ rôto với tốc độ đồng bộ, nên lực tác dụng lên rôto luân phiên kéo và đẩy, do rôto có quán tính lớn, nên momen trung bình bằng không. Vì vậy rôto phải được quay đến bằng hoặc gần bằng tốc độ đồng bộ để giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều trước khi động cơ có thể làm việc.

Trong vài trường hợp, dùng động cơ một chiều gắn vào trục rôto để kéo rôto đến tốc độ đồng bộ. Trong động cơ nhỏ, người ta dùng momen từ trở. Với động cơ công suất lớn, để tạo momen mở máy, trên các mặt cực từ rôto người ta đặt các thanh dẫn được nối ngắn mạch như kiểu rôto lồng sóc ở động cơ không đồng bộ, gọi là dây quấn mở máy hình 8.14.



Hình 8.14. Rotor cực lõi của động cơ đồng bộ và dây quấn khởi động.

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở rôto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc. Khi rôto đã quay gần bằng tốc độ đồng bộ, ta cho dòng kích từ I_t chạy vào dây quấn rôto và rôto sẽ được kéo vào đồng bộ.

Chú ý trong quá trình mở máy ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng sđđ rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng $6 \div 10$ lần điện trở dây quấn kích từ.



BÀI TẬP

Bài 4.1 Một máy phát đồng bộ ba pha 1000kVA, 2200V, 60Hz, đấu Y.

- Tính dòng điện dây định mức ?
- Tính dòng điện dây khi máy phát công suất 720kW cho tải có $\cos\varphi = 0,8$?

Bài 4.2 Một máy phát đồng bộ ba pha 1000kVA, 2200V, 60Hz, đấu Y.

- Tính dòng điện dây định mức ?
- Tính dòng điện dây khi máy phát công suất 720kW cho tải có $\cos\varphi = 0,8$?

Bài 4.3 Một tải ba pha có điện trở 10Ω / pha được cấp điện từ một máy phát đồng bộ ba pha 220V. Tải nối Δ , sau đó nối Y. Tính dòng điện dây và công suất tải tiêu thụ trong hai trường hợp trên ?.

Bài 4.4 Một máy phát đồng bộ ba pha 250kVA, 1260V, 60Hz, đấu Y có cuộn dây phản ứng đấu lại thành Δ .. Tính dòng điện dây, áp dây và công suất biểu kiến mới của máy?

Bài 4.5 Điện áp hở mạch của một máy phát đồng bộ ba pha 4600V, 60Hz, đấu Y khi dòng kích từ bằng 8A.

- Tính điện áp hở mạch ở 50Hz nếu dòng kích từ bằng 6A. Máy chưa bão hòa.?
- Nếu máy được dùng để phát điện tần số 50Hz, tìm điện áp dây nếu dòng kích từ bằng 8A ?

Bài 4.7 Một máy phát đồng bộ ba pha đang làm việc với lưới có điện áp 13,80kV, Điện kháng đồng bộ là 5Ω / pha và máy đang phát 12MW và 6MVAR cho lưới. Tính :

- Góc công suất θ ?
- Góc pha φ ?
- Sđđ E ?

Bài 4.8 Một máy phát đồng bộ cực ẩn ba pha 2500kVA, 660V, 60Hz, đấu Y. Có điện trở phản ứng $0,2 \Omega/\text{pha}$ và điện kháng đồng bộ $1,4 \Omega/\text{pha}$. Tính độ thay đổi điện áp phần trăm khi máy phát dòng định mức cho tải có :

- $\cos \varphi = 1$?
- $\cos \varphi = 0,866$ (tải có tính cảm) ?
- $\cos \varphi = 0,707$ (tải có tính dung) ?

Bài 4.9 Một máy phát đồng bộ cực ẩn ba pha 1000kVA, 4600V, 60Hz, đấu Y có điện áp không tải 8350V khi dòng kích thích định mức. Bây giờ cho máy làm việc với công suất biểu kiến và điện áp định mức; $\cos \varphi = 0,75$ (R-L). Giả sử $R_u = 0$. Tính :

- Điện kháng đồng bộ ?
- Độ thay đổi điện áp phần trăm ?
- Góc công suất θ ?
- Công suất cơ tổng ?
- S_{dm} và U_{dm} mới nếu máy được đấu Δ ?

Bài 4.10 Một máy phát đồng bộ ba pha 1600kVA, 13000V, 60Hz, đấu Y. Có điện trở phản ứng $1,5 \Omega/\text{pha}$ và điện kháng đồng bộ $30 \Omega/\text{pha}$. Tính độ thay đổi điện áp phần trăm và góc công suất θ khi tải máy phát 1280kW có hệ số công suất : $\cos \varphi = 1$?; $\cos \varphi = 0,8$ (tải có tính cảm) ? và $\cos \varphi = 0,8$ (tải có tính dung) ?

Bài 4.11 Hai máy phát điện đồng bộ ba pha hoàn toàn giống nhau làm việc song song, nối Y có điện trở phản ứng không đáng kể và điện kháng đồng bộ $X_{db} = 4,5 \Omega/\text{pha}$. Hai máy cùng cung cấp điện đều cho cho một phụ tải 26000 kW với $\cos \varphi = 0,866$ (chậm sau) và điện áp trên tải là 13,2 kV. Nếu thay đổi dòng điện kích từ để phân phối lại công suất phản kháng của hai máy sao cho một máy có $\cos \varphi_1 = 1$ thì lúc đó hệ số công suất $\cos \varphi_2$ của máy kia bằng bao nhiêu ? Tính E_o và θ của mỗi máy trong trường hợp đó ?

Đáp số : $\cos \varphi_2 = 0,655$

$$E_{o1} = 8,04 \text{ kV} \quad \text{và} \quad \theta_1 = 18,56^\circ.$$

$$E_{o2} = 10,88 \text{ kV} \quad \text{và} \quad \theta_2 = 13,63^\circ.$$

Bài 4.12 Một máy phát đồng bộ ba pha $S_{dm} = 35 \text{ kVA}$, $U_{dm} = 400/230\text{V}$, 50Hz, đấu Y có $X_{db}^* = 1,2$. Máy làm việc trong hệ thống điện với tải cảm định mức có $\cos \varphi_{dm} = 0,8$, dòng điện kích từ $I_{kt dm} = 25 \text{ A}$. Giả sử $R_u = 0$. Tính :

- Sdd E_o và góc Ψ ?
- Dòng điện kích từ để có $\cos \varphi = 0,9$ khi $P = \text{const}$?
- $\cos \varphi$ và công suất phản kháng Q khi dòng điện kích từ $I_{kt} = 30 \text{ A}$?

Đáp số : $E_o = 453 \text{ V}$ và $\Psi = 66^\circ$.

$$I_1 = 22,2 \text{ A} \quad \cos \varphi = 0,435. \text{ và } Q = 33,6 \text{ kVAR}$$



Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện

Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

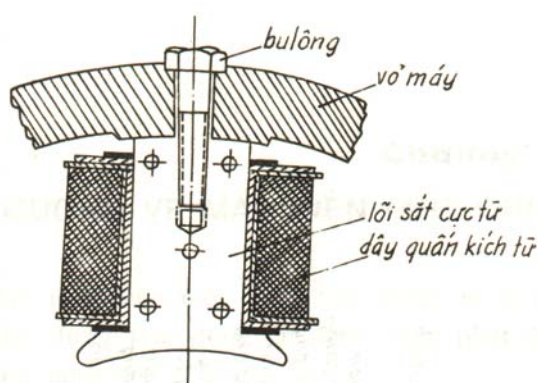
Chương 9 MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.1. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều có thể là máy phát hoặc động cơ điện và có cấu tạo giống nhau (hình 9.1). Những phần chính của máy điện một chiều gồm phần cảm (phần tĩnh) và phần ứng (phần quay).

9.1.1. Phần cảm (stator)

Phần cảm còn gọi là stator, gồm lõi thép làm bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy và các cực từ chính có dây quấn kích từ (hình 9.2), dòng điện chạy trong dây quấn kích từ sao cho các cực từ tạo ra có cực tính liên tiếp luân phiên nhau. Cực từ chính gắn vào vỏ máy nhờ các bulông. Ngoài ra máy điện một chiều còn có nắp máy, cực từ phụ và cơ cấu chổi than.

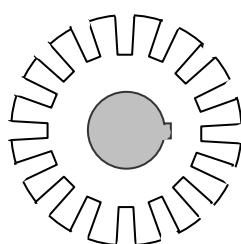


Hình 9.2 Cực từ chính

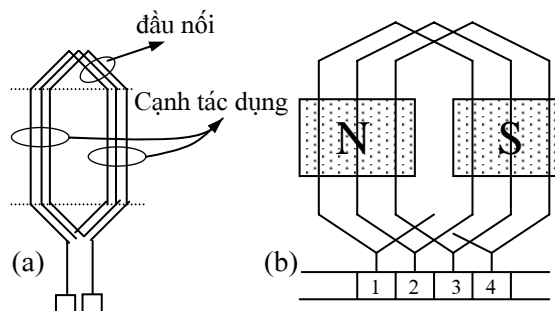
9.1.2. Phần ứng (rotor)

Phần ứng của máy điện một chiều còn gọi là rôto, gồm lõi thép, dây quấn phần ứng, cổ góp và trục máy.

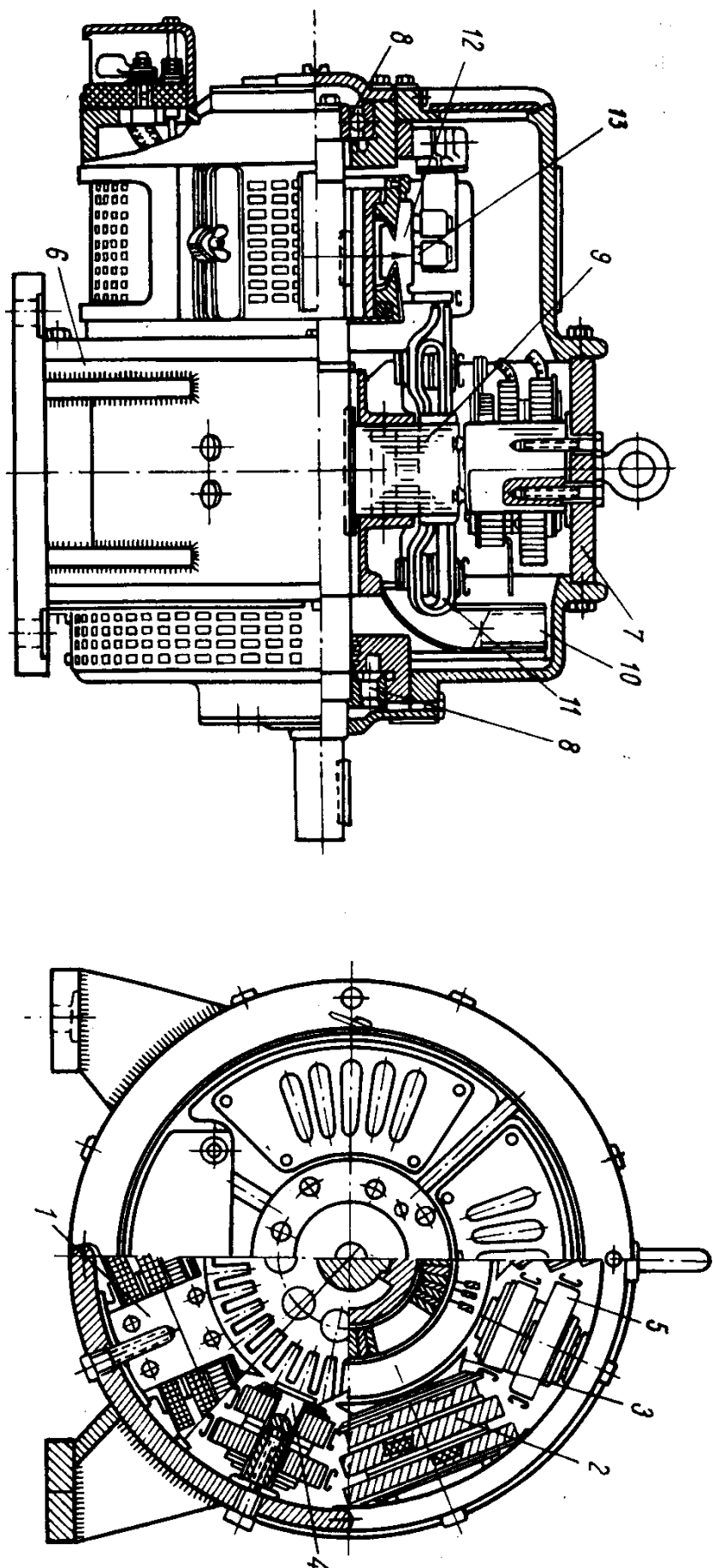
1. *Lõi thép phần ứng* : hình trụ làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm, phủ sơn cách điện ghép lại. Các lá thép được dập các lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn phần ứng (hình 9.3).



Hình 9.3 Lá thép rôto



Hình 9.4 Dây quấn phần ứng máy điện một chiều
a) Phần tử dây quấn; b) Bố trí phần tử dây quấn



Hình 9-1 Cấu tạo của máy điện một chiều.

1. Lõi thép cực từ chính; 2. Dây quấn cực từ chính; 3. Mỏm cực từ; 4. Lõi thép cực từ phụ; 5. Dây quấn cực từ phụ; 6. Thân máy; 7. Gông từ; 8. Ổ bi; 9. Lõi thép phần ứng; 10. Quạt gió; 11. Dây quấn phần ứng; 12. Cổ góp; 13. Chổi than.

2. *Dây quấn phản ứng* : gồm nhiều phần tử mắc nối tiếp với nhau, đặt trong các rãnh của phần ứng tạo thành một hoặc nhiều vòng kín. Phần tử của dây quấn là một bó dây gồm một hoặc nhiều vòng dây, hai đầu nối với hai phiên góp của vành góp (hình 9.4a), hai cạnh tác dụng của phần tử đặt trong hai rãnh dưới hai cực từ khác tên (hình 9.4b).

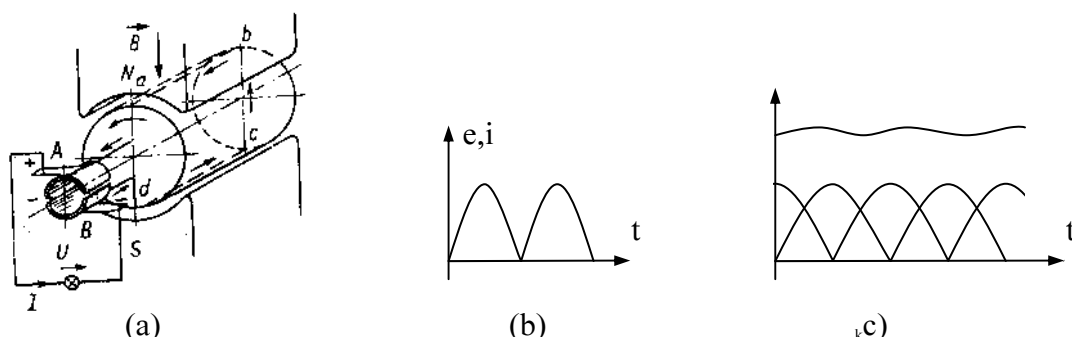
3. *Cổ góp (vành góp)* hay còn gọi là vành đổi chiều gồm nhiều phiên đồng hình đuôi nhạn được ghép thành một khối hình trụ, cách điện với nhau và cách điện với trục máy.

Các bộ phận khác như trục máy, quạt làm mát máy...

9.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.2.1. Nguyên lý làm việc của máy phát một chiều

Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều như hình 9.5. Máy gồm có một khung dây abcd có đầu nối với hai phiên góp. Khung dây và phiên góp quay quanh trục của nó với tốc độ không đổi trong từ trường của hai cực nam châm N-S. Các chổi điện A, B đặt cố định và luôn luôn tỳ sát vào phiên góp.



Hình 9.5 Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy phát một chiều
a). Mô tả nguyên lý máy phát; b) Sđđ máy phát có một phần tử;
c) Sđđ máy phát có nhiều phần tử.

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng (khung dây abcd) máy phát trong từ trường đều của phần cảm (nam châm S-N), các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường phần cảm, theo định luật cảm ứng điện từ, trong khung dây sẽ cảm ứng sđđ xoay chiều mà trị số tức thời của nó được xác định theo biểu thức :

$$e = Blv \quad (9.1)$$

Trong đó:

B: (T) từ cảm nơi thanh dẫn quét qua.

l (m): chiều dài dây dẫn nằm trong từ trường.

v (m/s): tốc độ dài của thanh dẫn.

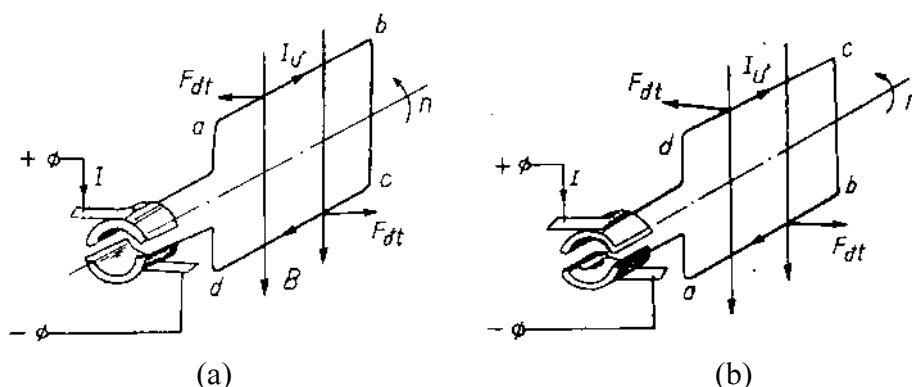
Chiều của sđđ được xác định theo qui tắc bàn tay phải. Vậy theo hình 9.5a, sđđ của thanh dẫn ab nằm dưới cực từ N có chiều đi từ b đến a, còn của thanh dẫn cd nằm dưới cực S có chiều đi từ d đến c. Nếu nối hai chổi A và B với tải thì sđđ trong khung dây sẽ sinh ra trong mạch ngoài một dòng điện chạy từ chổi than A đến chổi than B.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh dẫn ab ở cực S, thanh dẫn cd ở cực N, sđđ trong thanh dẫn đổi chiều. Nhờ chổi điện đứng yên, chổi A vẫn tiếp xúc với phiến góp trên, chổi B tiếp xúc với phiến góp dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi chiều. Nhờ cổ góp và chổi than, điện áp trên chổi và dòng điện qua tải là điện áp và dòng điện một chiều.

Nếu máy chỉ có một phần tử, điện áp đầu cực máy phát như hình 9.5b. Để điện áp ra lớn và ít đập mạch (hình 9.5c), dây quấn phần ứng phải có nhiều phần tử và nhiều phiến đổi chiều.

9.2.2. Nguyên lý làm việc của động cơ một chiều

Trên hình 9.6 khi cho điện áp một chiều U vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện. Các thanh dẫn ab và cd mang dòng điện nằm trong từ trường sẽ chịu lực tác dụng tương hỗ lên nhau tạo nên momen tác dụng lên rôto, làm rôto quay. Chiều lực tác dụng được xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 9.6a)..



Hình 9.6 Mô tả nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí thanh dẫn ab, cd đổi chỗ nhau (hình 9.6b), nhờ có phiến góp đổi chiều dòng điện, nên dòng điện một chiều biến đổi thành dòng điện xoay chiều đưa vào dây quấn phần ứng, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, do đó lực tác dụng lên rôto cũng theo một chiều nhất định, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi.

9.3. CÁC TRỊ SỐ ĐỊNH MỨC CỦA MĐMC

Chế độ làm việc định mức của máy điện là chế độ làm việc trong những điều kiện mà nhà chế tạo qui định. Chế độ đó được đặc trưng bằng những đại lượng ghi trên nhãn máy gọi là những đại lượng định mức.

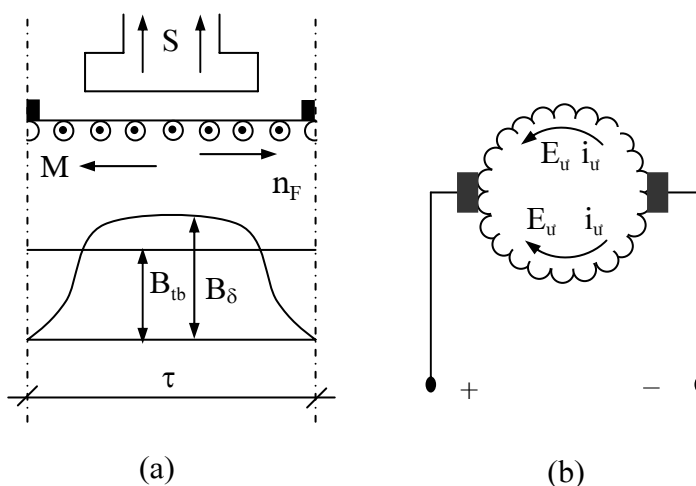
1. Công suất định mức P_{dm} (kW hay W).
2. Điện áp định mức U_{dm} (V).
3. Dòng điện định mức I_{dm} (A).
4. Tốc độ định mức n_{dm} (vòng/ph).

Ngoài ra còn ghi kiểu máy, phương pháp kích thích, dòng điện kích từ ...

Chú ý : Công suất định mức chỉ công suất đưa ra của máy điện. Đối với máy phát điện đó là công suất đưa ra ở đầu cực máy phát, còn đối với động cơ đó là công suất trên đầu trục động cơ.

9.4. SĐĐ PHẦN ỨNG VÀ MÔMEN ĐIỆN TỪ

9.4.1. Sức điện động phần ứng



Hình 9.7 Xác định sđđ phần ứng và mômen điện từ trong máy phát điện một chiều
a) Từ trường cực từ; b) Sơ đồ ký hiệu dây quấn;

Cho dòng điện kích thích vào dây quấn kích thích thì trong khe hở sẽ sinh ra từ thông (hình 9.7a). Khi quay rôto với tốc độ nhất định nào đó thì các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường phần cảm, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sđđ trung bình là :

$$e_{tb} = B_{tb}lv \quad (9.2)$$

trong đó : $B_{tb} = \frac{\Phi}{\tau l}$ từ cảm trung bình trong khe hở;

l là chiều dài của thanh dẫn; τ là bước cực.

$$v = \frac{\pi D n}{60} = 2\tau p \frac{n}{60} \text{ là tốc độ dài.}$$

Với: D: đường kính ngoài phần ứng.

p : số đôi cực từ.

n : tốc độ vòng

Φ : từ thông khe hở dưới mỗi cực từ.

Thế vào (9.2), ta có sdd trung bình trong một thanh dẫn :

$$e_{tb} = 2p\Phi \frac{n}{60}$$

Từ phía cổ góp nhìn vào phần ứng ta thấy dây quấn có thể biểu thị bằng sơ đồ ký hiệu như hình 9.7b. Từ đó ta thấy dây quấn gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau tạo thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Khi phần ứng quay, vị trí phần tử thay đổi nhưng nhìn từ ngoài vào vẫn là nhiều mạch nhánh song song. Sdd phần ứng bằng tổng các sdd thanh dẫn trong một nhánh. Nếu gọi số thanh dẫn của dây quấn phần ứng là N, số đôi mạch nhánh song song là a (2a số nhánh song song), số thanh dẫn của một nhánh song song N/2a. Vậy sdd của dây quấn phần ứng là sdd của một nhánh song song bằng:

$$E_u = \frac{N}{2a} e_{tb} = \frac{pN}{60a} \Phi n = k_E \Phi n = k_M \Phi \Omega \quad (9.3)$$

trong đó: $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ là tốc độ góc của phần ứng;

$$k_E = \frac{pN}{60a}, k_M = \frac{pN}{2\pi a} \text{ hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy.}$$

Từ công thức (9.3) ta thấy, để thay đổi sdd phần ứng thì có thể thay đổi tốc độ hoặc thay đổi từ thông Φ tức là thay đổi dòng điện kích từ và muốn đổi chiều sdd thì hoặc đổi chiều quay, hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

9.4.2. Mômen điện từ và công suất điện từ của máy điện một chiều

Khi máy điện làm việc trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện chạy qua. Tác dụng của từ trường lên dây dẫn có dòng điện sẽ sinh ra mômen điện từ trên trục máy.

Lực điện từ tác dụng lên từng thanh dẫn:

$$f = B_{tb} l i_u$$

Nếu tổng số thanh dẫn của dây quấn phần ứng là N và dòng điện trong mạch nhánh là $i_u = \frac{I_u}{2a}$ thì mômen điện từ tác dụng lên dây quấn phần ứng:

$$M = B_{tb} \frac{I_u}{2a} l N \frac{D}{2}$$

trong đó: I_u : dòng điện phần ứng.

a : số đôi mạch nhánh song song.

D : Đường kính ngoài phần ứng.

l : chiều dài tác dụng của thanh dẫn.

Do: $D = \frac{2p\tau}{\pi}$ và $B_{tb} = \frac{\Phi}{\tau l}$, nên ta có:

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_u = k_M \Phi I_u \quad (\text{Nm}) \quad (9.4)$$

Từ công thức (9.4) ta thấy, muốn thay đổi mômen điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phần ứng I_u hoặc thay đổi dòng điện kích từ I_f . Trong máy phát điện một chiều mômen điện từ là mômen hãm vì vậy ngược chiều quay phát điện, còn trong động cơ điện một chiều, mômen điện từ là mômen quay nên cùng chiều quay với động cơ.

Công suất ứng với mômen điện từ lấy vào đối với máy phát và đưa ra đối với động cơ gọi là công suất điện từ và bằng:

$$P_{dt} = \Omega M \quad (9.5)$$

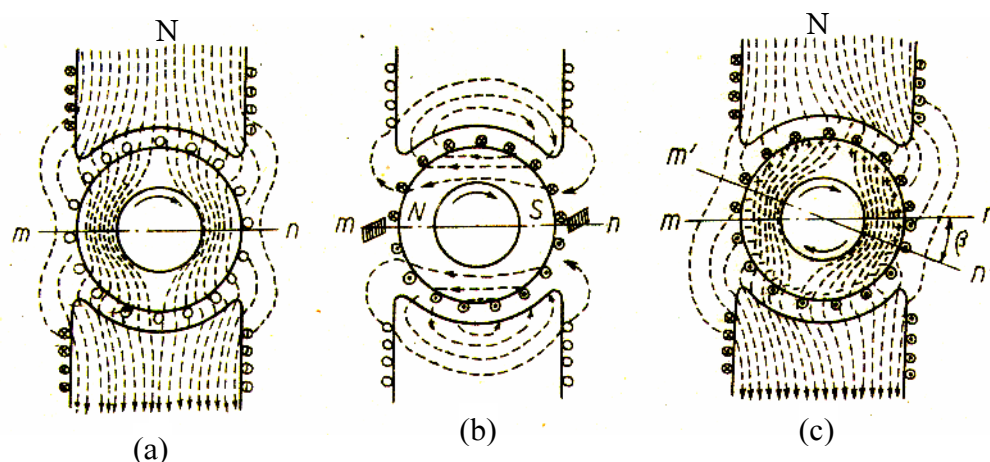
trong đó: M là mômen điện từ;

Thay vào công thức trên ta có:

$$P_{dt} = M\Omega = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_u \frac{2\pi n}{60} = \frac{pN}{60a} n \Phi I_u = E_u I_u \quad (9.6)$$

Từ công thức này ta thấy được quan hệ giữa công suất điện từ với mômen điện từ và sự trao đổi năng lượng trong máy điện. Trong máy phát điện công suất điện từ đã chuyển công suất cơ thành công suất điện. Còn trong động cơ điện, công suất điện từ đã chuyển công suất điện thành công suất cơ.

9.5. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU



Hình 9.8 Từ trường của máy điện một chiều

Khi máy điện một chiều làm việc không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là từ trường cực từ. Trên hình 9.8a vẽ từ trường cực từ. Từ trường cực từ phân bố đối xứng. Ở đường trung tính hình học mn, cường độ từ cảm $B = 0$, thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sdd.

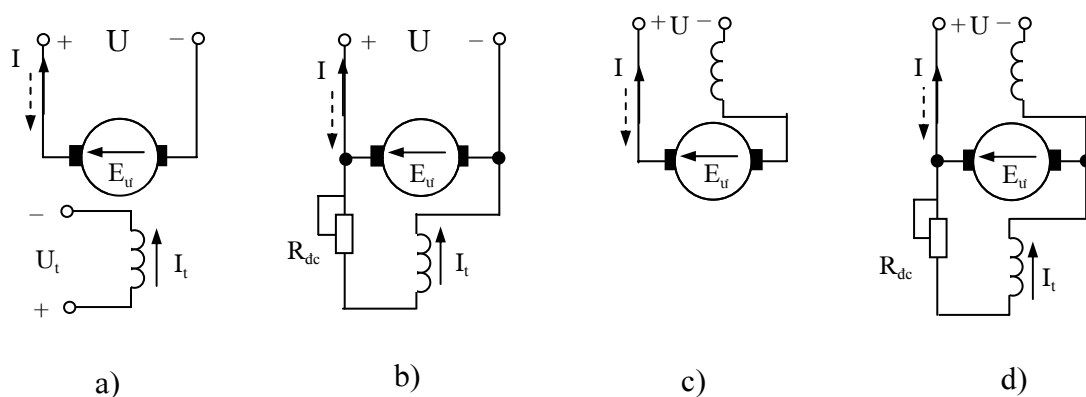
Khi máy điện có tải, dòng điện I_a chạy trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường phần ứng như hình 9.8b. Từ trường phần ứng hướng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng, từ trường trong máy sẽ là tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phần ứng (hình 9.8c).

Trên hình 9.8c vẽ từ trường tổng hợp. Ở một mỗ cực từ trường được tăng cường tức là ở mỗ cực này từ trường phần ứng cùng chiều từ trường cực từ ; trong khi đó ở mỗ cực kia từ trường bị yếu đi nghĩa là chính trên mỗ cực này từ trường phần ứng ngược chiều từ trường cực từ.

9.6. PHÂN LOẠI MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ta đã phân máy điện một chiều thành máy phát điện một chiều và động cơ điện một chiều. Song tùy theo cách kích thích của cực từ chính, ta còn phân máy điện một chiều thành các loại như sau :



Hình 9.9 Sơ đồ nguyên lý máy điện một chiều : a) Kích thích độc lập; b) Kích thích song song; c) Kích thích nối tiếp; d) Kích thích hỗn hợp. (mũi tên nét đứt chỉ dòng điện ở chế độ động cơ)

1. *Máy điện một chiều kích thích độc lập (hình 9.9a):* Mạch phần ứng không liên hệ trực tiếp về điện với mạch kích thích. Nếu máy có công suất nhỏ thì cực từ chính thường dùng nam châm vĩnh cửu, còn máy có công suất lớn cần có nguồn kích thích riêng để có thể điều chỉnh điện áp hoặc tốc độ trong phạm vi rộng.

2. *Máy điện một chiều kích thích song song (hình 9.9b)*: Mạch kích thích nối song song với mạch phần ứng.

3. *Máy điện một chiều kích thích nối tiếp (hình 9.9c)*: Mạch kích thích mắc nối tiếp với mạch phần ứng.

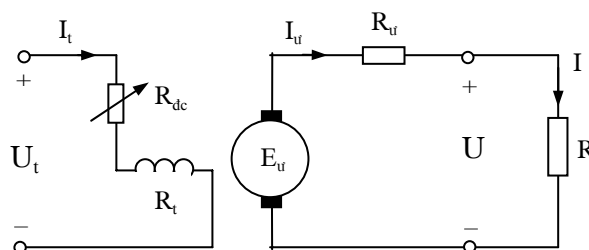
4. *Máy điện một chiều kích thích hỗn hợp (hình 9.9d)*: Vừa kích thích song song vừa kích thích nối tiếp.

9.7. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.7.1. Máy phát điện một chiều kích từ độc lập

1. Mạch điện tương đương và các phương trình cân bằng

Dòng điện kích từ I_t do nguồn một chiều ngoài máy tạo ra, không phụ thuộc dòng điện phần ứng I_u (hình 9.10).



Hình 9.10 Mạch tương đương của máy phát kích từ độc lập

Các phương trình của máy phát một chiều kích từ độc lập:

Phương trình dòng điện :

$$I_u = I \quad (9.7a)$$

Phương trình điện áp :

$$+ \text{ Mạch kích từ : } U_t = R_{mt} I_t \quad (9.7b)$$

$$+ \text{ Mạch phần ứng : } E_u = U + R_u I_u \quad (9.7c)$$

Trong đó : U_t : điện áp nguồn kích thích để tạo ra dòng kích từ I_t .

R_t : điện trở của cuộn dây kích thích.

R_{dc} : Biến trở để điều chỉnh dòng điện kích thích I_t .

$R_{mt} = R_t + R_{dc}$: điện trở của mạch kích thích.

R_u : điện trở mạch phần ứng.

VÍ DỤ 9.1

Máy phát điện một chiều kích từ độc lập công suất 100kW cung cấp 50kW cho tải ở điện áp 125V. Nếu cắt tải và giữ nguyên tốc độ thì điện áp ra là 137V.

Hãy tính điện trở mạch phản ứng ?

Giải

Công suất của tải $P = 50\text{kW} = 50.000\text{W}$, điện áp tải $U = 125\text{V}$.

Dòng điện tải là :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50.000}{125} = 400 \text{ A}$$

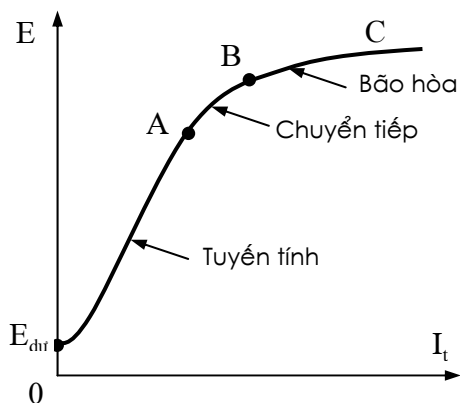
Khi không tải, điện áp trên đầu cực mát phát $U_0 = \text{sdd phản ứng } E_u = 137 \text{ V}$.

Điện trở mạch phản ứng :

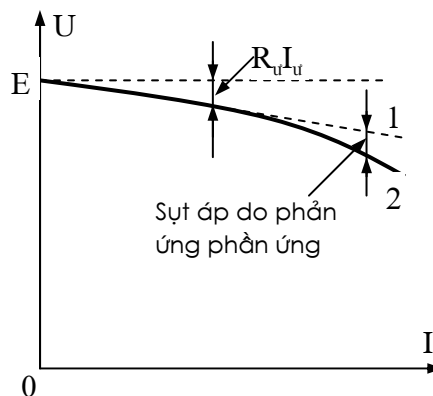
$$R_u = \frac{E_u - U}{I} = \frac{137 - 125}{400} = 0,03 \Omega$$

2. Đặc tính không tải

Đặc tính không tải là quan hệ của đường cong $E = f(I_t)$ khi máy làm việc không tải $I = 0$ và tốc độ quay $n = \text{const}$ (hình 9.11). Nó là dạng của đường cong từ hóa. Đây là đặc tính rất quan trọng vì hầu hết các đặc tính làm việc khác phụ thuộc vào nó.



Hình 9.11 Đặc tính không tải



Hình 9.12 Đặc tính ngoài

Lưu ý các điểm sau :

- Lúc $I_t = 0$ vẫn có một sdd nhỏ $E_{dư}$ do từ dư của lõi thép.
- Trong đoạn $E_{dư}A$, sdd E tỷ lệ I_t .
- Trong đoạn chuyển tiếp AB , sdd E tăng chậm hơn I_t

Trong đoạn bảo hòa BC , sdd E tăng không đáng kể. Điểm làm việc bình thường của máy nằm trên đoạn chuyển tiếp vì nếu trên đoạn tuyến tính sdd E sẽ

thay đổi nhiều theo dòng điện I_t nên điện áp ra của máy bị dao động; còn trên đoạn bão hòa dòng điện I_t lớn làm tăng tổn hao kích thích.

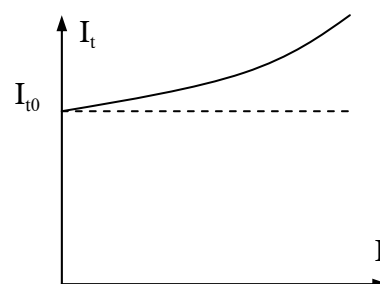
3. Đặc tính ngoài

Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều là quan hệ giữa $U = f(I)$, khi $n = \text{const}$ và $I_t = \text{const}$ (hình 9.12). Nếu không có phản ứng phần ứng thì sđđ E và từ thông Φ không đổi, nên $U = E_u - R_u I_u$ là đường thẳng đi xuống (đường 1). Nếu có phản ứng phần ứng thì khi dòng điện tải I tăng, dòng điện phần ứng tăng, điện áp U giảm xuống nhiều hơn một ít (đường 2) do hai nguyên nhân sau :

- Tác dụng của phản ứng phần ứng làm cho từ thông Φ giảm, kéo theo sức điện động E_u giảm.
- Điện áp rơi trong mạch phần ứng $R_u I_u$ tăng.

4. Đặc tính điều chỉnh

Đó là quan hệ $I_t = f(I)$ khi giữ điện áp và tốc độ máy phát không đổi vẽ trên hình 9.13. Để giữ cho điện áp máy phát không đổi khi tải tăng, phải tăng dòng điện kích từ I_t , như vậy dòng điện kích từ tăng là để bù lại phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên dây quấn phần ứng.



Hình 9.13 Đặc tính điều chỉnh

9.7.2. Máy phát điện một chiều kích từ song song

1. Mạch điện tương đương và các phương trình

Hình 9.14 trình bày mạch điện tương đương của máy phát điện một chiều kích từ song song. Ta thấy điện áp kích thích U_t được lấy từ mạch phần ứng, như vậy $U_t = U$.

Các phương trình cân bằng của máy phát kích thích song song :

$$\text{Phương trình dòng điện : } I_u = I_t + I \quad (9.8)$$

$$\text{Mạch phần ứng : } U = E_u - R_u I_u \quad (9.9a)$$

$$\text{Mạch kích thích : } U_t = R_{mt} I_t = RI \quad (9.9b)$$

2. Điều kiện tự kích

Khi quay máy phát với tốc độ n ở tình trạng không tải ($I = 0$) và máy không được kích từ ($I_t = 0$). Nhờ có từ dư $\Phi_{dư}$ máy sẽ có sđđ $E_{dư}$ trên đầu cực của máy. Khi mạch kích từ được nối với đầu cực của máy phát, sẽ có hai trường hợp xảy ra :

1. E_{du} tạo ra dòng kích thích I_t , dòng điện này tạo ra từ thông Φ_t cùng chiều với Φ_{du} . Lúc đó từ thông cực từ $\Phi = \Phi_t + \Phi_{du}$ tăng dần lên, sđđ E tăng theo và máy có thể tự kích được.

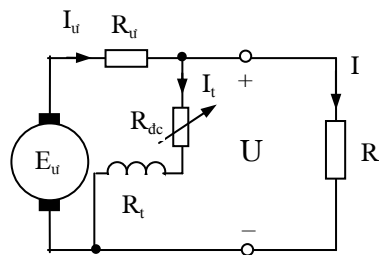
2. Nếu Φ_t ngược chiều và triệt tiêu Φ_{du} , máy không tự kích được.

Giả sử máy đã tự kích được và chưa mang tải, lúc đó E và I_t là nghiệm của hệ sau (hình 9.15) :

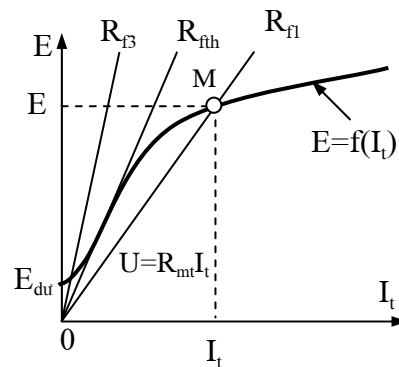
$$E = f(I_t) \quad (9.10a)$$

$$E = R_{mt} I_t \quad (9.10b)$$

Đường $E = f(I_t)$ là đặc tính không tải của máy phụ thuộc tốc độ n ; còn đường $E = R_{mt} I_t$ là *đường thẳng cảm* phụ thuộc vào điện trở mạch kích từ R_{mt} và tạo với trục I_t một góc $\alpha = \arctan R_{mt}$. Hai đường này cắt nhau tại M.



Hình 9.14 Mạch tương đương của máy phát kích từ song song



Hình 9.15 Điều kiện tự kích

Giả thiết giữ tốc độ quay n không đổi, nếu R_{mt} tăng, đường thẳng tiếp xúc với đặc tính không tải ứng với điện trở tới hạn R_{th} , lúc đó điện áp không ổn định. Nếu tiếp tục tăng R_{mt} máy sẽ làm việc với E_{du} .

Tóm lại điều kiện tự kích là :

1. Phải có từ dư trong máy.
2. Từ thông do sđđ E_{du} tạo ra phải cùng chiều từ dư.
3. Biến trở mạch kích từ R_{dc} phải đủ nhỏ.

Chú ý : Chiều đấu dây giữa mạch phần ứng và mạch phần cảm phải phù hợp.

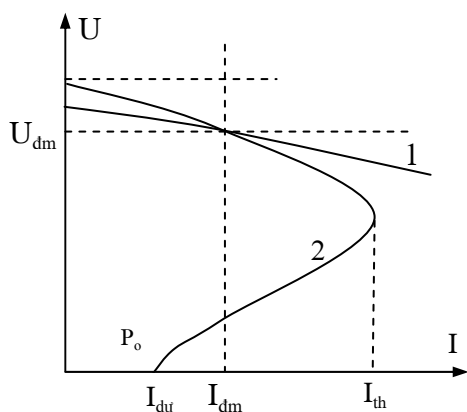
Chiều quay của phần ứng phải phù hợp và vận tốc quay phải lớn.

3. Đặc tính ngoài

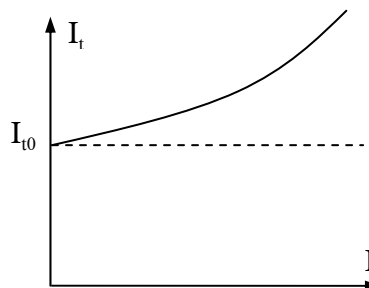
Đó là đường cong $U = f(I)$, khi $n = \text{const}$, $R_{mt} = \text{const}$. Khi dòng điện tải I tăng, điện áp U giảm, khiến I_t và E giảm theo nên U giảm nhiều hơn so với kích từ độc lập. Trên hình 9.16, ta vẽ chung với các loại kích từ khác để so sánh.

4. Đặc tính điều chỉnh

Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh của máy phát kích từ song song $I_t = f(I)$, khi U và n không đổi vẽ trên hình 9.17.



Hình 9.16 Đặc tính ngoại của máy phát một chiều. 1. Kích từ độc lập; 2. Kích từ song song



Hình 9.17 Đặc tính điều chỉnh

9.7.3. Máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp

1. Mạch điện tương đương phương trình cân bằng

Theo hình 9.16, điện áp của máy phát kích từ song song giảm nhiều khi tải tăng. Để khắc phục, ta quấn thêm một cuộn kích từ trên cực từ chính, cuộn dây này mắc nối tiếp với dây quấn phần ứng, nên dòng chạy qua cuộn này là dòng điện tải I_t , vì vậy gọi là cuộn kích từ nối tiếp (hình 9.18).

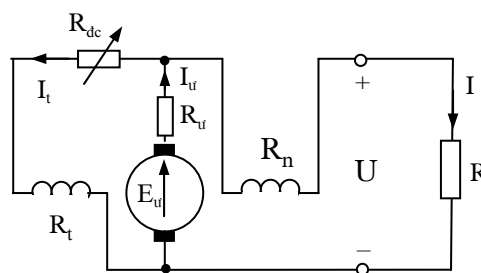
Từ mạch điện tương đương hình 9.18, ta có các phương trình cân bằng như sau:

$$I_u = I_t + I \quad ; \quad I_{tn} = I \quad (9.11a)$$

$$E_u = I_u R_u + I R_{tn} + U \quad (9.11b)$$

$$U_t = R_{mt} I_t = I_{tn} R_{tn} + U \quad (9.11c)$$

Chú ý : Nếu dòng điện I_t và I_{tn} tạo ra các từ thông Φ_s và Φ_n cùng chiều thì từ thông tổng của mỗi cực là $\Phi = \Phi_s + \Phi_n$, ta có máy phát kích thích hỗn hợp nối thuận, còn ngược lại, $\Phi = \Phi_s - \Phi_n$ ta có máy kích thích hỗn hợp nối ngược. Sđd trong biểu thức (9.11b) là :



Hình 9.18 Mạch tương đương của máy phát kích từ hỗn hợp

$$E_u = k_E n \Phi = k_E n (\Phi_s \pm \Phi_n) \quad (9.12)$$

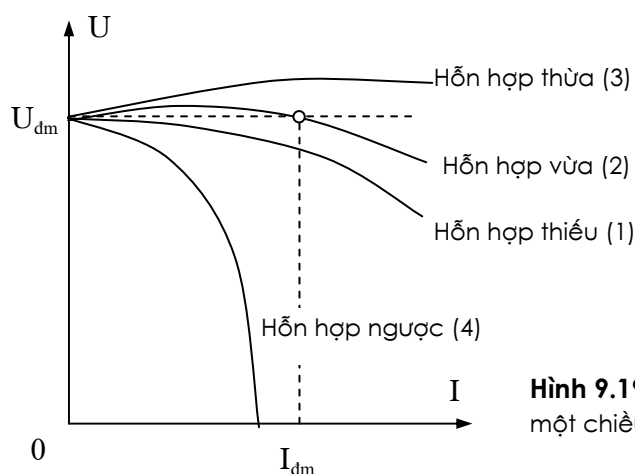
trong đó: Φ_s phụ thuộc I_t và Φ_n phụ thuộc I_{tn} mà $I_{tn} = I$, tức là phụ thuộc dòng điện phụ tải.

2. Đặc tính ngoài

Đó là đường cong quan hệ $U = f(I)$, khi $n = \text{const}$, $R_{mt} = \text{const}$. Gọi U_0 là điện áp lúc không tải và U_{dm} là điện áp đầy tải. Từ các phương trình (9.11b) và (9.12), ta thấy khi dòng điện tải I tăng, điện áp U thay đổi phụ thuộc vào độ lớn của Φ_n so với Φ_s tức là phụ thuộc vào số vòng dây W_n của cuộn kích từ nối tiếp. Hình 9.19 trình bày các dạng đặc tính ngoài của máy phát kích từ hỗn hợp với :

+ *Kích từ hỗn hợp nối thuận* : đường (1) bù thiếu; đường (2) bù đủ; đường (3) bù thừa, loại này dùng để cung cấp điện cho những phụ tải xa nguồn, vì độ tăng điện áp ở đầu ra bù vào sụt áp trên đường dây tải điện.

+ *Kích từ hỗn hợp nối ngược* : đường (4), do nối ngược nên từ thông tổng giảm nhiều khi tải tăng nên U giảm rất nhanh.



Hình 9.19 Đặc tính ngoài của máy phát một chiều kích từ hỗn hợp

9.7.4. Quá trình năng lượng trong máy phát điện một chiều

Máy phát điện một chiều nhận công suất cơ trên đầu trục và truyền công suất điện ra trên đầu cực.

Giả thiết :

- Nguồn kích thích do một máy phát khác cung cấp (kích từ độc lập).
- Máy phát được kéo bởi một động cơ sơ cấp với tốc độ quay $n = \text{const}$.

Gọi P_1 là công suất cơ đưa vào trục máy phát. Công suất này bù vào : Tổn hao cơ P_{co} là tổn hao do ma sát và quạt gió; tổn hao sắt P_{Fe} là tổn hao dòng xoáy và từ trễ, và tổn hao phụ P_f là tổn hao do quá trình đổi chiều trong cuộn dây và tổn hao

do dòng điện xoáy trong dây đồng mạch phản ứng ..., tổn hao này nhỏ chiếm khoảng 1% công suất định mức khi có tải. Công suất còn lại biến thành công suất điện từ P_{dt} . Ta có phương trình cân bằng công suất :

$$P_1 = P_{dt} + (P_{co} + P_{Fe} + P_f) = P_{dt} + P_q \quad (9.13)$$

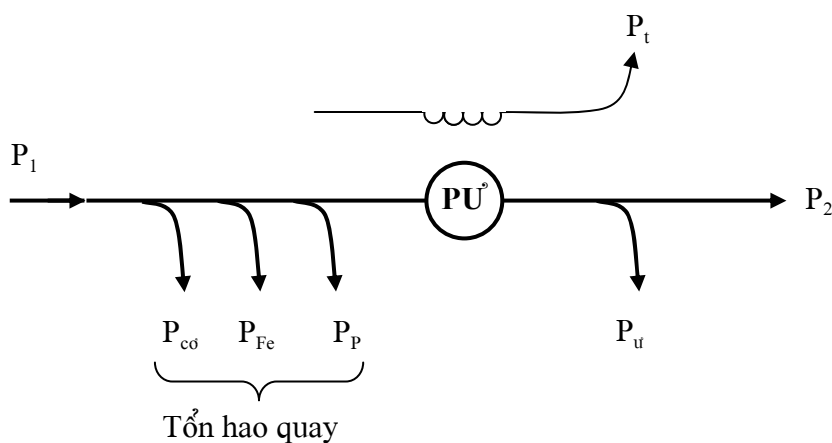
Trong đó P_q gọi là tổn hao quay (có thể gọi là tổn hao không tải) :

$$P_q = P_{co} + P_{Fe} + P_f \quad (9.14)$$

Ta đã có công suất điện từ $P_{dt} = E_u I_u$. Như vậy công suất điện đưa ra P_2 trên đầu cực máy phát :

$$P_2 = P_{dt} - P_u = E_u I_u - I_u^2 R_u = U I_u \quad (9.15)$$

Với $P_u = R_u I_u^2$ là tổn hao trong mạch phản ứng. Giảm đồ năng lượng của máy phát điện một chiều trình bày trên hình 9.20.



Hình 9.20 Giảm đồ năng lượng máy phát điện một chiều

Hiệu suất của máy điện một chiều :

$$\eta = \frac{\text{Công suất ra}}{\text{Công suất vào}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} \quad (9.16)$$

trong đó $\sum P = P_u + P_q + P_t + P_n$ là tổng tổn hao trong máy điện một chiều. Còn P_t là tổn hao trong mạch kích từ; P_n là tổn hao trong dây quấn kích từ nối tiếp.

VÍ DỤ 9.2

Máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp có công suất $P_{dm} = 150 \text{ kW}$, $U_{dm} = 600 \text{ V}$ và sdd khi máy làm việc ở tải định mức 645,6 V. Cho biết dòng điện kích từ là 6 A và điện trở của dây quấn kích từ nối tiếp $R_n = 0,08 \Omega$. Tính :

- a. Điện trở mạch phản ứng và điện trở mạch kích từ song song.
b. Hiệu suất của máy phát. Cho rằng tổn hao quay $P_q = 5680 \text{ W}$.

Giải

a. Điện trở mạch phản ứng và điện trở mạch kích từ song song :

Sử dụng sơ đồ mạch điện tương đương và ký hiệu như hình 9.18. Công suất của tải $P = 50 \text{ kW} = 50.000 \text{ W}$, điện áp tải $U = 600 \text{ V}$.

Dòng điện tải là :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50.000}{600} = 83,3 \text{ A}$$

Dòng điện mạch phản ứng :

$$I_{\text{ur}} = I + I_t = 83,3 + 6 = 89,3 \text{ A}$$

Phương trình điện áp mạch phản ứng máy phát kích từ hỗn hợp :

$$\begin{aligned} E_{\text{ur}} &= U + I_{\text{ur}} R_{\text{ur}} + I R_n \\ 645,6 &= 600 + 89,3 R_{\text{ur}} + 83,3 \cdot 0,08 \\ \Rightarrow R_{\text{ur}} &= 0,1 \Omega \end{aligned}$$

Điện trở mạch kích từ :

$$R_{\text{mt}} = \frac{U_t}{I_t} = \frac{U + I R_n}{I_t} = \frac{600 + 83,3 \cdot 0,08}{6} = 103,3 \Omega$$

b. Hiệu suất của máy phát :

Tổng tổn hao trong máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp :

$$\begin{aligned} \sum P &= P_{\text{ur}} + P_q + P_t + P_n \\ &= 0,1 \cdot 89,3^2 + 5680 + 620 \cdot 6 + 0,08 \cdot 83,3^2 = 20953,6 \text{ W} \end{aligned}$$

Hiệu suất của máy phát điện một chiều :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Công suất ra}}{\text{Công suất vào}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} \\ &= \frac{150 \times 10^3}{150 \times 10^3 + 20953,6} = 0,8774 = 87,74\% \end{aligned}$$

9.8. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.8.1. Động cơ điện một chiều kích từ song song (shunt)

Động cơ điện nhận công suất điện từ lưới điện và truyền công suất cơ ra trên đầu trục động cơ.

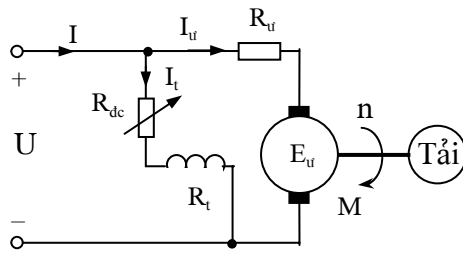
1. Mạch điện tương đương và các phương trình

Mạch điện tương đương được trình bày trên hình 9.21; với các ký hiệu tương tự như máy phát, ta có các phương trình cân bằng là :

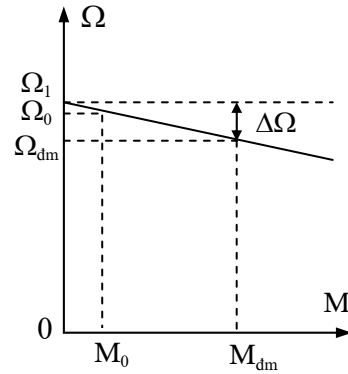
$$I = I_u + I_t \quad (9.17a)$$

$$I_{kt} = \frac{U}{R_{dc} + R_t} = \frac{U}{R_{mt}} \quad (9.17b)$$

$$E_u = U - R_u I_u = k_M \Omega \Phi \quad (9.17c)$$



Hình 9.21 Mạch tương đương của động cơ kích từ song song



Hình 9.22 Đặc tính cơ của động cơ kích từ song song

2. Đặc tính cơ $\Omega = f(M)$.

Đó là đường cong quan hệ $\Omega = f(M)$, khi $I_t = \text{const}$ và $U = \text{const}$. Từ công thức (9.17c), ta có :

$$\Omega = \frac{U - R_u I_u}{k_M \Phi} \quad (9.18)$$

Rút I_u từ công thức (9.4) và thay vào (9.18), ta có :

$$\Omega = \frac{U}{k_M \Phi} - \frac{R_u}{(k_M \Phi)^2} M \quad (9.19)$$

Nếu điện áp U và từ thông Φ không đổi thì đặc tính cơ là đường thẳng dốc xuống như trình bày trên hình 9.22. Moment tăng thì tốc độ giảm rất ít, như vậy đặc tính cơ cứng. Trong những máy điện thực từ thông giảm do phản ứng phần ứng, nên M hay I_u tăng làm tốc độ giảm ít hơn so với trình bày trên hình 9-22. Như vậy, phản ứng phần ứng có lợi trong việc điều khiển tốc độ động cơ một chiều.

Nếu $M_2 = 0$ và $M_0 = 0$ thì $I_u = 0$, động cơ quay với tốc độ không tải lý tưởng :

$$\Omega_1 = \frac{U}{k_M \Phi} \quad (9.20)$$

Lúc không tải động cơ cũng phải lấy I_0 để bù vào tổn hao cơ và tổn hao sắt, như vậy động cơ quay với $\Omega_0 < \Omega_1$ một ít :

$$\Omega_o = \frac{U - R_u I_o}{k_M \Phi} \approx \Omega_1 \quad (9.21)$$

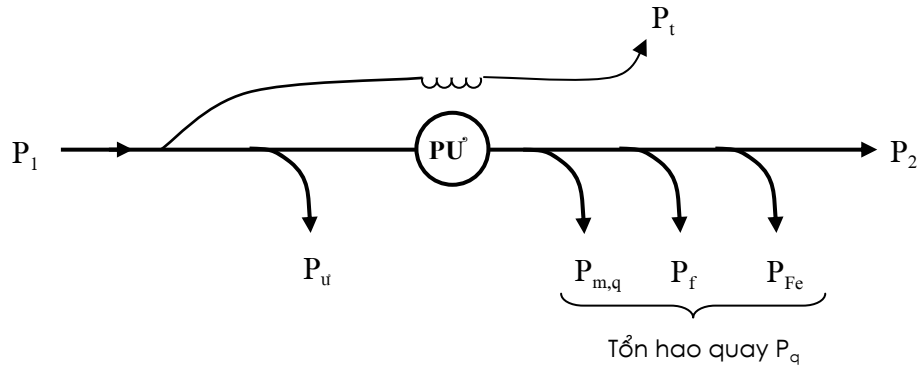
Từ công thức (9.19), ta thấy để điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều có ba phương pháp :

1. Điều chỉnh điện áp U đặt vào mạch phản ứng U .
2. Điều chỉnh từ thông Φ .
3. Điều chỉnh điện trở phụ mắc nối tiếp với mạch phản ứng.

Tóm lại, tốc độ của động cơ điện một chiều tăng hay giảm khi thay đổi U và Φ và điện trở phụ, điều đó sẽ đề cập sau.

3. Công suất trong động cơ

Từ hình 9.19, ta có quá trình năng lượng của động cơ kích từ song song :



Hình 9.23 Giản đồ năng lượng động cơ điện một chiều

* Công suất điện $P_1 = UI$ động cơ một chiều nhận từ lưới gồm hai phần : Phần $P_t = UI_t$ là tổn hao trên mạch kích thích và phần $P_{mư} = UI_u$ đi vào mạch phản ứng:

$$P_1 = UI = U(I_t + I_u) = P_t + P_{mư} \quad (9.22)$$

* Công suất $P_{mư}$, sau khi trừ đi tổn hao $P_u = R_u I_u^2$ trong mạch phản ứng, còn lại được biến thành cơ năng, gọi là công suất điện từ :

$$P_{dt} = P_{mư} - P_u$$

$$P_{dt} = UI_u - R_u I_u^2 = E_u I_u \quad (9.23)$$

Công suất điện từ sau khi trừ đi tổn hao quay $P_q = P_{m,q} + P_{Fe} + P_f$, còn lại là công suất có ích ở đầu trục động cơ P_2 (công suất ra) :

$$P_2 = P_{dt} - P_q \quad (9.24)$$

Giản đồ năng lượng động cơ một chiều kích thích song song trên hình 9.23.

VÍ DỤ 9.3

Một động cơ một chiều kích từ song song có $P_{dm} = 112kW$, $U_{dm} = 240V$, $n_{dm} = 650$ vòng/phút. Máy đang kéo tải có công suất $94kW$ với dòng điện $420A$. Điện trở của mạch phản ứng $R_u = 0,0125 \Omega$ và mạch kích từ $R_{mt} = 32,0 \Omega$. Xác định :

- Tổn hao điện trong động cơ một chiều.
- Tổn hao quay.
- Hiệu suất động cơ.

Giải

a. Tổn hao điện trong động cơ một chiều

Từ hình VD 9.3, ta có :

$$I_t = \frac{U_{dm}}{R_{mt}} = \frac{240}{32} = 7,5 \text{ A}$$

$$I_u = I - I_t = 420 - 7,5 = 412,5 \text{ A}$$

$$P_t = U_t \cdot I_t = 240 \times 7,5 = 1800 \text{ W}$$

$$P_u = R_u \cdot I_u^2 = 0,0125 \cdot 412,5^2 = 2127 \text{ W}$$

Tổn hao điện :

$$P_u + P_t = 2127 + 1800 = 3927 \text{ W}$$

b. Tổn hao quay :

Sdd phản ứng động cơ một chiều :

$$E_u = U - R_u I_u = 240 - 0,0125 \cdot 412,5 = 234,84 \text{ V}$$

Công suất điện từ :

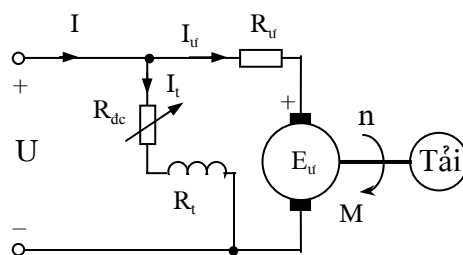
$$P_{dt} = E_u \cdot I_u = 234,84 \cdot 412,5 = 96873 \text{ W}$$

Tổn hao quay :

$$P_q = P_{dt} - P_2 = 96873 - 94000 = 2873 \text{ W}$$

c. Hiệu suất động cơ :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} = \frac{94000}{94000 + 3927 + 2873} = 0,9325 = 93,25\%$$

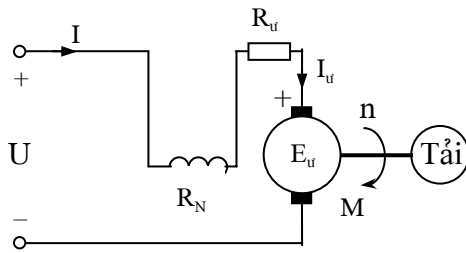


Hình VD9.3 Mạch tương đương của động cơ kích từ song song

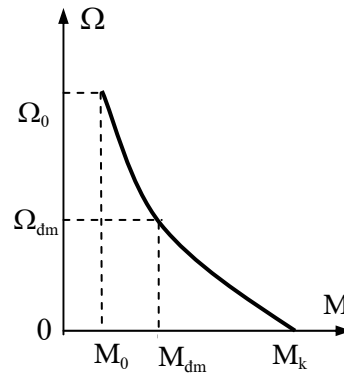
9.8.2. Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp (série)

1. Mạch điện tương đương và các phương trình

Động cơ kích từ nối tiếp có cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phản ứng. Vì dòng kích từ bằng dòng điện phản ứng nên cuộn kích từ có tiết diện lớn, ít vòng dây và điện trở nhỏ. Mạch điện tương đương trình bày trên hình 9.24, với R_n là điện trở của dây quấn kích từ nối tiếp.



Hình 9.24 Mạch tương đương của động cơ kích từ song song



Hình 9.25 Đặc tính của động cơ kích từ nối tiếp

Các phương trình cân bằng là :

$$I = I_n = I_u \quad (9.25)$$

$$E_u = U - (R_n + R_u)I_u = k_E \Phi n \quad (9.26)$$

Chú ý : Ở đây dòng điện I_u và từ thông $\Phi(I_u)$ phụ thuộc tải của động cơ.

2. Đặc tính cơ $\Omega = f(M)$.

Đó là đường cong quan hệ $\Omega = f(M)$ khi điện áp $U = \text{const}$.

Theo công thức (9.4) và $\Phi = k_\Phi I_u$, ta có $M = k_M k_\Phi I_u^2$ (9.27)

Khi I_u nhỏ, từ biểu thức (9.19) và (9.27), ta có :

$$\Omega = \frac{U}{\sqrt{k_M k_\Phi}} \times \frac{1}{\sqrt{M}} - \frac{R_u + R_n}{k_M k_\Phi} \quad (9.28)$$

$$\Omega = \frac{A}{\sqrt{M}} - B \quad (9.29)$$

Vậy đặc tính cơ của động cơ kích thích nối tiếp có dạng hypebôn (hình 9.25). Khi tốc độ $\Omega = 0$ moment khởi động M_k của động cơ kích thích nối tiếp có giá trị rất lớn. Khi tải giảm nhiều, I_u nhỏ, Φ nhỏ, động cơ sẽ quay rất nhanh. Đặc biệt lúc động cơ không tải, dòng điện $I_u = I_0$ rất nhỏ khiến tốc độ quá lớn, rất nguy hiểm. Vì vậy cần phải vận hành động cơ kích từ nối tiếp sao cho tình trạng khởi động không tải hoặc làm việc không tải không xảy ra; và cũng cần tránh động cơ làm việc quá non tải.

Khi I_u lớn, mạch từ bão hòa, từ thông $\Phi(I_u)$ tăng chậm hơn nghĩa là $\Phi(I_u) < k_\Phi I_u$ nên đặc tính ở trên hypebôn đó.

9.8.3. Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp

1. Mạch điện tương đương và các phương trình

Giống máy phát kích từ hỗn hợp, trên mỗi cực từ mang hai dây quấn kích từ : song song có điện trở R_t ; nối tiếp có điện trở R_n .

Từ hình 9.26, ta viết được các phương trình làm việc là:

$$I = I_u + I_{kt} ; I_n = I_u \quad (9.30)$$

$$E_u = U - R_n I_n - R_u I_u = U - (R_{kn} + R_{kq}) I_u \quad (9.31)$$

$$U_{kt} = U = R_{kt} I_{kt} \quad (9.32)$$

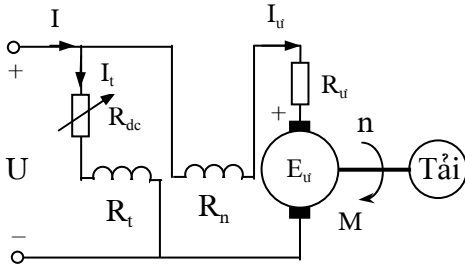
S.p.đ.đ E trong (9.32) là :

$$E_u = k_E n (\Phi_s \pm \Phi_n) = k_M \Omega (\Phi_s \pm \Phi_n) \quad (9.33)$$

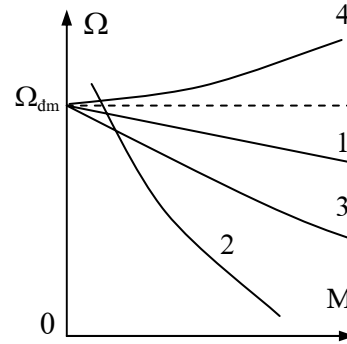
Trong đó : dấu (+) ứng với hỗn hợp cộng; dấu (-) ứng với hỗn hợp trừ. Động cơ hỗn hợp trừ ít được dùng vì không ổn định.

2. Đặc tính cơ (tốc độ - Moment) $\Omega = f(M)$.

Đó là đường cong quan hệ $\Omega = f(M)$ khi điện áp $U = \text{const}$ và điện trở điều chỉnh $R_{dc} = \text{const}$.



Hình 9.26 Mạch tương đương của động cơ kích từ hỗn hợp



Hình 9.27 Các đặc tính của động cơ một chiều.
(1) song song ; (2) nối tiếp ; (3) hỗn hợp cộng ;
(4) hỗn hợp trừ.

Biết được quan hệ $\Phi_n = f(I_u)$, từ biểu thức (9.18) và (9.33), ta có :

$$\Omega = \frac{U}{k_M (\Phi_s \pm \Phi_n)} - \frac{(R_u + R_n) M}{k_M^2 (\Phi_s \pm \Phi_n)^2} \quad (9.34)$$

Đây chính là phương trình thông số của đường cong đặc tính cơ động cơ một chiều (hình 9.27).

9.8.4. Khởi động động cơ điện một chiều

Khởi động là quá trình đóng điện vào động cơ để động cơ làm việc.

1. Khởi động trực tiếp

Ta có phương trình cân bằng điện áp ở mạch phản ứng :

$$U = E_u + R_u I_u \quad (9.35)$$

Từ (9.35), rút ra :

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \quad (9.36)$$

Khi khởi động, tốc độ $\Omega = 0$, spđđ $E_u = k_M \Phi \Omega = 0$, dòng điện phản ứng lúc khởi động trực tiếp là :

$$I_{u.khởi} = \frac{U}{R_u} \quad (9.37)$$

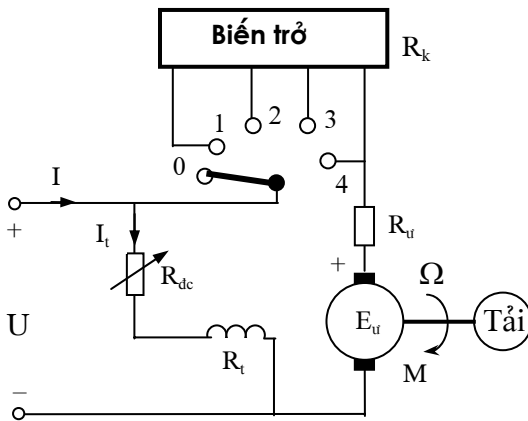
Vì điện trở R_u rất nhỏ, cho nên dòng điện phản ứng lúc khởi động rất lớn khoảng $(20-30)I_{dm}$, làm hỏng chổi than và cổ góp, đồng thời ảnh hưởng đến lưới điện. Phương pháp này chỉ cho phép khởi động các động cơ có công suất nhỏ hơn 2kW.

Để hạn chế dòng điện khởi động, đạt $I_K = (1,5-2)I_{dm}$, ta có các biện pháp sau :

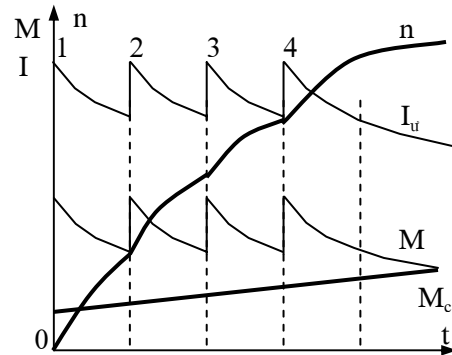
2. Khởi động dùng biến trở R_K

Mắc biến trở nối tiếp vào mạch phản ứng (hình 9.28). Dòng điện khởi động lúc có biến trở khởi động là :

$$I_{k1} = \frac{U}{R_u + R_{k1}} \quad (9.38)$$



Hình 9.28 Dùng biến trở điều chỉnh tốc độ (khởi động) động cơ kích từ song song



Hình 9.29 Các quan hệ I , M , n với thời gian t khi khởi động động cơ

Lúc đầu để biến trở khởi động R_K ở vị trí lớn nhất, trong quá trình khởi động, tốc độ tăng lên, spđđ E_u tăng lên và giảm dần R_K về không, động cơ làm việc với điện áp định mức (hình 9.29).

VÍ DỤ 9.4

Một động cơ điện một chiều kích từ song song có $P_{dm} = 11 \text{ kW}$, $U_{dm} = 230 \text{ V}$, $I_{dm} = 56,2 \text{ A}$ (gồm dòng điện phần ứng và dòng điện kích từ), $n_{dm} = 1750 \text{ vg/ph}$. Điện trở phần ứng $R_u = 0,28 \Omega$, điện trở mạch kích từ $R_{mt} = 137 \Omega$. Xác định (a) mômen định mức; (b) dòng điện phần ứng khi rôto đứng yên nếu không dùng điện trở khởi động; (c) điện trở khởi động mắc nối tiếp với mạch phần ứng khi mômen tăng 200% và dòng điện không đổi so với định mức.

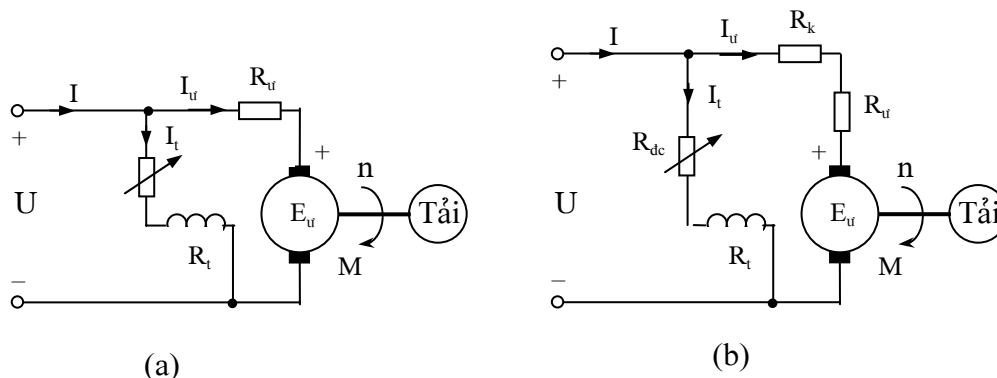
Giải

a. Mômen định mức :

$$M_{dm} = \frac{9550 P_{dm}}{n} = \frac{9550 \times 11}{1750} = 60 \text{ Nm}$$

b. Dòng điện phần ứng khi rôto đứng yên (hình VD 9.4a)

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u} = \frac{230 - 0}{0,28} = 821,4 \text{ A}$$



Hình VD 9.4 Mạch tương đương của động cơ kích từ song song

c. Tính điện trở khởi động :

Dòng điện kích từ :

$$I_t = \frac{U_t}{R_{mt}} = \frac{230}{137} = 1,68 \text{ A}$$

Dòng điện phần ứng khi tải định mức :

$$I_u = I_{dm} - I_t = 56,2 - 1,68 = 54,52 \text{ A}$$

Cho rằng từ thông kích từ không đổi thì mômen tỉ lệ dòng điện phần ứng :

$$\frac{I_{u1}}{I_{u2}} = \frac{M_1}{M_2} \Rightarrow I_{u2} = I_{u1} \frac{M_2}{M_1} = 54,52 \times \frac{2.M_1}{M_1} = 109,0 \text{ A}$$

Áp dụng định luật Kirchhoff về áp cho mạch điện hình VD 9.4b, ta có :

$$U = E_u + I_u (R_u + R_k) \Rightarrow R_k = \frac{U - E_u}{I_u} - R_u$$

$$R_k = \frac{230 - 0}{109} - 0,28 = 1,83 \Omega$$

3. Khởi động bằng cách giảm điện áp đặt vào phần ứng

Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn một chiều có thể điều chỉnh được điện áp. Ví dụ trong hệ thống T - Đ (thyristor - động cơ) đang sử dụng phổ biến (hình 9.32).

9.8.5. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

Đặc tính cơ của các loại động cơ một chiều trình bày trên hình 9.27, còn phụ tải khác nhau yêu cầu tốc độ khác nhau. Vì vậy để phù hợp với tải cần phải điều chỉnh tốc độ động cơ lúc có tải.

Từ công thức (9.18), ta viết lại như sau :

$$\Omega = \frac{U}{k_M(\Phi_s \pm \Phi_n)} - \frac{(R_u + R_n + R_p)M}{k_M^2(\Phi_s \pm \Phi_n)^2} \quad (9.39)$$

Trong đó, R_p : điện trở phụ mắc vào mạch phần ứng ($R_p = R_K$, hình 9.28).

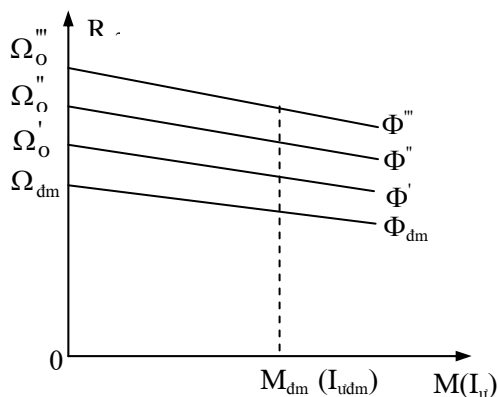
Trên cơ sở công thức (9.39), ta có các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều như sau :

- + Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ .
- + Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U .
- + Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_p .

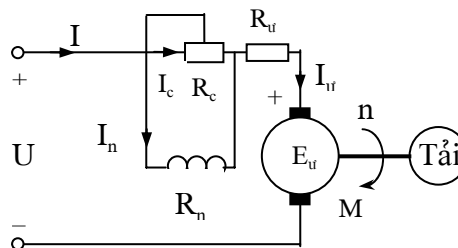
Trong đó, R_p : điện trở phụ mắc vào mạch phần ứng ($R_p = R_K$, hình 9.28).

1. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ

Như ta đã biết thay đổi từ thông thì thay đổi được tốc độ. Với động cơ kích từ song song hoặc hỗn hợp, ta thay đổi từ thông Φ_n bằng cách thay đổi R_{dc} để thay đổi dòng điện kích từ I_t (hình 9.26). Họ đặc tính cơ khi thay đổi từ thông của động cơ kích từ song song như trình bày trên hình 9.30. Khi giảm dòng điện kích từ, từ thông giảm, đặc tính cơ dịch chuyển lên trên, tức tốc độ động cơ tăng. Còn động cơ kích từ nối tiếp, ta dùng một biến trở R_c ghép song song với cuộn dây kích từ nối tiếp như trên hình 9.31. Lúc đó R_c sẽ có dòng I_c chạy qua, nên dòng qua R_n chỉ còn $(I_u - I_c)$. Như vậy từ thông Φ_n được điều chỉnh bằng R_c .



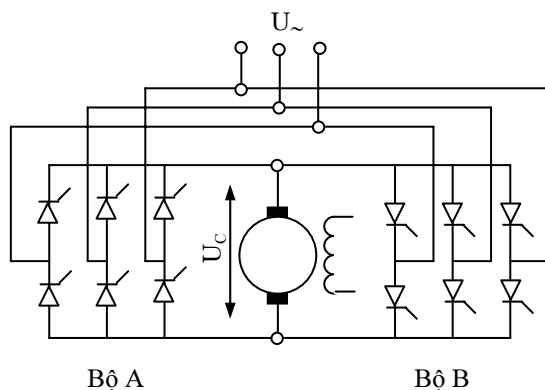
Hình 9.30 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ song song với các α_{kt} khác nhau



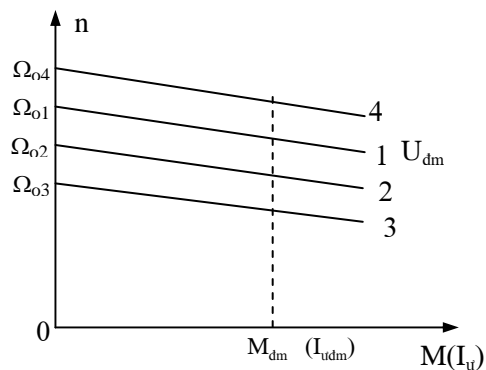
Hình 9.31 Điều chỉnh tốc độ động cơ kích từ nối tiếp dùng R_c

2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U

Phương pháp này được sử dụng khi có hai nguồn. Một nguồn có thể điều chỉnh điện áp được để nối với mạch phản ứng và một nguồn khác nối với mạch kích từ. Ví dụ trong hệ thống T - Đ (thyristor - động cơ) đang sử dụng phổ biến (hình 9.32).



Hình 9.32 Dùng bộ biến đổi thyristor thay đổi U_c để điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều

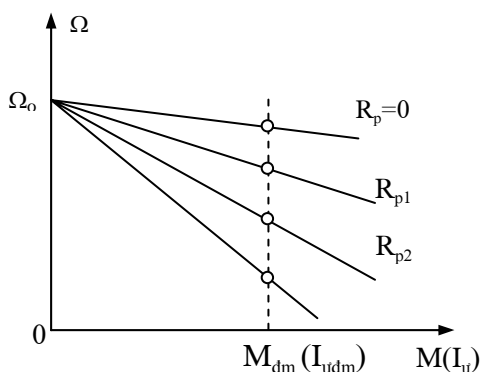


Hình 9.33 Đặc tính cơ (tốc độ) của động cơ điện một chiều kích từ độc lập với các U khác nhau

Bộ biến đổi A và B được nối song song ngược, trong đó bộ B được dùng khi cần đổi chiều quay động cơ.

Khi thay đổi U , họ đặc tính cơ trình bày trên hình 9.33. Đường 1 ứng với U_{dm} , đường 3 và 2 ứng với $U_3 < U_2 < U_{dm}$, còn đường 4 ứng với $U_4 > U_{dm}$.

3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_p



Hình 9.34 Đặc tính cơ (tốc độ) của động cơ điện một chiều kích từ song song với các R_p khác nhau

Khi mất thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng như trên hình 9.26, điện trở R_p tăng lên đặc tính cơ dốc xuống như hình 9.34, tốc độ động cơ giảm dần. Do dòng điện phản ứng lớn nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ. Động cơ không tải dù có thay đổi điện trở phụ thì tốc độ động cơ cũng không đổi.



BÀI TẬP

9.1 Một máy phát điện một chiều lúc quay không tải ở tốc độ $n = 1000 \text{ vg/ph}$ thì sdd phát ra bằng $E_o = 222 \text{ V}$. Hỏi lúc không tải muốn phát ra sdd định mức $E_{odm} = 220 \text{ V}$ thì tốc độ lúc này phải bằng bao nhiêu khi giữ dòng điện kích từ không đổi ?

Đáp số : $n_{odm} = 990 \text{ vg/ph}$

9.2 Một động cơ điện một chiều kích từ song song có $P_{dm} = 5,5 \text{ kW}$, $U_{dm} = 110 \text{ V}$, $I_{dm} = 58 \text{ A}$ (gồm dòng điện phản ứng và dòng điện kích từ), $n_{dm} = 1470 \text{ vg/ph}$. Điện trở phản ứng $R_u = 0,15 \Omega$, điện trở mạch kích từ $R_{kt} = 137 \Omega$, điện áp rơi trên chổi than $2\Delta U = 2 \text{ V}$. Hỏi dòng điện, sdd phản ứng phần ứng và moment điện từ ?

Đáp số : $I_u = 57,2 \text{ A}$; $E_u = 99,4 \text{ V}$; $M_{dt} = 36,9 \text{ N.m}$

9.3 Một động cơ điện một chiều kích từ song song có các số liệu sau : $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $I_{dm} = 52 \text{ A}$ (gồm dòng điện phản ứng và dòng điện kích từ), điện trở $R_u = 0,4 \Omega$, điện trở mạch kích từ $R_{kt} = 110 \Omega$, tốc độ không tải $n_o = 1100 \text{ vg/ph}$. Hãy tìm :

- SDD phản ứng lúc tải định mức ?
- Tốc độ lúc tải định mức ?
- Công suất điện từ và moment điện từ lúc tải định mức ?

(Khi phân tích bỏ qua dòng điện không tải)

Đáp số : $E_{u, dm} = 200 \text{ V}$; $n_{dm} = 1000 \text{ vg/ph}$;

$P_{dt} = 10 \text{ kW}$; $M_{dt} = 95,5 \text{ N.m}$

9.4 Một động cơ điện một chiều kích từ song song có các số liệu sau : $P_{dm} = 96 \text{ kW}$, $U_{dm} = 440 \text{ V}$, $I_{dm} = 255 \text{ A}$, $I_{kt} = 5 \text{ A}$, $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$, $R_u = 0,078 \Omega$. Hãy tìm :

- Moment định mức ở đầu trục M_2 ?
- Moment điện từ lúc tải định mức ?
- Tốc độ quay lúc không tải lý tưởng?

Đáp số : $M_{2dm} = 1833,5 \text{ N.m}$; $M_{dt} = 2007,7 \text{ N.m}$; $n_0 = 523 \text{ vg/ph}$;

9.5 Một máy phát điện một chiều kích từ độc lập $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $n_{dm} = 1000 \text{ vg/ph}$. Biết rằng ở tốc độ $n = 750 \text{ vg/ph}$ thì sdd lúc không tải $E_o = 176 \text{ V}$. Hãy tìm sdd và dòng điện phần ứng lúc tải định mức, biết rằng điện trở phần ứng là $R_u = 0,4 \Omega$?

Đáp số : $E_{udm} = 234,6 \text{ V}$; $I_{u.dm} = 36,5 \text{ A}$.

9.6 Một động cơ điện một chiều kích từ song song có các số liệu sau : $P_{dm} = 95 \text{ kW}$, $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $I_{dm} = 470 \text{ A}$, $I_{kt.dm} = 4,25 \text{ A}$, $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$, $R_u = 0,025 \Omega$. Hãy tìm :

- Hiệu suất của động cơ ?
- Tổn hao đồng trong máy, tổn hao không tải và dòng điện không tải ?
- Moment định mức ?
- Điện trở phụ R_p cần thiết để động cơ quay với tốc độ $n = n_{dm}$, $I_u = I_{udm}$ và từ thông giảm 40% ?
- Điện trở phụ R_p cần thiết để động cơ quay với tốc độ $n = n_{dm}$, $I_u = 0,85 I_{udm}$ và từ thông giảm 25% ?

Đáp số : $\eta = 91,8\%$; $P = 5,42 \text{ kW}$; $P_o = 2,04 \text{ kW}$; $I_o = 13,5 \text{ A}$

$M_{2dm} = 1814,5 \text{ N.m}$; $R_p = 0,18 \Omega$; $R'_p = 0,136 \Omega$.

9.7 Một động cơ điện một chiều kích từ song song có các số liệu sau : $P_{dm} = 17 \text{ kW}$, $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $n_{dm} = 1150 \text{ vg/ph}$, $R_u = 0,1 \Omega$, $M_{dt} = 12 \text{ kG.m}$. Hãy xác định :

- Công suất điện từ và dòng điện phần ứng ?
- Điện trở phụ R_p mắc thêm mạch phần ứng để động cơ quay với tốc độ $n = 500 \text{ vg/ph}$ khi moment tải không đổi (bỏ qua phản ứng phần ứng) ?

Đáp số : $P_{dt} = 14,5 \text{ kW}$; $I_u = 66,3 \text{ A}$; $R_p = 1,82 \Omega$.

9.8 Một máy điện phát một chiều kích từ song song có $P_{dm} = 30 \text{ kW}$, $U_{dm} = 220 \text{ V}$, điện trở phần ứng $R_u = 0,13 \Omega$ và dòng điện phần ứng $I_u = 138,2 \text{ A}$. Cho biết tổn hao quay bằng $4\% P_{dm}$. Tính

- Dòng điện định mức và điện trở mạch kích từ song song R_{kt} ?
- Công suất cơ của động cơ sơ cấp P_1 ?
- Hiệu suất của máy.

Đáp số : (a) $136,4 \text{ A}$, $122,2 \Omega$; (b) 34090 W ; (c) $88,12\%$

