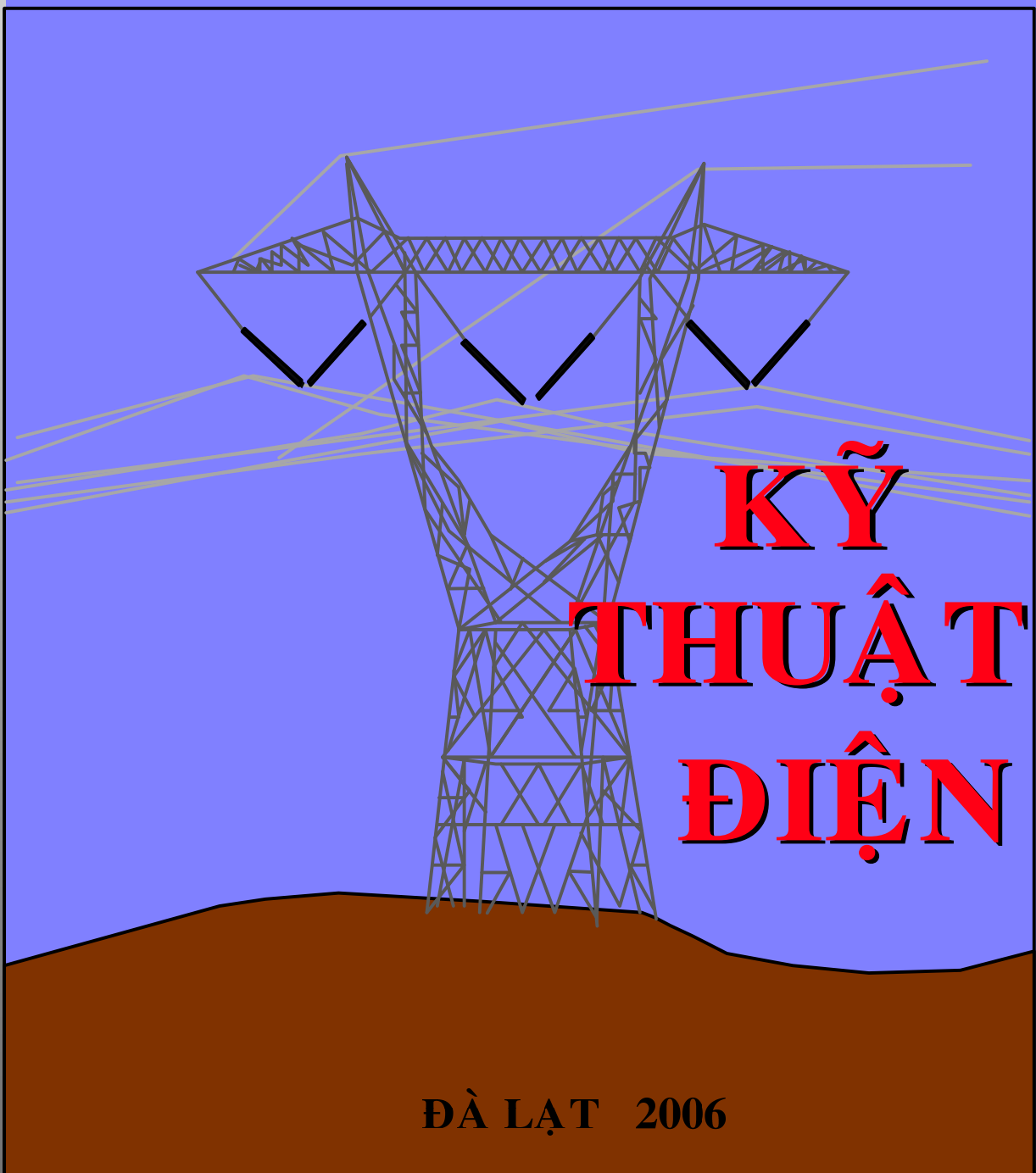


BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐÀ LẠT



TS. LƯU THẾ VINH



ĐÀ LẠT 2006

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐÀ LẠT



TS. LÙU THẾ VINH

KỸ THUẬT ĐIỆN



Đà Lạt 2006

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình kỹ thuật điện nhằm trang bị cho người học những kiến thức cơ bản về ứng dụng năng lượng điện trong sản xuất và đời sống. So với các dạng năng lượng khác năng lượng điện có những ưu điểm hết sức to lớn sau đây:

Điện năng được sản xuất tập trung với nguồn công suất rất lớn

Dễ dàng biến đổi và truyền tải đi xa nhờ máy biến thế

Dễ dàng biến đổi sang các dạng năng lượng khác.

Nhờ điện năng có thể tự động hóa toàn bộ quá trình sản xuất cũng như các dịch vụ kỹ thuật khác.

Việt Nam có tiềm năng hết sức to lớn về các nguồn năng lượng, nhưng do hậu quả chiến tranh kéo dài, ảnh hưởng cơ chế quan liêu bao cấp làm cho nền sản xuất còn khá lạc hậu. Sản lượng điện năm 1975 cả nước chỉ có 1,5 tỷ kWh. Sau giải phóng chúng ta đã củng cố và xây dựng thêm nhiều nhà máy điện lớn, Thủy điện Hòa Bình với công suất 1.920 MW, thủy điện Trị an (440MW), Nhiệt điện Phả Lại I (440MW), Nhiệt điện Phả Lại II (600MW), thủy điện Ialy (720MW) ,... Hiện nay đang triển khai xây dựng nhà máy Thủy điện Sơn La , dự án nhà máy điện nguyên tử ở Bình Thuận. Năm 2003 sản lượng điện cả nước đã đạt 41 tỷ kWh bình quân 500kW/ đầu người năm. Theo lộ trình phát triển tới năm 2010 sẽ đạt 70 tỷkWh, năm 2020 đạt 170 tỷ kWh. Để đáp ứng nhu cầu phụ tải điện đến năm 2015 Việt nam sẽ xây dựng 61 nhà máy điện với tổng công suất 21.658 MW, trong đó có 32 nhà máy thủy điện với tổng công suất 7.975 MW, 17 nhà máy điện tuabin khí với tổng công suất 9.783 MW và 12 nhà máy nhiệt điện than với tổng công suất 3.900 MW. Hiện nay đường truyền tải điện siêu cao áp 500 kV Bắc Nam được xem là huyết mạch chính của năng lượng điện Quốc gia. Tuyến 500 kV thứ hai đang được xây dựng. Tốc độ tăng trưởng điện năng giai đoạn 2003 – 2010 là 15%. Vốn đầu tư trung bình 2,16 tỷ USD mỗi năm.

Ngành sản xuất thiết bị điện đang được đầu tư phát triển. Các máy biến áp 110 kV, 25MVA và 63 MVA đã và đang được sản xuất hàng loạt. Máy biến áp 220 kV, 125 MVA đầu tiên đi vào sản xuất từ năm 2004 tại công ty thiết bị điện Đông Anh. Các động cơ điện công suất tới 1000 kW đã được chế tạo tại công ty chế tạo Việt Hưng, công ty chế tạo điện cơ Hà Nội, Thủ Đức,...

Giáo trình kỹ thuật điện được biên soạn theo chương trình khung đào tạo cử nhân Vật lý của Trường Đại học Đà Lạt bắt đầu thực hiện từ năm 2001. Tài liệu được biên soạn trên cơ sở người học đã học xong môn điện từ học, do đó không đi sâu vào mặt lý luận các hiện tượng mà chủ yếu nghiên cứu các phương pháp tính toán và các ứng dụng kỹ thuật của các hiện tượng điện từ.

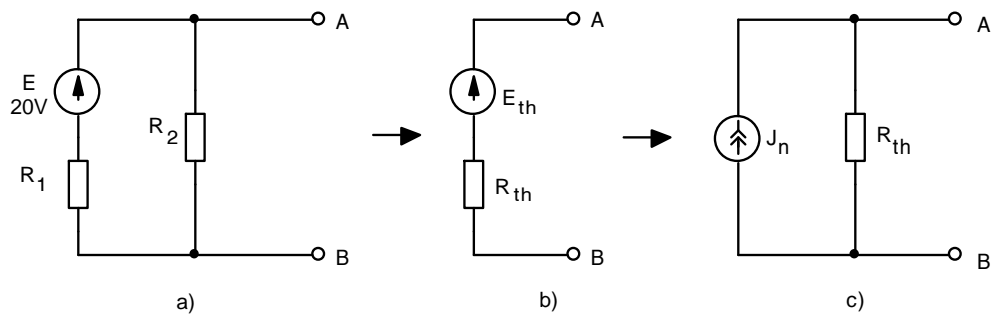
Giáo trình được chia làm 2 phần với 9 chương, trong đó phần 1 cung cấp các kiến thức về cơ sở lý thuyết và các phương pháp tính toán mạch điện. Phần thứ 2 cung cấp các kiến thức về nguyên lý, cấu tạo, đặc tính và ứng dụng các loại máy điện cơ bản.

Tác giả bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến tập thể bộ môn Điện tử – tự động hóa, cán bộ Khoa Vật Lý đã tạo điều kiện để tài liệu được hoàn thành. Vì là tài liệu biên soạn lần đầu nên chắc chắn còn nhiều thiếu sót, rất mong nhận được ý kiến đóng góp từ độc giả và các bạn đồng nghiệp.

TÁC GIẢ

Phần thứ nhất

CƠ SỞ LÝ THUYẾT & CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MẠCH ĐIỆN



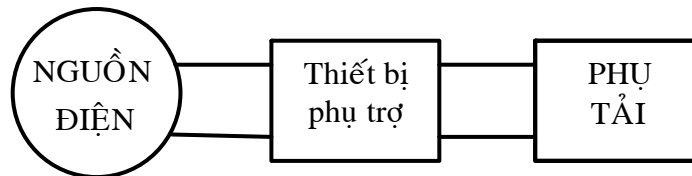
Chương 1.

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

§ 1.1. MẠCH ĐIỆN VÀ CÁC PHẦN TỬ MẠCH.

1.1.1. Mạch điện:

Mạch điện là tổ hợp các thiết bị điện bao gồm nguồn, phụ tải được nối với nhau bằng dây dẫn theo một cách thức nhất định thông qua các thiết bị phụ trợ (hình 1-1).



Hình 1-1

* *Nguồn điện*: Nơi sản sinh ra năng lượng điện để cung cấp cho mạch. Nguồn điện có thể là nguồn một chiều hoặc xoay chiều.

Nguồn một chiều: Pin, acquy, máy phát điện một chiều...

Nguồn xoay chiều: Lấy từ lưới điện, máy phát điện xoay chiều.

Các nguồn điện công suất lớn thường được truyền tải từ các nhà máy điện (nhiệt điện, thủy điện, điện nguyên tử...).

Các nguồn điện một chiều thường được đặc trưng bằng suất điện động E , điện trở nội r . Với nguồn xoay chiều thường biểu diễn bằng công suất P (công suất máy phát) và hiệu điện thế lối ra U .

* *Phụ tải*: Là các thiết bị sử dụng điện năng để chuyển hóa thành một dạng năng lượng khác, như đèn để thắp sáng (quang năng), chạy các động cơ điện (cơ năng), đèn để chạy các lò điện (nhiệt năng)... . Các thiết bị tiêu thụ điện thường được gọi là phụ tải (hoặc tải) và ký hiệu bằng điện trở R hoặc bằng trở kháng Z .

* *Dây dẫn*: Có nhiệm vụ liên kết và truyền dẫn dòng điện từ nguồn điện đến nơi tiêu thụ.

* Các thiết bị phụ trợ: như các thiết bị đóng cắt (cầu dao, công tắc...), các máy đo (ampe kế, vôn kế, óat kế ...), các thiết bị bảo vệ (cầu chì, aptô-mát ...).

1.1.2. Kết cấu hình học của mạch điện.

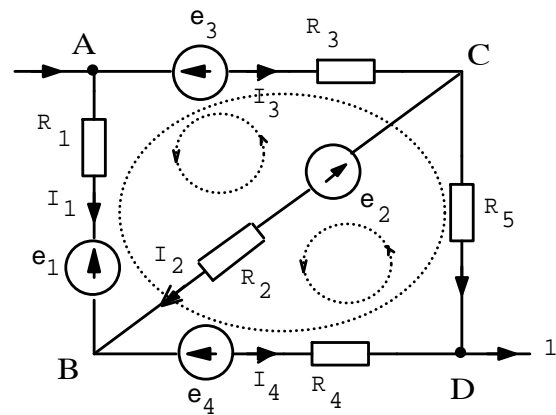
Một mạch điện phức tạp bao gồm nhiều nhánh kết nối với nhau tạo thành các mạch vòng khép kín (mắt) giao kết tại các nút.

* *Nhánh*: là một phần của mạch điện, trong đó các phần tử mạch mắc nối tiếp với nhau sao cho có cùng một dòng điện chạy qua.

* *Nút*: là chỗ giao nhau của các nhánh.

* *Mắt*: là một mạch vòng khép kín liên kết nhờ các nhánh.

Ví dụ: Mạch điện trên hình 1-2 gồm 5 nhánh AB, AC, CB, CD và BD kết nối với nhau tạo thành 4 nút A, B, C và D. Các mạch vòng khép kín tạo thành các mắt (ACBA), (BCDB) và (ACDBA).



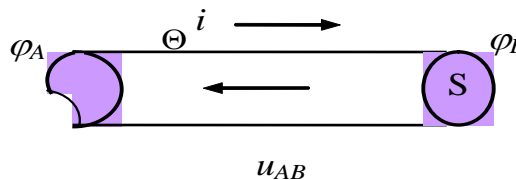
Hình 1-2

1.1.3. Các đại lượng đặc trưng quá trình năng lượng trong mạch điện.

Năng lượng điện tác dụng trong mạch được đặc trưng bằng các đại lượng là dòng điện i và điện áp u hoặc bằng công suất tác dụng $p = ui$.

* *Dòng điện*. Dòng điện i chạy trong mạch có trị số bằng tốc độ biến thiên của điện tích qua tiết diện ngang của vật dẫn.

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$



Hình 1-3

Chiều dòng điện được quy ước ngược với chiều chuyển động của các electron (hình 1-3).

* *Điện áp u* . Tại mỗi điểm trong mạch điện có một điện thế φ . Hiệu điện thế giữa hai điểm gọi là điện áp u . Chẳng hạn hiệu điện thế giữa hai điểm A và B trên hình 1.3 được gọi là điện áp u_{AB} .

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-2)$$

Chiều điện áp được quy ước là chiều từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp.

* *Công suất p* . Trên các đoạn mạch điện, các phần tử có thể nhận hoặc phát năng lượng. Khi chọn chiều dòng điện và điện áp trên nhánh trùng nhau (hình 1.3) ta có các quá trình năng lượng sau:

Nếu $p = ui > 0$ - nhánh nhận năng lượng.

Nếu $p = ui < 0$ - nhánh phát năng lượng.

Khi chọn chiều của dòng điện và điện áp ngược nhau ta sẽ có các kết luận ngược lại.

Trong hệ đơn vị SI đơn vị dòng điện là ampe (A), đơn vị điện áp là vôn (V), đơn vị của công suất là oát (W).

§ 1.2. MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN

Để tiện lợi khi tính toán thiết kế và khảo sát các quá trình điện từ xảy ra trong mạch điện người ta sử dụng phương pháp mô hình. Mạch điện thực tế với các thiết bị điện được thay thế bằng mô hình mạch với các phần tử lý tưởng đặc trưng cho một quá trình nào đó. Mô hình mạch chứa các phần tử tích cực (active): nguồn áp $u(t)$, nguồn dòng $i(t)$ và các phần tử thụ động (passive): điện trở R , điện cảm L và điện dung C .

1.2.1. Nguồn áp $u(t)$.

Nguồn áp $u(t)$ hay máy phát điện áp còn được gọi là nguồn sức điện động $e(t)$ đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một điện áp không đổi trên hai cực của nguồn.

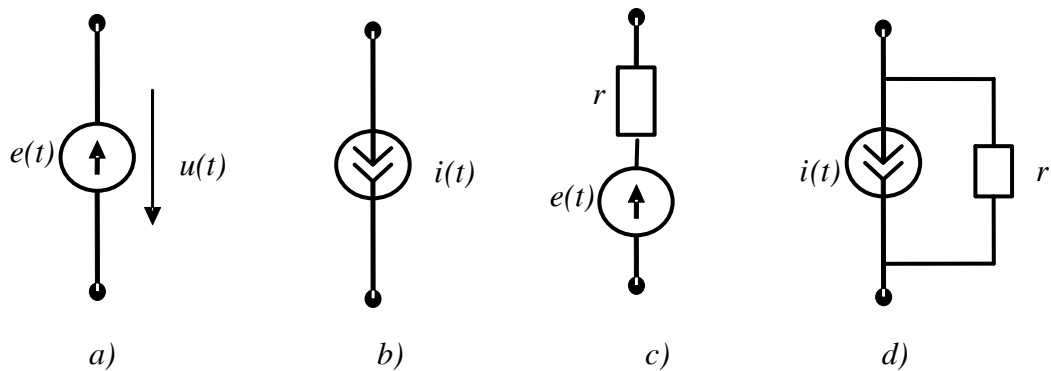
Đặc tính quan trọng của nguồn áp là có điện trở nội $r = 0$, hiệu điện thế trên hai cực của nguồn là không đổi và không phụ thuộc vào giá trị của phụ tải. Ký hiệu quy ước của nguồn áp như hình 1-4, a . Ta có giá trị của nguồn áp:

$$u(t) = -e(t) \quad (1-3)$$

1.2.2. Nguồn dòng điện $i(t)$.

Nguồn dòng điện $i(t)$ hay máy phát dòng đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một dòng điện không đổi trong mạch. Đặc tính quan trọng của nguồn dòng là có nội trở $r = \infty$ và giá trị của dòng điện trong mạch không phụ thuộc vào phụ tải. Ký hiệu quy ước của nguồn dòng chỉ ra trên hình 1-4, *b*.

Trong thực tế, các bộ nguồn đều có một điện trở nội hữu hạn nào đó. Do vậy, khi thay thế trong mô hình mạch chúng được biểu diễn ở dạng một nguồn sức điện động $e(t)$ mắc nối tiếp với một điện trở r (hình 1-4, *c*), hoặc ở dạng một nguồn dòng điện $i(t)$ mắc song song với một điện trở r (hình 1-4, *d*).



Hình 1-4. Ký hiệu quy ước nguồn áp và nguồn dòng
a, b – Nguồn áp và nguồn dòng lý tưởng.
c, d – Nguồn áp và nguồn dòng thực tế

1.2.3. Điện trở R .

Điện trở R đặc trưng cho vật dẫn về mặt cản trở dòng điện. Về mặt năng lượng điện trở R đặc trưng cho quá trình tiêu thụ điện năng và biến điện năng thành các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, quang năng, cơ năng, ...

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên điện trở là:

$$u_R = R \cdot i \quad (1-4)$$

Công suất thoát ra trên điện trở:

$$p = R \cdot i^2 \quad (1-5)$$

Trong hệ đơn vị SI đơn vị điện trở là ôm (Ω).

1.2.4. Điện cảm L .

Một cuộn dây có dòng điện i chạy qua sẽ sinh ra từ trường. Từ thông gửi qua n vòng của cuộn dây là $\psi = n \cdot \Phi$. Điện cảm của cuộn dây được định nghĩa là:

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{n \cdot \Phi}{i} \quad (1-6)$$

Khi dòng điện biến thiên trong cuộn dây xuất hiện một sức điện động tự cảm e_L .

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-7)$$

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên cuộn cảm:

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt}; \quad i = \frac{1}{L} \int u_L dt \quad (1-8)$$

Công suất trên cuộn dây:

$$p_L = u_L i = L i \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

Năng lượng từ trường tích lũy trong cuộn dây:

$$W = \int_0^t p_L dt = \int_0^I L i di = \frac{1}{2} L I^2 \quad (1-10)$$

Trong hệ đơn vị SI đơn vị điện cảm là henri (H).

1.2.5. Điện dung C .

Khi nối hai đầu của một tụ điện có điện dung C vào nguồn điện áp u , tụ điện sẽ được tích điện. Độ lớn của điện tích q :

$$q = C u \quad (1-11)$$

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên tụ điện là:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(Cu) = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

và:
$$u = \frac{1}{C} \int i dt$$

Năng lượng tích lũy trên tụ điện:

$$W = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-13)$$

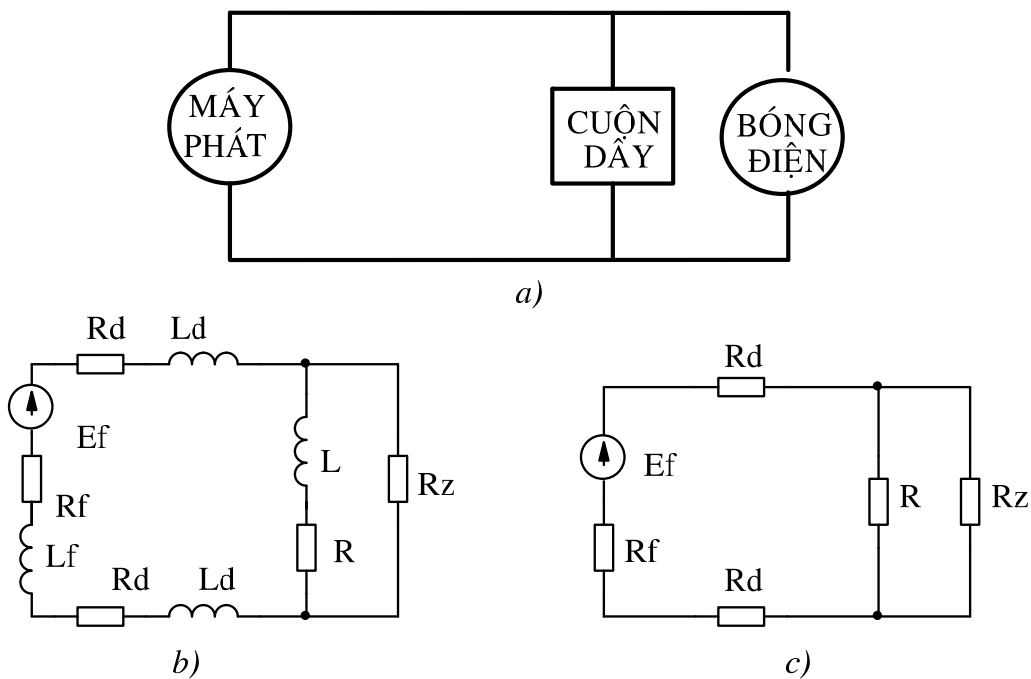
Trong hệ đơn vị SI đơn vị điện dung là fara (F).

1.2.6. Mô hình mạch.

Mô hình mạch là sơ đồ thay thế tương đương các phần tử mạch bằng các phần tử mô hình lý tưởng e, i, R, L, C sao cho kết cấu hình học và các quá trình năng lượng xảy ra trong mạch giống như ở mạch điện thực.

Để thiết lập mô hình mạch ta phân tích các quá trình năng lượng xảy ra trong từng phần tử mạch và thay thế chúng bằng các phần tử tương đương. Khi phân tích cần chú ý rằng, tùy thuộc vào điều kiện làm việc của mạch điện, đặc biệt là dải tần công tác mà sơ đồ thay thế sẽ khác nhau.

Ví dụ. Ta hãy xét một mạch điện thực tế gồm một máy phát cung cấp điện cho phụ tải là một bóng đèn mắc song song với một cuộn dây theo sơ đồ hình 1-5, a. Khi chuyển sang sơ đồ thay thế đối với dòng điện xoay chiều, máy phát điện được thay thế bằng (E_f, L_f, R_f) . Phụ tải là bóng đèn thay thế bằng R_z , còn cuộn dây bằng (L_d, R_d) (hình 1-5, b). Tuy nhiên khi chuyển sang sơ đồ thay thế đối với điện một chiều, do các phần tử kháng bằng không nên sơ đồ thay thế có dạng đơn giản hơn (hình 1-5, c).



Hình 1-5. Thiết lập mô hình mạch
 a – Sơ đồ thực tế
 b – Sơ đồ tương đương đối với điện xoay chiều.
 c – Sơ đồ tương đương đối với điện một chiều.

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

1.3.1. Phân loại theo tính chất của dòng điện trong mạch.

Theo tính chất của dòng điện trong mạch người ta chia ra 2 loại mạch điện một chiều và mạch điện xoay chiều.

- Mạch điện một chiều là mạch điện được tác dụng bởi nguồn điện áp một chiều trong mạch. Dòng điện chạy trong mạch có trị số và chiều không đổi theo thời gian.
- Mạch điện xoay chiều là mạch điện được tác dụng bởi nguồn điện áp xoay chiều trong mạch, thường là các nguồn điện áp biến thiên theo quy luật hình sin. Dòng điện chạy trong mạch có trị số và chiều thay đổi tuần hoàn theo thời gian.

1.3.2. Phân loại theo tính chất các thông số R, L, C của mạch.

Theo tính chất các thông số R, L, C của mạch người ta chia ra 2 loại mạch điện tuyến tính và mạch điện phi tuyến.

- Mạch điện tuyến tính khi tất cả các phần tử mạch là tuyến tính. Nghĩa là giá trị của các phần tử R, L, C không thay đổi và không phụ thuộc vào dòng điện và điện áp trên chúng.
- Mạch điện phi tuyến khi có chứa các phần tử phi tuyến. Nghĩa là giá trị của các phần tử R, L, C của các phần tử phi tuyến thay đổi phụ thuộc vào dòng điện và điện áp trên chúng.

Trong giáo trình này chủ yếu chúng ta nghiên cứu và khảo sát mạch điện tuyến tính.

1.3.3. Phân loại theo quá trình năng lượng trong mạch.

Theo quá trình năng lượng trong mạch người ta chia ra 2 loại chế độ xác lập và chế độ quá độ.

- Chế độ xác lập xảy ra đối với các quá trình đã ổn định. Ở chế độ xác lập dòng điện và điện áp trên các nhánh của mạch điện biến thiên theo cùng một quy luật của nguồn cung cấp. Đối với mạch điện một chiều: dòng và điện áp trên các phần tử mạch đã ổn định (không đổi). Đối với mạch điện xoay chiều: dòng và điện áp trên các nhánh biến thiên theo quy luật sin với thời gian.
- Chế độ quá độ là quá trình chuyển tiếp từ trạng thái xác lập này sang trạng thái xác lập khác. Chế độ quá độ xảy ra trong các mạch điện có chứa các phần tử kháng L, C ở các thời điểm đóng mạch

và ngắt mạch. Thời gian quá độ thường rất ngắn và phụ thuộc vào giá trị điện kháng của mạch.

1.3.4. Phân loại các bài toán về mạch điện.

Khi nghiên cứu về mạch điện có hai dạng bài toán cơ bản là bài toán phân tích và bài toán tổng hợp.

- Bài toán phân tích. Cho trước kết cấu hình học và các thông số của mạch điện. Cần phải tìm dòng điện, điện áp và công suất trên các nhánh và các phần tử mạch.
- Bài toán tổng hợp. Là bài toán ngược lại cần phải tìm cách thiết kế một sơ đồ mạch thích hợp để thỏa mãn các yêu cầu đặt ra về dòng, điện áp và công suất.

Trong giáo trình này chủ yếu chúng ta khảo sát bài toán phân tích các mạch điện tuyến tính ở chế độ xác lập.

Chương 2.

ĐÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

Đòng điện xoay chiều hình sin là đòng điện xoay chiều biến thiên điều hòa theo quy luật hàm sin với thời gian $I = I_0 \sin (\omega t + \varphi)$.

Đòng điện xoay chiều hình sin được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau của điện kỹ thuật. Năng lượng điện trong hầu hết các trường hợp đều được sản xuất, phân phối và tiêu thụ dưới dạng điện xoay chiều. Điều đó được giải thích bởi những ưu điểm của đòng xoay chiều là dễ dàng truyền tải, dễ dàng biến đổi và kinh tế.

§ 2.1. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN.

Dòng điện xoay chiều hình sin là dòng điện biến thiên điều hòa theo quy luật hàm sin:

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (2-1)$$

$$u = U_0 \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (2-2)$$

Trong đó: i, u – là giá trị tức thời của dòng điện và điện áp

I_0, U_0 – là trị cực đại (biên độ) của dòng điện và điện áp.

$(\omega t + \varphi_i), (\omega t + \varphi_u)$ – là góc pha (hay gọi tắt là pha) của dòng điện và điện áp, cho phép xác định trị số của dòng điện và điện áp ở thời điểm t .

φ_i và φ_u là pha ban đầu ($t = 0$). Có giá trị phụ thuộc vào gốc thời gian mà ta chọn.

ω là tần số góc của dòng điện hình sin, đơn vị là rad/s.

Chu kỳ T là khoảng thời gian ngắn nhất để dòng điện lặp lại trị số và chiều biến thiên. Nghĩa là trong khoảng thời gian T góc pha biến thiên một lượng là $\omega T = 2\pi$.

Số chu kỳ của dòng điện trong một giây gọi là tần số f .

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Đơn vị tần số là héc (Hz).

Như vậy, có thể viết: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ (2-3)

Trong công nghiệp, dòng xoay chiều có tần số $f = 50\text{Hz}$.

§ 2.2. TRỊ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

Đối với dòng điện xoay chiều hình sin, do giá trị tức thời biến thiên một cách liên tục, nên trong thực tế người ta quan tâm đến giá trị hiệu dụng của nó. Giả sử xét tác dụng của dòng điện xoay chiều i trên một điện trở R . Công suất tác dụng được tính:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt = R \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \quad (2-4)$$

Với dòng điện một chiều công suất tiêu tán trên điện trở R là:

$$P = R I^2 \quad (2-5)$$

Nếu trong cùng một thời gian, công suất tác dụng nhiệt trên điện trở R đối với cả hai dòng điện là như nhau ta có:

$$P = R \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = R I^2$$

Từ đó:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (2.6)$$

Giá trị I tính theo (2.6) được gọi là trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều.

Nếu thay $i = I_0 \sin \omega t$ vào (2.6) ta có:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_0^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{I_0^2}{2T} \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

Tương tự, ta được trị số hiệu dụng của điện áp và sức điện động:

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (2.7,a)$$

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \quad (2.7,b)$$

Như vậy, có thể viết lại (2.1) và (2.2) như sau:

$$i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (2.8)$$

$$u = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (2.9)$$

Trị hiệu dụng thường được ghi trên các dụng cụ và các thiết bị tiêu thụ điện, cho ta biết cấp điện áp sử dụng và dòng điện cho phép. Ví dụ (220V-10A).

§ 2.3. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

Để biểu diễn dòng điện xoay chiều hình sin có thể sử dụng các phương pháp toán học khác nhau:

- Biểu diễn bằng phương trình lượng giác thông qua các đại lượng đặc trưng: trị tức thời, trị biên độ, trị hiệu dụng, tần số, chu kỳ, góc pha. (các phương trình (2.1), (2.2) và (2.8)(2.9)).

- Phương pháp đồ thị dạng sóng: biểu diễn đồ thị của các phương trình (2.1) và (2.2).
- Phương pháp giản đồ véc tơ quay: biểu diễn thông qua trị hiệu dụng (hoặc biên độ) và góc pha .
- Biểu diễn bằng phương pháp số phức.

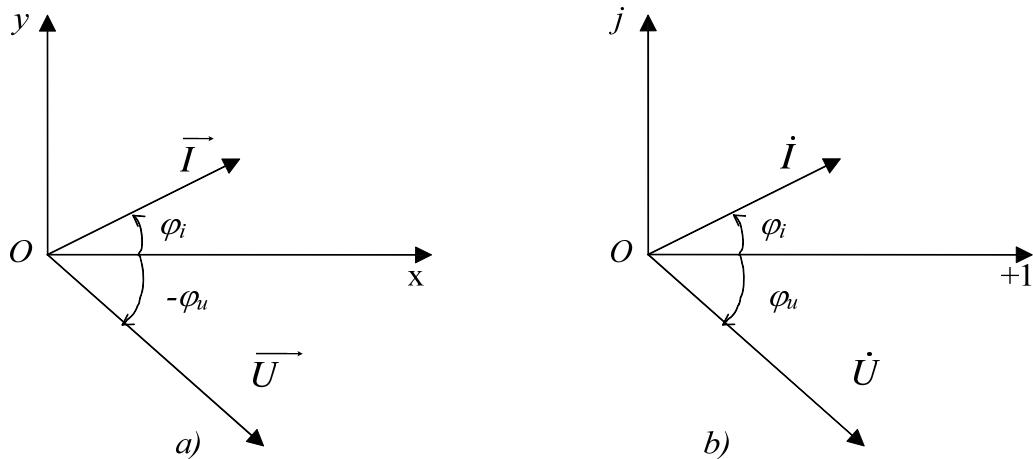
2.3.1. Phương pháp giản đồ véc tơ.

Để tiện lợi trong việc tính toán các đại lượng hình sin cùng tần số, người ta thường sử dụng phương pháp giản đồ véc tơ Fresnel. Theo phương pháp này các đại lượng hình sin có cùng tần số được biểu diễn bằng các véc tơ có độ lớn (môđun) bằng trị hiệu dụng và góc pha ban đầu xác định độ lệch giữa véc tơ với trục nằm ngang Ox.

Ví dụ. Hình vẽ (2-1, a) là giản đồ véc tơ biểu diễn dòng điện và điện áp trên một đoạn mạch có phương trình sau:

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

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



Hình 2-1

Sau khi đã biểu diễn các đại lượng dòng điện và điện áp bằng véc tơ, hai định luật Kirchhoff được viết lại dưới dạng véc tơ như sau:

$$\begin{aligned} \sum \vec{I}_k &= 0 \\ \sum \vec{U} &= \sum \vec{E} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dựa vào giản đồ véc tơ và các định luật Kirchhoff ta có thể giải mạch điện xoay chiều một cách thuận tiện.

2.3.2. Phương pháp số phức.

a) Đối với các mạch điện phức tạp, phương pháp véc tơ có nhiều hạn chế. Để giải mạch điện hình sin ở chế độ xác lập người ta thường dùng phương pháp số phức.

Biểu diễn phức của đại lượng hình sin có được khi thay trục Ox trên giản đồ véc tơ (hình 2-1, a) bằng trục thực +1, thay trục Oy bằng trục ảo +j. Như vậy ta đã thực hiện việc biểu diễn đại lượng hình sin bằng số phức trong tọa độ phức (hình 2-1, b).

Số phức biểu diễn các đại lượng hình sin được ký hiệu bằng các chữ cái in hoa có dấu chấm trên đầu. Biểu diễn phức có thể dưới dạng hàm mũ, dạng lượng giác hay đại số.

Ví dụ. Viết các dạng biểu diễn phức của dòng điện $i = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ)$ và điện áp $u = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ)$.

– Dạng hàm mũ:
$$\dot{I} = I e^{j\varphi_i} = 10 e^{-j30^\circ} \quad (2-11)$$

$$\dot{U} = U e^{j\varphi_u} = 200 e^{j60^\circ}$$

Dạng hàm mũ còn được viết dưới dạng:

$$\dot{I} = I \angle \varphi_i = 10 \angle -30^\circ \quad (2-12)$$

$$\dot{U} = U \angle \varphi_u = 200 \angle 60^\circ$$

– Dạng lượng giác hay đại số:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= I \cos \varphi_i + j I \sin \varphi_i = 10 \cos(-30^\circ) + j 10 \sin(-30^\circ) \\ &= 5\sqrt{3} - j 5 \end{aligned} \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} \dot{U} &= U \cos \varphi_u + j U \sin \varphi_u = 200 \cos 60^\circ + j 200 \sin 60^\circ \\ &= 100 + j 100\sqrt{3} \end{aligned}$$

trong đó: $I \cos \varphi_i, U \cos \varphi_u$ là phần thực của số phức

$j I \sin \varphi_i, j U \sin \varphi_u$ là phần ảo của số phức.

b) Nhắc lại một số phép tính đối với số phức.

1. Cộng, trừ. Biến đổi các số phức về dạng đại số, sau đó cộng (trừ) phần thực với phần thực, phần ảo với phần ảo.

$$\begin{aligned} \text{Ví dụ: } (2 + j 6) + (3 - j 2) &= (2 + 3) + j (6 - 2) = 5 + j 4 \\ (4 + j 5) - (2 + j 3) &= (4 - 2) + j (5 - 3) = 2 + j 2 \end{aligned}$$

2. Nhân, chia. Khi nhân chia hai số phức ta nên đưa về dạng mũ.

$$\text{Ví dụ: } 5 e^{j 60^\circ} \cdot 10 e^{j 45^\circ} = 5 \cdot 10 e^{j(60^\circ + 45^\circ)} = 50 e^{j 105^\circ}$$

$$\frac{200 e^{j45^0}}{5 e^{j30^0}} = \frac{200}{5} e^{j(45^0-30^0)} = 40 e^{j15^0}$$

4. Nhân số phức với $e^{\pm j\alpha}$.

$$A e^{j\varphi} \cdot e^{\pm j\alpha} = A e^{j(\varphi \pm \alpha)}$$

Nghĩa là khi nhân số phức với $e^{j\alpha}$ ta quay véc tơ biểu diễn số phức ấy đi một góc α ngược chiều kim đồng hồ, khi nhân với $e^{-j\alpha}$ ta quay véc tơ đi một góc α cùng chiều kim đồng hồ.

5. Nhân số phức với $\pm j$.

Theo công thức Ôle :

$$e^{j\pi/2} = \cos \pi/2 + j \sin \pi/2 = j$$

$$e^{-j\pi/2} = \cos(-\pi/2) + j \sin(-\pi/2) = -j$$

Như vậy, khi nhân một số phức với j ta quay véc tơ biểu diễn số phức đó đi một góc $\pi/2$ ngược chiều kim đồng hồ, nếu nhân với $-j$ ta quay véc tơ cùng chiều kim đồng hồ một góc $\pi/2$.

c) Tổng trở phức.

Tổng trở phức được định nghĩa theo biểu thức định luật Ohm dưới dạng phức:

$$\bar{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U e^{j\varphi_u}}{I e^{j\varphi_i}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = Z e^{j\varphi} \quad (2-14)$$

Đây là dạng hàm mũ của tổng trở phức.

Ta có:

$$\bar{Z} = Z e^{j\varphi} = Z(\cos \varphi + j \sin \varphi) = Z \cos \varphi + j Z \sin \varphi$$

Từ tam giác tổng trở trên hình 2-2 ta có:

$Z \cos \varphi = R$ – là điện trở hoạt động của mạch

$Z \sin \varphi = X$ – là điện kháng của mạch.

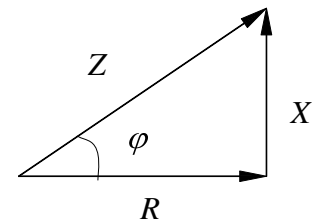
Do đó:

$$\bar{Z} = Z e^{j\varphi} = R + jX = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (2-15)$$

Đối với nhánh thuần trở:

$$\bar{Z} = R = R e^{j0} \quad (2-16)$$

Đối với nhánh thuần cảm: $X = X_L$, do đó:



Hình 2-2

$$\bar{Z} = jX = jX_L = X_L e^{j\pi/2} \quad (2-17)$$

Đối với nhánh thuần điện dung: $X = X_C$, do đó:

$$\bar{Z} = jX = jX_C = X_C e^{-j\pi/2} \quad (2-18)$$

d) Tổng dẫn phức.

Tổng dẫn phức được định nghĩa là:

$$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = \frac{1}{Z} e^{-j\varphi} = Y e^{-j\varphi} \quad (2-19)$$

Hoặc:

$$\bar{Y} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R - jX}{(R + jX)(R - jX)} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} \quad (2-20)$$

Trong đó: $\frac{R}{R^2 + X^2} = g =$ điện dẫn tác dụng của mạch

$$\frac{X}{R^2 + X^2} = b = \text{điện dẫn phản kháng của mạch}$$

Như vậy: $\bar{Y} = g - jb \quad (2-21)$

e) Công suất phức.

Định nghĩa: Tích của phức điện áp nhánh với lượng liên hợp của phức dòng điện nhánh gọi là phức công suất, ký hiệu \tilde{S} :

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^* = U e^{j\varphi_u} \cdot I e^{-j\varphi_i} = UI e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = S e^{j\varphi} \quad (2-22)$$

Đổi về dạng đại số:

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= UI e^{j\varphi} = UI(\cos\varphi + j\sin\varphi) \\ \tilde{S} &= UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ \end{aligned} \quad (2-23)$$

Công suất phức có phần thực là công suất tác dụng P , phần ảo là công suất phản kháng Q của mạch.

f) Biểu diễn đạo hàm $\frac{di}{dt}$.

Xét dòng điện $i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_i)$ có biểu diễn phức là $\dot{I} = I e^{j\varphi_i}$

Lấy đạo hàm :

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

Biểu diễn phức tương ứng của i' :

$$I' = \omega I e^{j(\varphi_i + \pi/2)} = \omega e^{j\pi/2} I e^{j\varphi_i}$$

Biết $e^{j\pi/2} = j$, do đó:

$$\dot{I}' = j\omega I e^{j\varphi_i} = j\omega \dot{I} \quad (2-24)$$

Như vậy, đạo hàm theo thời gian của dòng điện tương ứng với phép nhân dạng phức với thừa số $j\omega$.

$$\text{Nếu } i \Leftrightarrow \dot{I}, \text{ thì } \frac{di}{dt} \Leftrightarrow j\omega \dot{I} \quad (2-25)$$

g) Biểu diễn tích phân $\int i dt$.

Xét dòng điện $i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_i)$ có biểu diễn phức là $\dot{I} = I e^{j\varphi_i}$

Lấy tích phân:

$$\begin{aligned} \int i dt &= \int I \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_i) dt = I \sqrt{2} \left[\frac{1}{\omega} \cos(\omega t + \varphi_i) \right] \\ &= \frac{1}{\omega} I \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_i - \frac{\pi}{2}) \end{aligned}$$

Biểu diễn phức tương ứng của tích phân này là:

$$\int i dt \Leftrightarrow \frac{1}{\omega} I e^{j(\varphi_i - \pi/2)} = \frac{1}{\omega} e^{-j\pi/2} \cdot I e^{j\varphi_i} = \frac{\dot{I}}{j\omega}$$

Như vậy, Tích phân theo thời gian của dòng điện tương ứng với phép chia dạng phức cho $j\omega$.

$$\text{Nếu } i \Leftrightarrow \dot{I}, \text{ thì } \int i dt \Leftrightarrow \frac{\dot{I}}{j\omega} \quad (2-26)$$

§ 2.4. PHẢN ỨNG CỦA CÁC PHẦN TỬ MẠCH R,L,C ĐỐI VỚI DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU.

2.4.1. Mạch thuần trở R.

Xét mạch thuần điện trở R. khi cho dòng điện $i = I_0 \sin \omega t$ chạy qua, (hình 2-3, a) . Hiệu điện thế giữa hai đầu mạch sẽ là:

$$u_R = Ri = RI_0 \sin \omega t = U_{0R} \sin \omega t$$

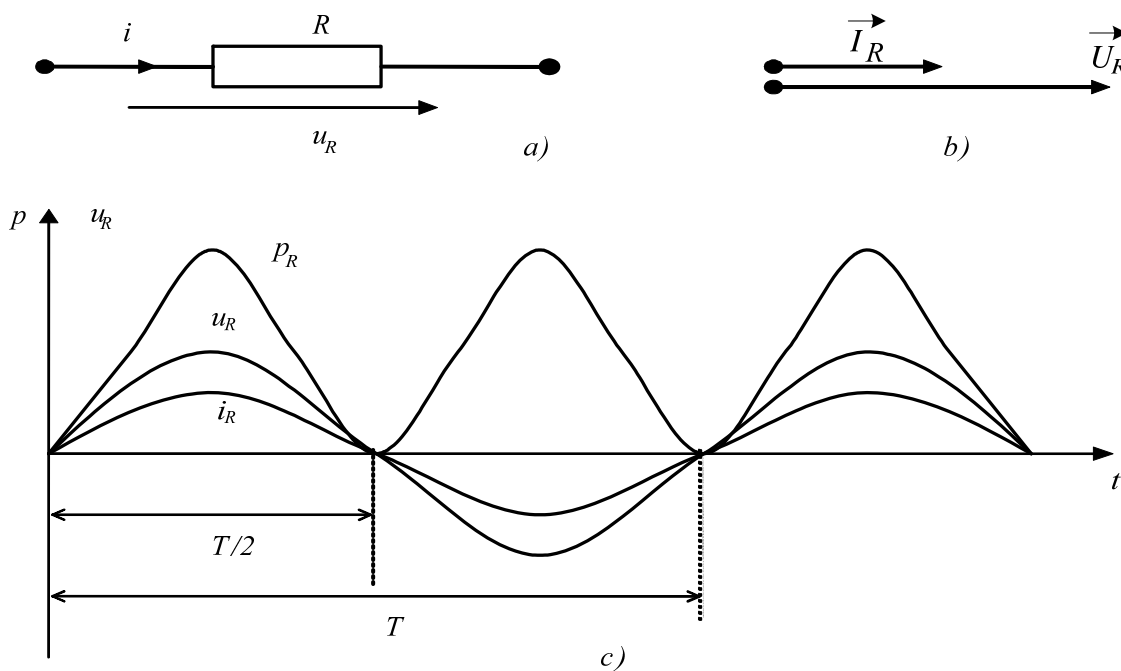
Trong đó: $U_{0R} = RI_0$

$$U_R = \frac{U_{0R}}{\sqrt{2}} = RI$$

Từ đó quan hệ giữa trị hiệu dụng của dòng điện và điện áp là:

$$U_R = RI \text{ hoặc } I = \frac{U_R}{R} \quad (2-27)$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số và cùng pha với nhau. Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp cho trên hình 2-3, b.



Hình 2-3

Công suất tức thời thoát ra trên điện trở là:

$$P_R(t) = u_R i = U_{0R} I_0 \sin^2 \omega t = U_R I (1 - \cos 2\omega t) \quad (2-28)$$

Đồ thị biểu diễn giá trị tức thời của dòng điện i , điện áp u_R và công suất p_R cho trên hình 2-3, c.

Ta thấy giá trị $p_R(t) \geq 0$, nghĩa là điện trở R liên tục tiêu thụ điện năng của nguồn và biến đổi sang dạng năng lượng khác.

Vì công suất tức thời không có ý nghĩa thực tiễn nên ta dùng khái niệm công suất trung bình P , là giá trị trung bình của công suất tức thời trong một chu kỳ:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_R I (1 - \cos 2\omega t) dt = U_R I = RI^2 \quad (2-29)$$

2.4.2. Mạch thuần điện cảm L .

Khi cho dòng điện $i = I_0 \sin \omega t$ chạy qua đoạn mạch thuần cảm L (hình 2-4, a). Hiệu điện thế giữa hai đầu mạch sẽ là:

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt}(I_0 \sin \omega t) = \omega LI_0 \cos \omega t = \omega LI_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$u_L(t) = U_{0L} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

trong đó:

$$U_{0L} = \omega LI_0 = X_L I_0$$

$$U_L = \frac{U_{0L}}{\sqrt{2}} = X_L I$$

$X_L = \omega L$ có thứ nguyên của điện trở, đo bằng Ω gọi là cảm kháng của cuộn dây. Từ đó quan hệ giữa trị hiệu dụng của điện áp và dòng điện là:

$$U_L = X_L I \text{ hoặc } I = \frac{U_L}{X_L} \quad (2-30)$$

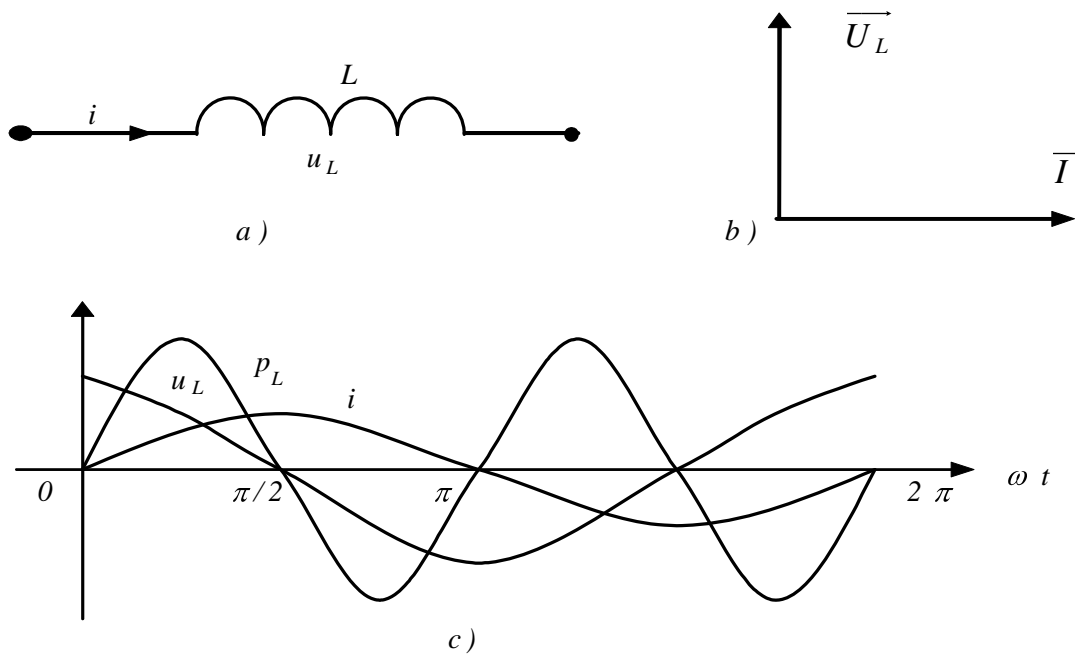
Dòng điện và điện áp có cùng tần số song điện áp nhanh pha hơn dòng điện một góc là $\pi/2$.

Công suất tức thời trên điện cảm L :

$$\begin{aligned} p_L &= u_L i = U_{0L} I_0 \sin(\omega t + \pi/2) \sin \omega t \\ &= \frac{1}{2} U_{0L} I_0 \sin 2\omega t = U_L I \sin 2\omega t \end{aligned} \quad (2-31)$$

Công suất trung bình:

$$P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_L I \sin 2\omega t dt = 0 \quad (2-32)$$



Hình 2 - 4

Trên hình 2-4, c là giản đồ dạng sóng của các đường cong dòng điện, điện áp và công suất trên cuộn dây L . Ta có nhận xét sau:

Trong nhánh thuần điện cảm dòng điện và điện áp có cùng tần số song điện áp nhanh pha hơn dòng điện một góc là $\pi/2$.

Có hiện tượng trao đổi năng lượng trong mạch. Trong khoảng từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \pi/2$, công suất $p_L(t) > 0$, điện cảm nhận năng lượng và tích lũy trong từ trường. Trong khoảng tiếp theo $\omega t = \pi/2$ đến $\omega t = \pi$, công suất $p_L(t) < 0$ năng lượng tích lũy trả lại nguồn và mạch. Quá trình cứ tuần hoàn xảy ra liên tiếp, do đó công suất tác dụng trung bình trong mạch bằng không. Cuộn cảm không tiêu thụ năng lượng.

Để đặc trưng cho quá trình trao đổi năng lượng trong mạch, người ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q_L của điện cảm:

$$Q_L = U_L I = X_L I^2 \quad (2-32)$$

Đơn vị của công suất phản kháng là VAR hoặc kVAR = 10^3 VAR

2.4.3. Mạch thuần điện dung C .

Khi cho dòng điện $i = I_0 \sin \omega t$ chạy qua đoạn mạch thuần điện dung C (hình 2-5, a). Hiệu điện thế giữa hai đầu mạch sẽ là:

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int I_0 \sin \omega t dt = -\frac{1}{\omega C} I_0 \cos \omega t$$

$$u_C(t) = U_{0C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Trong đó:

$$U_{0C} = \frac{1}{\omega C} I_0 = X_C I_0; U_C = \frac{U_{0C}}{\sqrt{2}} = X_C I \quad (2-33)$$

$X_C = 1/\omega C$ có thứ nguyên của điện trở, đo bằng Ω và gọi là dung kháng của tụ điện.

Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng điện và điện áp là:

$$U_C = X_C I, \text{ hoặc } I = \frac{U_C}{X_C} \quad (2-34)$$

Công suất tức thời trên điện dung:

$$p_C(t) = u_C i = U_{0C} I_0 \sin \omega t \sin(\omega t - \pi/2) = -U_C I \sin 2\omega t \quad (2-35)$$

Công suất trung bình:

$$P_C = \frac{1}{T} \int_0^T p_C(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T -U_C I \sin 2\omega t dt = 0 \quad (2-36)$$

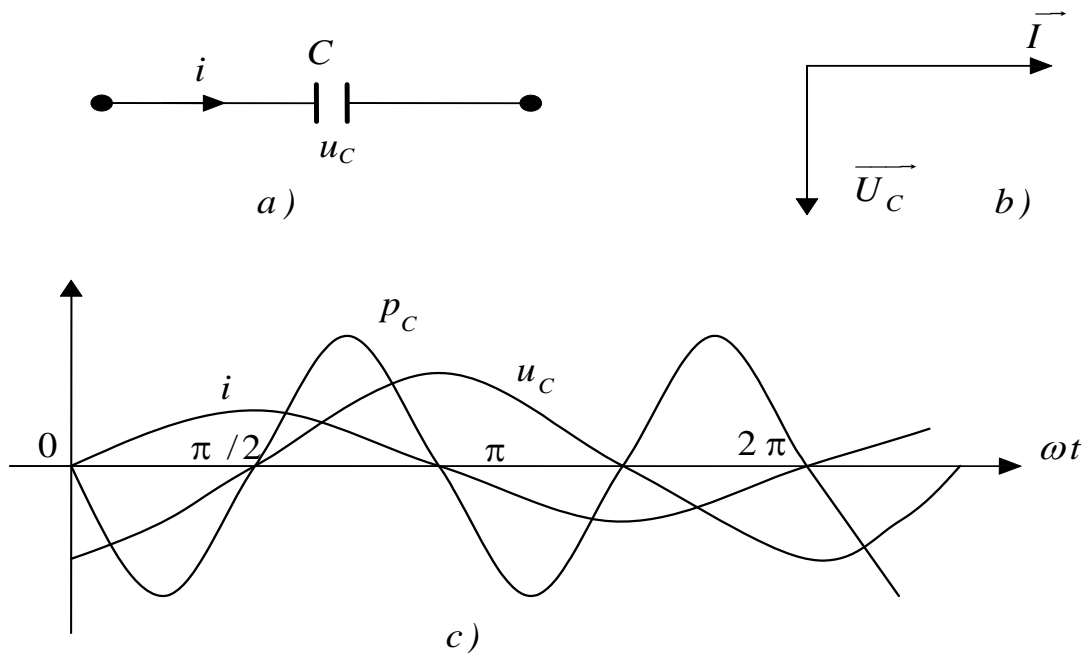
Đồ thị biểu diễn các giá trị tức thời của dòng điện, điện áp và công suất trên điện dung C biểu diễn trên hình 2-5, c. Ta có nhận xét sau:

- Trong mạch thuần điện dung C, dòng điện và điện áp có cùng tần số, song dòng điện nhanh pha hơn điện áp một góc là $\pi/2$.
- Trong mạch có hiện tượng trao đổi năng lượng giữa điện dung với các phần mạch còn lại, do đó công suất tác dụng trung bình trong mạch là bằng không. Điện dung không tiêu thụ năng lượng.

Để biểu diễn quá trình trao đổi năng lượng trong mạch người ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q_C của điện dung:

$$Q_C = -U_C I = -X_C I^2 \quad (2-37)$$

Đơn vị của công suất phản kháng là VAR hoặc kVAR = 10^3 VAR.



Hình 2 - 5

2.4.4. Mạch R, L, C mắc nối tiếp.

Khi cho dòng điện $i = I_0 \sin \omega t$ chạy qua đoạn mạch R, L, C mắc nối tiếp (hình 2-6, a). Phản ứng của các phần tử mạch như đã xét ở trên, tức là hiệu điện thế trên các phần tử R, L, C lần lượt là:

$$u_R = U_{0R} \sin \omega t = U_R \sqrt{2} \sin \omega t;$$

$$U_R = RI$$

$$u_L(t) = U_{0L} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_L \sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$U_L = X_L I; X_L = \omega L$$

$$u_C(t) = U_{0C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = U_C \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

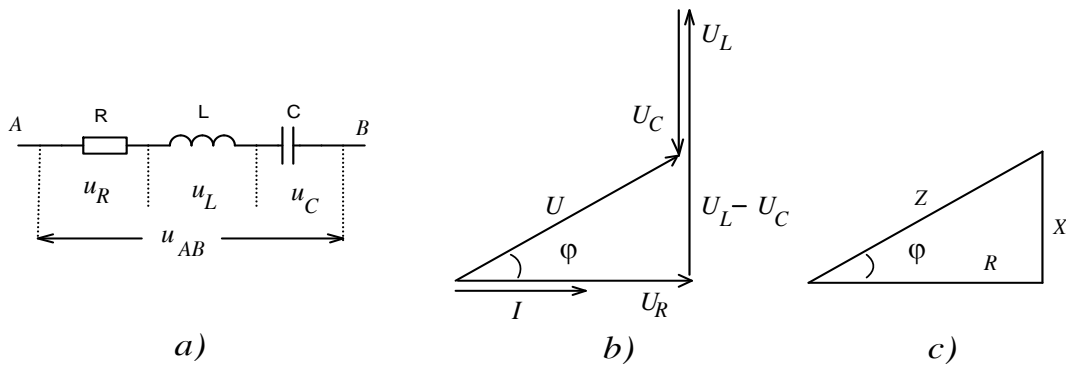
$$U_C = X_C I; X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Hiệu điện thế hai đầu mạch sẽ là:

$$u = u_R + u_L + u_C = U \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2-38)$$

Trong đó giá trị của U và φ được xác định bằng phương pháp véc tơ:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$



Hình 2-6

Từ đồ thị véc tơ ta có:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ \quad (2-39)$$

Trong đó: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} =$ tổng trở của mạch.

$$X = X_L - X_C = \text{điện kháng của mạch.} \quad (2-40)$$

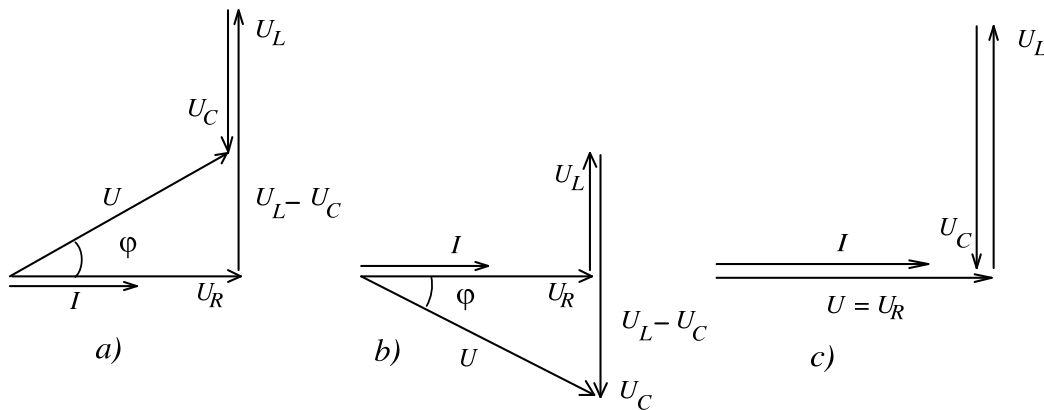
Từ công thức (1-40), ta thấy: điện trở R , điện kháng X và tổng trở Z hợp thành ba cạnh của một tam giác vuông (hình 2-6, c) gọi là tam giác tổng trở. Nhờ tam giác tổng trở ta dễ dàng xác định được mối liên hệ giữa các đại lượng R, L, Z , góc lệch pha φ .

$$\text{tg } \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R} \quad (2-41)$$

Phụ thuộc vào độ lớn và dấu của góc lệch pha φ ta có các trường hợp sau:

- Khi $\varphi > 0, U_L > U_C, X_L > X_C$, mạch có đặc tính cảm kháng. Dòng điện chậm pha hơn điện áp một góc φ (hình 2-7, a).
- Khi $\varphi < 0, U_L < U_C, X_L < X_C$, mạch có đặc tính dung kháng. Dòng điện nhanh pha hơn điện áp một góc φ (hình 2-7, b).
- Khi $\varphi = 0, U_L = U_C, X_L = X_C, \text{tg } \varphi = 0$. Tổng trở của mạch lúc này cực tiểu: $Z = R = Z_{\min}$. Dòng trong mạch đạt giá trị cực đại, trong mạch xảy ra hiện tượng cộng hưởng nối tiếp (hình 2-7, c).

$$I = \frac{U}{R} = I_{\max} \quad (2-42)$$



Hình 2-7

Khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng, dòng trong mạch trùng pha với điện áp hai đầu đoạn mạch. Nếu $X_L = X_C \gg R$ thì trị hiệu dụng của điện áp trên các phần tử L và C có thể lớn hơn điện áp U nhiều lần, do đó cộng hưởng còn gọi là cộng hưởng điện áp.

Điều kiện xảy ra cộng hưởng điện áp là:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ tần số } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad (2-43)$$

ω_0 gọi là tần số dao động riêng của mạch.

§ 2.5. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU.

Trong trường hợp tổng quát, khi tải của mạch điện xoay chiều bao gồm các phần tử R, L, C , trong mạch sẽ xảy ra hai quá trình năng lượng sau:

- Quá trình tiêu thụ điện năng và biến đổi sang các dạng năng lượng khác (chủ yếu là nhiệt năng) trên các phần tử điện trở hoạt động R của mạch. Quá trình này được đặc trưng bằng công suất tác dụng P .
- Quá trình trao đổi, tích lũy và giải phóng năng lượng điện từ trường trên các phần tử điện cảm L và điện dung C của mạch. Quá trình này được đặc trưng bằng công suất phản kháng Q .

2.5.1. Công suất tác dụng P .

Công suất tác dụng P là công suất tiêu thụ trên điện trở R của mạch. Theo (2-29) P có giá trị bằng công suất tiêu thụ trung bình trong một chu kỳ:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) dt = U_R I = R I^2 \quad (2-44)$$

Theo giản đồ véc tơ (hình 2-5, *b*) ta có: $U_R = U \cos \varphi$, do đó ta có:

$$P = R I^2 = UI \cos \varphi \quad (2-45)$$

Trường hợp mạch có nhiều điện trở hoạt động thì công suất tác dụng trên toàn mạch bằng tổng các công suất tiêu thụ riêng rẽ trên từng điện trở:

$$P = \sum_k P_{R_k} = \sum_k R_k I_k^2 \quad (2-46)$$

2.5.2. Công suất phản kháng Q .

Công suất phản kháng Q dùng để đặc trưng cho quá trình trao đổi, tích lũy năng lượng điện từ trường trên các phần tử điện cảm L và điện dung C của mạch.

$$Q = X I^2 = (X_L - X_C) I^2 \quad (2-47)$$

Theo (2-32) và (2-37) ta có thể viết:

$$Q = X_L I^2 - X_C I^2 = Q_L + Q_C \quad (2-48)$$

Trường hợp mạch gồm nhiều phần tử L và C thì công suất phản kháng của mạch bằng tổng công suất phản kháng trên các phần tử riêng rẽ:

$$Q = \sum_m Q_{L_m} + \sum_n Q_{C_n} = \sum_m X_{L_m} I_m^2 - \sum_n X_{C_n} I_n^2 \quad (2-49)$$

Theo hình (2-5, *c*) ta có $X = (X_L - X_C) = Z \sin \varphi$, do đó ta có thể viết:

$$Q = I^2 Z \sin \varphi = UI \sin \varphi \quad (2-50)$$

2.5.3. Công suất biểu kiến S .

Để đặc trưng cho khả năng của thiết bị và nguồn thực hiện hai quá trình năng lượng nói trên người ta đưa ra khái niệm công suất toàn phần hay công suất biểu kiến S :

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-51)$$

Như vậy, có thể viết lại (2-45) và (2-50) như sau:

$$P = UI \cos \varphi = S \cos \varphi$$

$$Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi$$

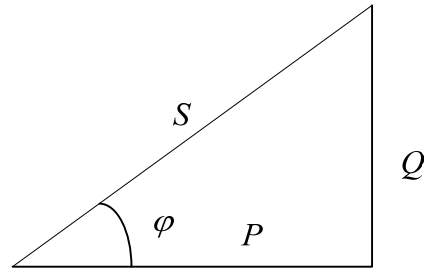
Ta thấy cực đại của công suất tác dụng P (khi $\cos \varphi = 1$) có giá trị bằng công suất biểu kiến S . Cực đại của công suất phản kháng Q (khi $\sin \varphi = 1$) bằng công suất biểu kiến S . Như vậy S cho biết khả năng của thiết

bị điện. Giá trị định mức của công suất biểu kiến S thường được ghi trên nhãn của các máy điện.

Mối quan hệ giữa P , Q và S được thể hiện bằng ba cạnh của một tam giác vuông (hình 2-8), gọi là tam giác công suất.

P , Q và S có cùng thứ nguyên, nhưng để phân biệt người ta dùng các đơn vị khác nhau:

- Đơn vị của P : W, kW, MW.
- Đơn vị của Q : VAR, kVAR, MVAR.
- Đơn vị của S : VA, kVA, MVA.



Hình 2-8

2.5.4. Nâng cao hệ số công suất $\cos \varphi$.

Trong biểu thức công suất tác dụng $P = UI \cos \varphi$, $\cos \varphi$ được gọi là hệ số công suất. Giá trị của $\cos \varphi$ phụ thuộc vào các thông số của mạch điện. Trong mạch RLC mắc nối tiếp ta có:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (2-52)$$

$$\text{hoặc:} \quad \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{S} \quad (2-53)$$

Hệ số công suất là chỉ tiêu rất quan trọng, có ý nghĩa rất lớn về kinh tế như sau:

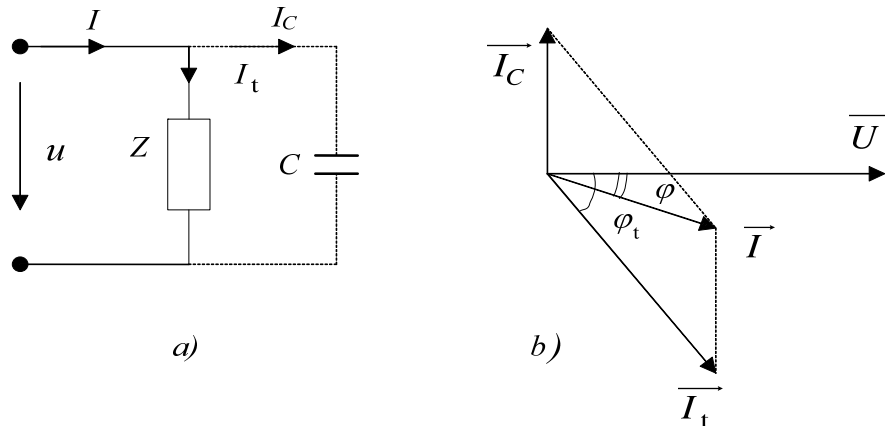
– Nâng cao hệ số công suất sẽ tăng được khả năng sử dụng công suất của nguồn (máy phát điện, máy biến áp ...) cung cấp cho phụ tải. Chẳng hạn, một máy phát điện có công suất định mức là $S_{\text{đm}} = 10000 \text{ kVA}$, nếu hệ số công suất của tải $\cos \varphi = 0,5$ thì công suất tác dụng của máy phát cho tải $P = S_{\text{đm}} \cos \varphi = 10000 \cdot 0,5 = 5000 \text{ kW}$. Nếu $\cos \varphi = 0,9$ thì công suất tác dụng $P = 10000 \cdot 0,9 = 9000 \text{ kW}$. Như vậy khi $\cos \varphi$ càng cao, công suất phát ra càng nhiều hơn.

– Khi cần truyền tải một công suất P nhất định trên đường dây, dòng điện chạy trên dây là:

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

Nếu $\cos \varphi$ càng cao thì dòng I càng nhỏ, làm giảm tổn thất điện năng trên dây.

Trong công nghiệp và điện dân dụng tải thường có đặc tính cảm kháng (cuộn dây động cơ điện, máy biến áp, ...) do vậy $\cos\varphi$ thấp. Để nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ người thường mắc song song với tải một tụ điện bù (hình 2-8, a).



Hình 2-8

Khi chưa mắc tụ điện bù, dòng chạy trên đường dây là I_1 , hệ số công suất của mạch là $\cos\varphi_1$.

Khi mắc thêm tụ điện bù song song với tải, dòng chạy trên đường dây là I , hệ số công suất của mạch là $\cos\varphi$.

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_C$$

Từ đồ thị hình (2-7, b) ta thấy dòng điện I giảm $\cos\varphi$ tăng lên:

$$I < I_1; \varphi < \varphi_1 \text{ và } \cos\varphi > \cos\varphi_1$$

Giá trị điện dung của tụ bù được tính như sau:

Vì công suất tác dụng của tải là không đổi nên công suất phản kháng của mạch là:

– Khi chưa bù: $Q_1 = P \operatorname{tg} \varphi_1$

– Khi mắc tụ bù: $Q = Q_1 + Q_C = P \operatorname{tg} \varphi_1 + Q_C = P \operatorname{tg} \varphi$

Từ đó: $Q_C = -P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi)$. (2-54)

Mặt khác, công suất Q_C của tụ điện được tính:

$$Q_C = -U_C I_C = -U \cdot U \cdot \omega C = -U^2 \omega C \tag{2-55}$$

So sánh (2-54) và (2-55) ta có:

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi) \tag{2-56}$$

Chương 3.

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀO GIAÛI MẠCH ÑIỆN

Để phân tích và giải mạch điện có nhiều phương pháp khác nhau. Việc lựa chọn phương pháp nào là tùy thuộc vào từng sơ đồ mạch cụ thể.

Đối với các đoạn mạch đơn giản có thể áp dụng định luật Ohm để tính toán. Với các mạch điện phức tạp thì hai định luật Kirchhoff là cơ sở để giải quyết bài toán.

Trong phần lớn các trường hợp, để phân tích mạch chúng ta phải tiến hành các phép biến đổi tương đương cần thiết để đưa sơ đồ mạch phức tạp về các sơ đồ đơn giản hơn. Trong chương này chúng ta sẽ khảo sát các phép biến đổi tương đương như: biến đổi trở kháng song song, nối tiếp, biến đổi sao – tam giác. Ngoài ra, trong một số trường hợp chúng ta sẽ dùng các định lý Thevenin, định lý Norton để thực hiện các phép biến đổi mạch.

Khi nghiên cứu mạch điện xoay chiều hình sin ta sử dụng phương pháp véc tơ và biểu diễn phức để viết các phương trình mạch. Đối với các mạch điện một chiều ở chế độ xác lập, có thể xem như trường hợp riêng của dòng điện hình sin (với tần số $\omega = 0$). Khi đó các phần tử điện kháng của mạch sẽ không có tác dụng làm cho sơ đồ mạch sẽ đơn giản hơn nhiều.

§ 3.1. CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG.

3.1.1. Tổng trở mắc nối tiếp.

Giả sử có các trở kháng $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \dots, \bar{Z}_n$ mắc nối tiếp với nhau, tổng trở tương đương của mạch sẽ là:

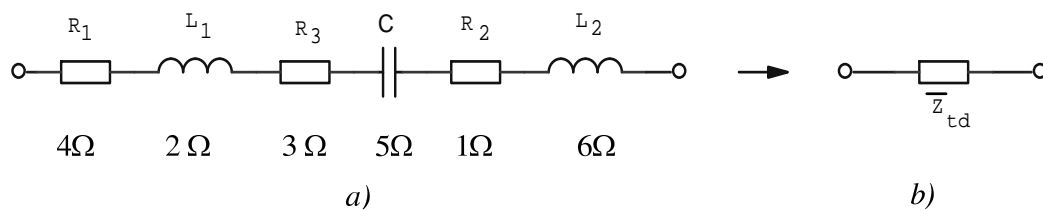
$$\bar{Z}_{td} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \dots + \bar{Z}_i + \dots + \bar{Z}_n = \sum_{i=1}^n \bar{Z}_i \quad (3-1)$$

Trong đó các trở kháng \bar{Z}_i có thể là điện trở hoạt động R , cảm kháng X_L hoặc dung kháng X_C . Như vậy có thể viết dưới dạng:

$$\bar{Z}_{td} = R_{td} + jX_{td} \quad (3-2)$$

Trong đó: $R_{td} = \sum R; X_{td} = \sum X_L - \sum X_C.$ (3-3)

Ví dụ: Tính tổng trở tương đương của đoạn mạch sau (hình 3-1).



Hình 3-1

Áp dụng các công thức (2.2) và (2.3) cho mạch hình 3.1 ta có:

$$\bar{Z}_{td} = \sum R + j(\sum X_L - \sum X_C) = (4 + 3 + 1) + j(2 - 5 + 6) = (8 + j3) \Omega$$

3.1.2. Tổng trở mắc song song.

Tổng trở tương đương của các nhánh mắc song song có giá trị:

$$\frac{1}{\bar{Z}_{td}} = \frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_2} + \dots + \frac{1}{\bar{Z}_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{Z}_i} \quad (3-4)$$

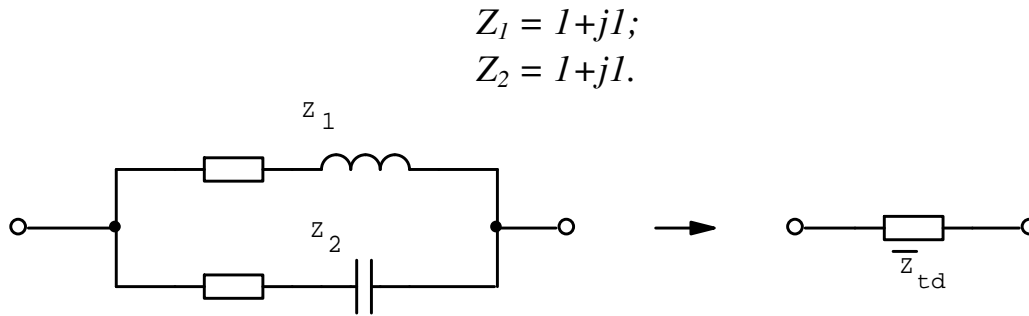
Hoặc tổng dẫn tương đương:

$$\bar{Y}_{td} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \dots + \bar{Y}_n = \sum_i \bar{Y}_i \quad (3-5)$$

Với trường hợp có 2 nhánh:

$$\bar{Z}_{td} = \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} \quad (3-6)$$

Ví dụ. Tính tổng trở tương đương của mạch điện hình 3-2, trong đó:



Hình 3-2

Ta có:
$$\bar{Z}_{td} = \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} = \frac{(1 + j1)(1 - j1)}{(1 + j1) + (1 - j1)} = 1 \Omega$$

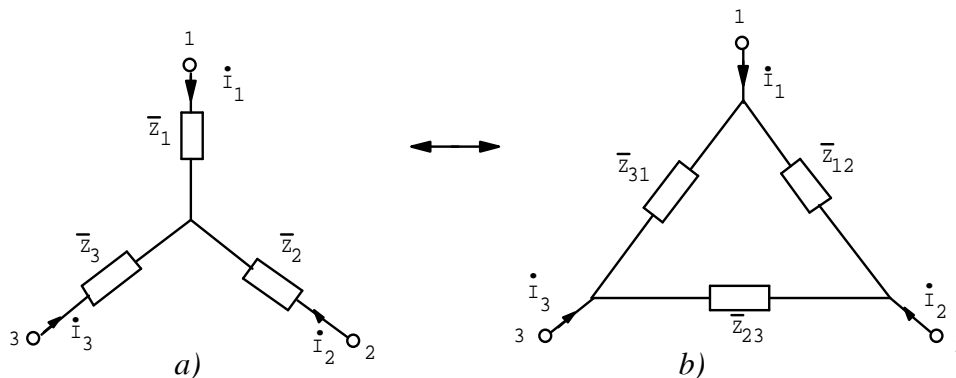
3.1.3. Biến đổi tương đương sao \leftrightarrow tam giác. (hình 3-3)

Gọi: $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3$ – là tổng trở của các nhánh nối hình sao.

$\bar{Z}_{12}, \bar{Z}_{23}, \bar{Z}_{31}$ – là tổng trở của các nhánh tam giác tương đương, ta có các công thức biến đổi sau:

a) Từ sao sang tam giác:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{12} &= \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2}{\bar{Z}_3} \\ \bar{Z}_{23} &= \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 + \frac{\bar{Z}_2 \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1} \\ \bar{Z}_{31} &= \bar{Z}_3 + \bar{Z}_1 + \frac{\bar{Z}_3 \bar{Z}_1}{\bar{Z}_2} \end{aligned} \quad (3-7)$$

Hình 3-3. Biến đổi sao \leftrightarrow tam giác

b) Từ tam giác sang sao.

$$\begin{aligned}\bar{Z}_1 &= \frac{\bar{Z}_{12}\bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \\ \bar{Z}_2 &= \frac{\bar{Z}_{23}\bar{Z}_{12}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \\ \bar{Z}_3 &= \frac{\bar{Z}_{31}\bar{Z}_{23}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}}\end{aligned}\quad (3-8)$$

Ta có thể chứng minh lại các công thức (3-7) và (3-8) của phép biến đổi tương đương. Thật vậy, phép biến đổi phải thỏa mãn điều kiện là không được làm thay đổi dòng điện và điện áp tại các điểm nối với mạch hình sao hoặc tam giác. Nghĩa là các dòng điện $\overset{\square}{I}_1, \overset{\square}{I}_2, \overset{\square}{I}_3$ và các điện áp $\overset{\square}{U}_{12}, \overset{\square}{U}_{23}, \overset{\square}{U}_{31}$ trong cả hai sơ đồ phải bằng nhau.

Giả sử $\overset{\square}{I}_1 = 0$, theo sơ đồ hình sao (3-3, a) ta có:

$$\overset{\square}{U}_{23} = \overset{\square}{I}_2(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3)$$

Theo sơ đồ hình tam giác (2-3, b) ta có:

$$\overset{\square}{U}_{23} = \overset{\square}{I}_2[(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{31}) // \bar{Z}_{23}]$$

$$\text{Suy ra:} \quad \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 = \frac{(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{31})\bar{Z}_{23}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (a)$$

Tương tự, nếu cho $\overset{\square}{I}_2 = 0$, theo hình sao ta có:

$$\overset{\square}{U}_{31} = \overset{\square}{I}_3(\bar{Z}_3 + \bar{Z}_1)$$

Theo sơ đồ tam giác: $\overset{\square}{U}_{31} = \overset{\square}{I}_3[(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23}) // \bar{Z}_{31}]$

$$\text{Suy ra:} \quad \bar{Z}_3 + \bar{Z}_1 = \frac{(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23})\bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (b)$$

Nếu cho $\overset{\square}{I}_3 = 0$, theo hình sao ta có:

$$\overset{\square}{U}_{12} = \overset{\square}{I}_1(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)$$

Theo sơ đồ tam giác: $\overset{\square}{U}_{12} = \overset{\square}{I}_1[(\bar{Z}_{31} + \bar{Z}_{23}) // \bar{Z}_{12}]$

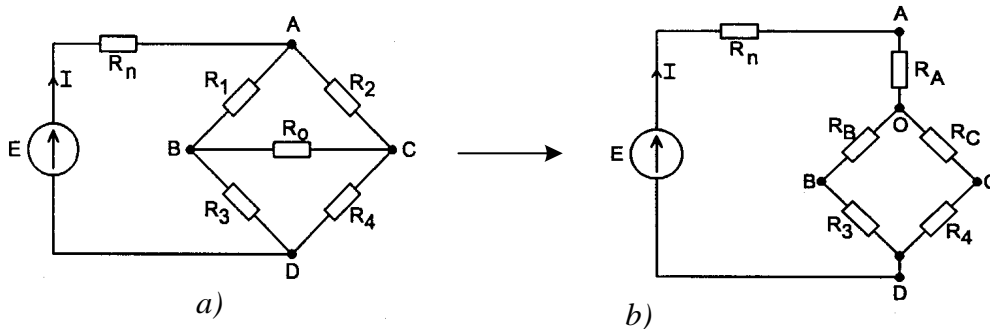
$$\text{Suy ra:} \quad \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 = \frac{(\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31})\bar{Z}_{12}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (c)$$

Cộng (a)+(b)+(c) vế với vế, rồi chia đôi ta có:

$$\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 = \frac{\bar{Z}_{12}\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{23}\bar{Z}_{31} + \bar{Z}_{31}\bar{Z}_{12}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (d)$$

Thay (d) lần lượt trở về (a),(b),(c) ta sẽ tìm lại được các công thức biến đổi (3-8) và (3-7) tương ứng.

Ví dụ: Tính dòng điện I chạy qua nguồn của mạch cầu hình (3-4, a), biết rằng $R_1 = 12\Omega$, $R_2 = R_3 = 6\Omega$, $R_4 = 21\Omega$, $R_0 = 8\Omega$, $E = 240V$, $R_n = 2\Omega$.



Hình 3-4

Bài giải:

Biến đổi tam giác ABC (R_1, R_2, R_0) từ hình (3-4, a) thành hình sao R_A, R_B, R_C (hình 3-5)

Ta có:

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_0} = \frac{12 \cdot 6}{12 + 6 + 18} = 2 \Omega$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_0}{R_1 + R_2 + R_0} = \frac{12 \cdot 18}{12 + 6 + 18} = 6 \Omega$$

$$R_C = \frac{R_0 R_2}{R_1 + R_2 + R_0} = \frac{18 \cdot 6}{12 + 6 + 18} = 3 \Omega$$

Điện trở tương đương của 2 nhánh song song là:

$$R_{OD} = \frac{(R_B + R_3) \cdot (R_C + R_4)}{R_B + R_3 + R_C + R_4} = \frac{(6 + 6) \cdot (3 + 21)}{6 + 6 + 3 + 21} = 8 \Omega$$

Điện trở tương đương toàn mạch là:

$$R_{td} = R_n + R_A + R_{OD} = 2 + 2 + 8 = 12 \Omega$$

Dòng điện chạy qua nguồn là:

$$I = \frac{E}{R_{td}} = \frac{240}{12} = 20 A$$

3.1.4. Mạng hai cực – Phép biến đổi nguồn điện tương đương.

a) Mạng hai cực.

Khi cần khảo sát một nhánh nào đó của một mạch điện phức tạp, ta tách nhánh đó ra khỏi mạch. Phần còn lại của mạch điện tạo thành một mạng hai cực, vì có hai cực để nối tới nhánh vừa tách ra.

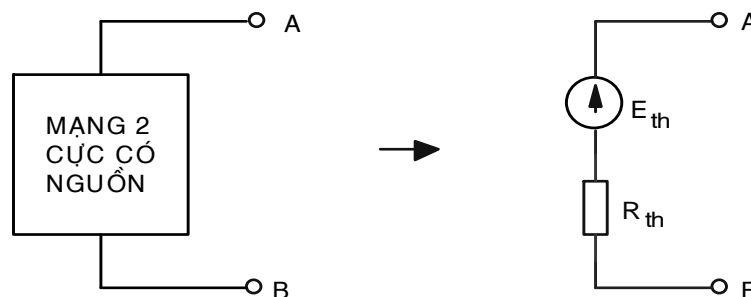
Máy phát điện, accu, một điện trở ... đều có thể coi như một mạng hai cực. Mạng hai cực có chứa nguồn điện, tức khả năng cung cấp một dòng điện cho phụ tải mắc vào hai cực của mạng được gọi là mạng hai cực có nguồn. Ngược lại, nếu mạng hai cực không có khả năng cung cấp dòng điện cho phụ tải mắc vào hai cực của nó gọi là mạng hai cực không có nguồn.

b) Định lý Thevenin.

Đối với mạng hai cực không có nguồn, ta áp dụng các phương pháp biến đổi trở kháng tương đương (nối tiếp, song song, sao – tam giác) để đưa mạng về dạng một điện trở tương đương R_{td} gọi là điện trở tương đương thay thế của mạng hai cực.

Đối với mạng hai cực có nguồn ta có thể áp dụng phép thay thế tương đương Thevenin (hay định lý Thevenin) sau:

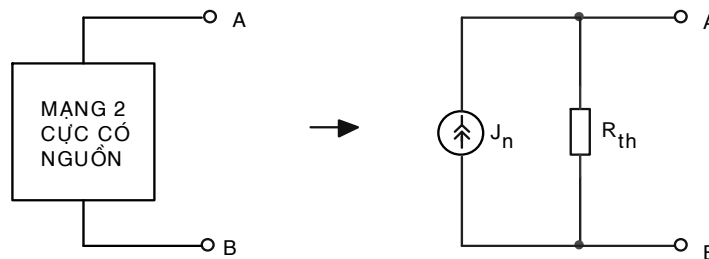
“Một mạng hai cực phức tạp có nguồn giữa hai điểm A và B có thể được thay thế bằng một mạch điện hai cực đơn giản gồm một nguồn sức điện động E_{th} nối tiếp với một điện trở R_{th} , trong đó giá trị của sức điện động E_{th} bằng điện áp giữa hai cực U_{AB} khi hở mạch ngoài, R_{th} là điện trở tương đương giữa hai cực của mạng khi sức điện động của mạng bằng không” (hình 3-5).



Hình 3-5. Phép biến đổi Thevenin

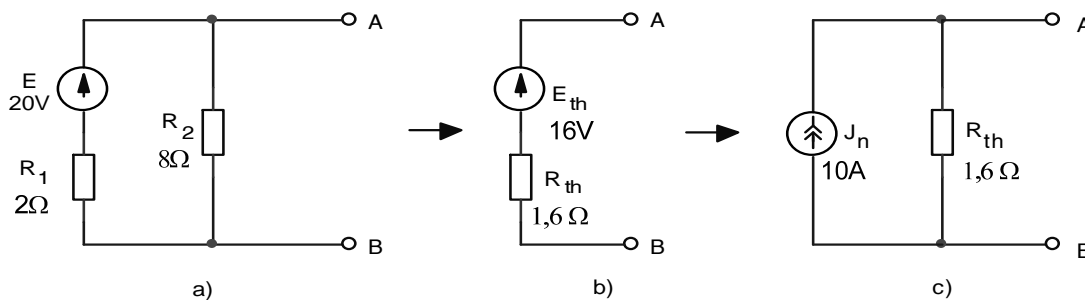
c) Định lý Norton.

Mạng 2 cực có nguồn có thể được thay thế bằng nguồn dòng tương đương theo định lý Norton: “Một mạng hai cực phức tạp có nguồn giữa hai điểm A và B có thể được thay thế bằng một mạch điện hai cực đơn giản gồm một nguồn dòng điện J_N mắc song song với một điện trở R_{th} , trong đó J_N bằng dòng điện ngắn mạch giữa hai cực A và B, còn R_{th} là điện trở tương đương giữa hai cực khi các sức điện động của mạng bằng không (giống điện trở Thevenin). (hình 3-6)



Hình 3-6. Phép biến đổi Norton.

Ví dụ: Cho mạng hai cực như sơ đồ hình (3-7, a), trong đó $E = 20V$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 8\Omega$. Hãy thay thế mạng 2 cực trên bằng sơ đồ Thevenin và bằng sơ đồ Norton.



Hình 3-7.

Sơ đồ thay thế Thevenin như hình (3-7, b), trong đó:

$$E_{th} = U_{AB} = \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{20}{2 + 8} \cdot 8 = 16V$$

$$R_{th} = R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6\Omega$$

– Sơ đồ thay thế Norton như hình (3-7, c), trong đó:

$$J_N = J_{ngắn mạch AB} = \frac{E}{R_1} = \frac{20}{2} = 10 A$$

$$R_{th} = R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6 \Omega$$

§ 3.2. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN NHÁNH

Phương pháp dòng điện nhánh sử dụng hai định luật Kirchoff để thiết lập hệ phương trình giải mạch điện. Số nhánh của mạch điện bằng số ẩn số phải tìm.

Nếu mạch có n nhánh tức là ứng với n ẩn số ta phải thiết lập ít nhất n phương trình độc lập. Giả sử mạch có m nút ta sẽ thiết lập được $m-1$ phương trình độc lập cho nút, còn lại $n-(m-1)$ phương trình viết cho mắt. Các bước để giải bài toán như sau:

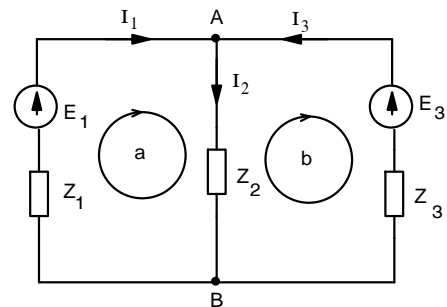
- *Bước 1.* Đặt cho dòng điện chạy trên các nhánh một chiều tùy ý.
- *Bước 2.* Dùng định luật Kirchoff 1 viết $m-1$ phương trình cho nút.
- *Bước 3.* Chọn $n - (m-1)$ mắt với chiều dương tùy ý và dùng định luật Kirchoff 2 để viết các phương trình cho mắt.
- *Bước 4.* Giải hệ n phương trình để tìm ra đáp số là các dòng điện nhánh. Nếu dòng điện tìm được có giá trị âm nghĩa là chiều thực tế của dòng điện ngược với chiều đã chọn ban đầu.

Đặc điểm của phương pháp này là có thể giải được các mạch điện phức tạp, nhiều nguồn, nhiều nhánh. Do số phương trình cần thiết lập bằng số nhánh của mạch, nên khi mạch phức tạp số lượng phương trình sẽ tăng lên. Tuy nhiên việc giải hệ với một số lượng lớn các phương trình tuyến tính có thể sử dụng phương pháp ma trận và các chương trình máy tính trợ giúp.

Ví dụ. Cho mạch điện như hình 3-7, trong đó $e_1 = e_3 = 120\sqrt{2} \sin \omega t$ (V);

$$\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j2 \Omega.$$

Hãy tìm dòng điện chạy trong các nhánh.



Hình 3-7

Bài giải:

Mạch có $m = 2$ nút A, B và $n = 3$ nhánh. Như vậy số phương trình cần phải viết là $n = 3$.

- Chọn chiều dòng điện chạy trong các nhánh như hình vẽ.
- Viết phương trình cho nút A:

$$\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0$$

- Chọn 2 mắt a và b với chiều dương là chiều kim đồng hồ như hình vẽ. Viết phương trình định luật Kirchhoff 2 cho 2 mắt ta có:

$$\bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_1$$

$$-\bar{Z}_2 \dot{I}_2 + \bar{Z}_3 \dot{I}_3 = -\dot{E}_3$$

Thay giá trị $\dot{E}_1 = 120 e^{j0}$; $\dot{E}_3 = 120 e^{j0}$ và $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3 = 2 + j2$ vào hệ phương trình trên. Sau khi giải ta được:

$$\dot{I}_1 = 10 - j10$$

$$I_1 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = 20 - j20$$

$$I_2 = \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = -10 + j10$$

$$I_3 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

§ 3.3. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN VÒNG.

Đối với các mạch điện phức tạp, khi số nhánh lớn, việc áp dụng các định luật Kirchhoff sẽ mất nhiều thời gian do phải giải một số lượng lớn các phương trình. Bài toán sẽ đơn giản đáng kể khi áp dụng phương pháp dòng mạch vòng. Phương pháp này sử dụng định luật 2 Kirchhoff với các quy ước về dòng điện vòng như sau :

1. Trong mỗi mắt có một dòng điện vòng chạy khép kín.
2. Tổng đại số điện áp rơi (sụt áp) trên các tổng trở của vòng do các dòng điện vòng gây ra bằng tổng đại số các s.đ.đ của vòng. Dấu của dòng điện và s.đ.đ lấy dấu dương khi tác động cùng chiều vòng và ngược lại lấy dấu âm.

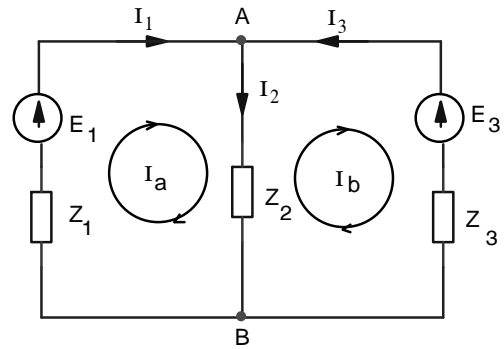
Ví dụ : Xét bài toán trong ví dụ hình 3-7 theo phương pháp dòng điện vòng.

Bài giải:

Mạch điện có 2 mắt a và b.
Gọi dòng điện vòng chạy trong các mắt tương ứng là I_a và I_b . (hình 3-8).

Viết phương trình định luật Kirchhoff 2 cho 2 mạch vòng ta có :

$$\begin{aligned} (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2) \dot{I}_a - \bar{Z}_2 \dot{I}_b &= \dot{E}_1 \\ (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) \dot{I}_b - \bar{Z}_2 \dot{I}_a &= -\dot{E}_3 \end{aligned} \quad (a)$$



Hình 3-8

Thay các giá trị

$$\begin{aligned} \bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 &= 2 + j2 \Omega, \dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 120 e^{j0} \text{ ta có:} \\ (4 + j4) \dot{I}_a - (2 + j2) \dot{I}_b &= 120 e^{j0} \\ (4 + j4) \dot{I}_b - (2 + j2) \dot{I}_a &= -120 e^{j0} \end{aligned} \quad (b)$$

Giải hệ (b) ta có :

$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= 10 - j10 \\ \dot{I}_b &= -10 + j10 \end{aligned}$$

Từ đó, dòng điện các nhánh sẽ là:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_a = 10 - j10 \text{ A} \\ \dot{I}_2 &= \dot{I}_a - \dot{I}_b = 20 - j20 \text{ A} \\ \dot{I}_3 &= \dot{I}_b = -10 + j10 \text{ A} \end{aligned}$$

Hay về độ lớn:

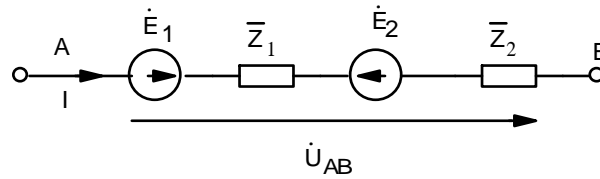
$$\begin{aligned} I_1 &= \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A} \\ I_2 &= \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \text{ A} \\ I_3 &= \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A} \end{aligned}$$

§ 3.4. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN ÁP NÚT

3.4.1. Định luật Ohm cho đoạn mạch chứa nguồn.

Cho đoạn mạch như hình 3-9,a. Giả sử điện áp đặt vào hai đầu mạch là \dot{U}_{AB} , dòng chạy qua mạch được xác định theo định luật Ohm:

$$i = \frac{\dot{U}_{AB} + \dot{E}_1 - \dot{E}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2}$$



Hình 3.9a

Quy ước dấu: \dot{U}, \dot{E} tác động cùng chiều i lấy dấu dương, ngược lại lấy dấu âm.

Trường hợp tổng quát, nếu đoạn mạch có nhiều phần tử mắc nối tiếp ta có:

$$i = \frac{\pm \dot{U}_{AB} + \sum_k \dot{E}_k}{\sum_k \bar{Z}_k} \quad (3-9)$$

3.4.2. Phương pháp điện áp 2 nút.

Phương pháp điện áp 2 nút áp dụng cho mạch điện có nhiều nhánh nhưng chỉ có 2 nút. Phương pháp này dựa trên cơ sở thiết lập phương trình điện áp giữa 2 nút của mạch cho phép giảm số phương trình cần thiết.

Ví dụ: xét lại bài toán có sơ đồ trên hình 3-7. Ta hãy chọn chiều của các dòng điện $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ như hình vẽ. Nếu giữa 2 nút A và B đặt một hiệu điện thế \dot{U}_{AB} đã biết thì dòng qua các nhánh sẽ được tính theo phương trình (3-9).

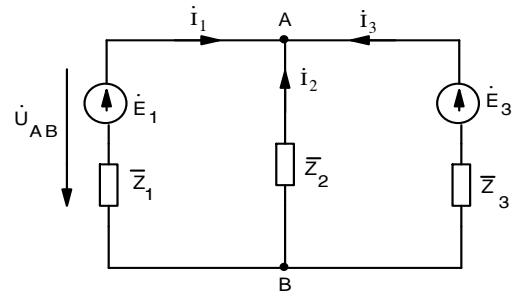
$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{(\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB})}{\bar{Z}_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_1 \\ \dot{I}_2 &= \frac{-\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_2} = -\dot{U}_{AB} \cdot \bar{Y}_2 \\ \dot{I}_3 &= \frac{(\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB})}{\bar{Z}_3} = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_3 \end{aligned} \quad (3-10)$$

Theo định luật Kirchoff 1 ta có:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 &= 0 \\ (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_1 - \dot{U}_{AB} \bar{Y}_2 + (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_3 &= 0 \\ \dot{E}_1 \bar{Y}_1 + \dot{E}_3 \bar{Y}_3 &= \dot{U}_{AB} (\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3) \end{aligned}$$

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 \bar{Y}_1 + \dot{E}_3 \bar{Y}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3}$$

Trong trường hợp tổng quát, nếu giữa 2 nút A và B có k nhánh mắc song song thì biểu thức điện áp 2 nút có dạng:



Hình 3-9

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum_k \dot{E}_k \bar{Y}_k}{\sum_k \bar{Y}_k} \quad (3-11)$$

Áp dụng cho bài toán trên hình 3-9 ta có:

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 \bar{Y}_1 + \dot{E}_3 \bar{Y}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3} = \frac{120e^{j0} \left(\frac{1}{2+j2} + \frac{1}{2+j2} \right)}{\frac{1}{2+j2} + \frac{1}{2+j2} + \frac{1}{2+j2}} = 80e^{j0} = 80 \text{ V}$$

$$\dot{I}_1 = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_1 = \frac{120 - 80}{2 + j2} = (10 - j10) \text{ A}; I_1 = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{U}_{AB} \bar{Y}_2 = \frac{-80}{2 + j2} = (-20 - j20) \text{ A}; I_2 = 20\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_3 = \frac{120 - 80}{2 + j2} = (10 - j10) \text{ A}; I_3 = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

Kết quả ta thấy so với phương pháp dòng nhánh, dòng mạch vòng thì phương pháp điện áp 2 nút cho kết quả nhanh hơn.

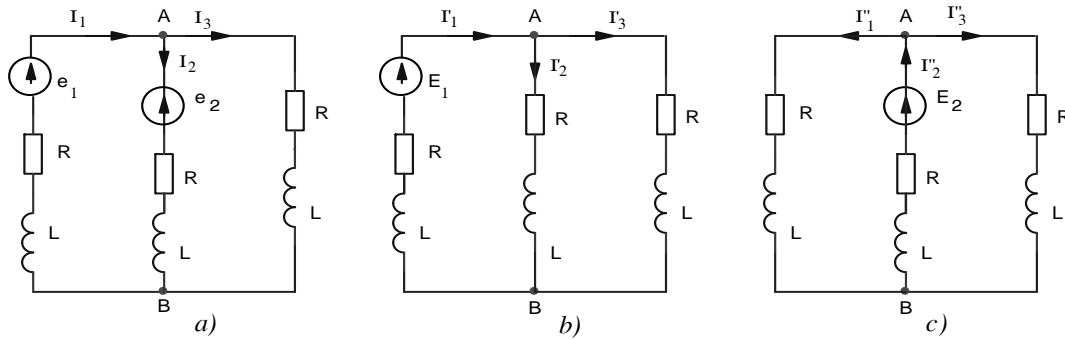
§ 3.5. PHƯƠNG PHÁP XẾP CHỒNG

Phương pháp xếp chồng được áp dụng để xác định dòng điện trong mạch có nhiều nguồn điện tác động. Phương pháp này rút ra từ tính chất cơ bản của hệ phương trình tuyến tính. Nếu trong một nhánh có nhiều dòng điện do các nguồn khác nhau cung cấp, thì dòng điện tổng bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh do tác dụng riêng rẽ của từng sức điện động (lúc đó các sức điện động khác được coi như bằng không). Điện áp trên mỗi nhánh cũng bằng tổng đại số các điện áp gây nên do tác dụng riêng rẽ của từng sức điện động.

Ví dụ. Xét mạch điện trên hình 3-10, a: $R=2\Omega$, $L = \frac{2}{100\pi}$ H. Tính dòng

điện chạy trong các nhánh đối với 2 trường hợp sau:

- Các nguồn điện xoay chiều : $e_1 = e_2 = 120\sqrt{2} \sin 314 t$ (V)
- Các nguồn điện một chiều : $E_1 = E_2 = 60$ V.



Hình 3-10

Bài giải.

Áp dụng phương pháp xếp chồng, ta có 2 sơ đồ tương ứng với sự tác động riêng rẽ của mỗi sức điện động (3-10, b,c).

a) Khi $e_1 = e_2 = 120\sqrt{2} \sin 314 t$ (V).

Ta có: Cảm kháng $X_L = \omega L = 314 \cdot \frac{2}{314} = 2\Omega$

Tổng trở: $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j2\Omega$

Giải mạch hình 3-10,b . Dùng phép biến đổi tương đương ta có tổng trở tương đương của hai nhánh 2 và 3 là:

$$\bar{Z}_{td} = \frac{2 + j2}{2} = 1 + j1 \Omega$$

$$\text{Dòng điện: } \bar{I}'_1 = \frac{\dot{E}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{td}} = \frac{120}{(2 + j2) + (1 + j1)} = 20 - j20 \text{ A}$$

$$\bar{I}'_2 = \bar{I}'_3 = \frac{\bar{I}'_1}{2} = 10 - j10 \text{ A}$$

Một cách tương tự, đối với mạch hình 3-10,c ta có:

$$\bar{I}''_2 = 20 - j20 \text{ A}$$

$$\bar{I}''_1 = \bar{I}''_3 = 10 - j10 \text{ A}$$

Dùng nguyên lý chồng chất ta có:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}'_1 - \bar{I}''_1 = (20 - j20) - (10 - j10) = 10 - j10 \text{ A}$$

$$I_1 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}'_2 - \bar{I}''_2 = (10 - j10) - (20 - j20) = -10 + j10 \text{ A}$$

$$I_2 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\bar{I}_3 = \bar{I}'_3 + \bar{I}''_3 = (10 - j10) + (10 - j10) = 20 - j20 \text{ A}$$

$$I_3 = \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \text{ A}$$

b) Trường hợp nguồn một chiều $E_1 = E_2 = 60 \text{ V}$

Khi giải mạch đối với dòng một chiều ở chế độ xác lập ta chỉ cần chú ý rằng các thành phần kháng bằng không, tổng trở của mỗi nhánh chỉ có thành phần điện trở hoạt động R . Các đại lượng khác được biểu diễn bằng số thực. Điện trở tương đương của 2 nhánh 2 và 3 (Hình 3-10,c) :

$$R_{td} = \frac{R}{2} = 1 \Omega$$

Các dòng điện:
$$I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + R_{td}} = \frac{60}{2 + 1} = 20 \text{ A}$$

$$I'_2 = I'_3 = \frac{I'_1}{2} = 10 \text{ A}$$

Tương tự, với sơ đồ hình 3-10, c ta có:

$$I''_2 = 20 \text{ A}$$

$$I''_1 = I''_3 = \frac{I''_2}{2} = 10 \text{ A}$$

Xếp chồng kết quả ta có:

$$I_1 = I'_1 - I''_1 = 20 - 10 = 10 \text{ A}$$

$$I_2 = I'_2 - I''_2 = 10 - 20 = -10 \text{ A}$$

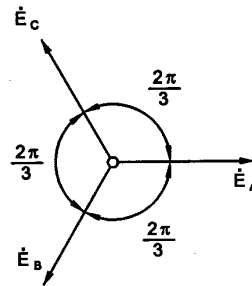
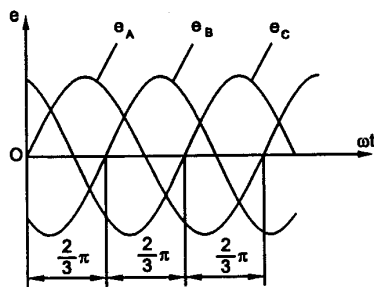
$$I_3 = I'_3 + I''_3 = 10 + 10 = 20 \text{ A}$$

Kết quả tính toán cho giá trị dòng $I_2 < 0$, như vậy dòng thực tế ngược với chiều đã chọn.

Chương 4.

MẠCH ĐIỆN BA PHA

Hệ thống điện 3 pha là tập hợp ba hệ thống điện một pha được nối với nhau tạo thành một hệ thống năng lượng điện từ chung, trong đó sức điện động ở mỗi mạch đều có dạng hình sin, cùng tần số, lệch pha nhau một phần ba chu kỳ.



§ 4.1. HỆ THỐNG ĐIỆN 3 PHA

4.1.1. Định nghĩa. Hệ thống điện 3 pha là tập hợp ba hệ thống điện một pha được nối với nhau tạo thành một hệ thống năng lượng điện từ chung, trong đó sức điện động ở mỗi mạch đều có dạng hình sin, cùng tần số, lệch pha nhau một phần ba chu kỳ.

Hệ thống điện 3 pha có nhiều ưu điểm hơn hẳn hệ thống điện một pha. Để truyền tải điện một pha ta cần dùng 2 dây dẫn, nhưng để truyền tải hệ thống 3 pha chỉ cần dùng 3 hoặc 4 dây dẫn do vậy tiết kiệm và kinh tế hơn. Hệ 3 pha dễ dàng tạo ra từ trường quay, làm cho việc chế tạo động cơ điện đơn giản. Các động cơ công suất lớn đều phải sử dụng nguồn điện 3 pha.

4.1.2. Nguyên lý máy phát điện ba pha.

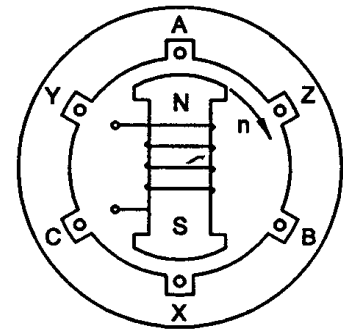
Hệ thống điện ba pha được tạo ra từ máy phát điện đồng bộ ba pha, hoạt động dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ.

Cấu tạo nguyên lý của máy phát điện 3 pha gồm hai phần:

a) *Stator (phần tĩnh)*. Gồm ba cuộn dây giống nhau (gọi là các cuộn dây pha) đặt lệch nhau 120° trong các rãnh của lõi thép stator. Các cuộn dây ba pha thường ký hiệu tương ứng là AX, BY, CZ.

b) *Rotor (phần quay)*. Là một nam châm điện N-S (hình 4-1)

Khi rotor quay, từ trường của nó lần lượt quét qua các cuộn dây pha, gây ra các sức điện động hình sin có cùng biên độ, cùng tần số, nhưng lệch pha nhau 120° . Nếu chọn pha ban đầu của sức điện động e_A trong cuộn dây AX bằng không ta có biểu thức các sức điện động trong các pha là:



Hình 4-1

$$e_A = E\sqrt{2} \sin \omega t$$

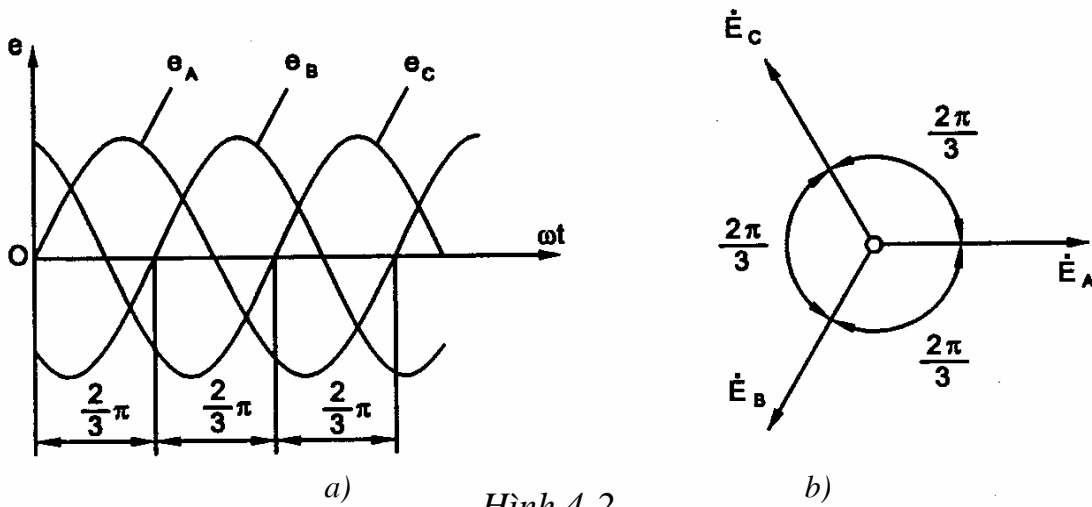
$$e_B = E\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4-1)$$

$$e_C = E\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Hoặc biểu diễn dưới dạng phức:

$$\begin{aligned}\dot{E}_A &= E e^{j0} \\ \dot{E}_B &= E e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ \dot{E}_C &= E e^{j\frac{2\pi}{3}}\end{aligned}\quad (4-2)$$

Đồ thị hình sin và giản đồ véc tơ sức điện động 3 pha được thể hiện trên hình 4-2.



Hình 4-2

Đối với nguồn 3 pha đối xứng ta có:

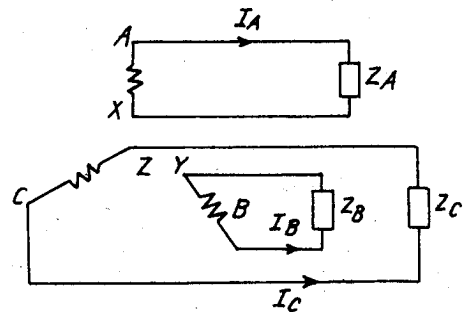
$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad (4-3,a)$$

Hoặc dưới dạng phức:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \quad (4-3,b)$$

Nếu nối riêng rẽ từng pha với tải ta được 3 hệ thống một pha độc lập, hay hệ thống 3 pha không liên hệ với nhau (hình 4-3). Hệ thống này ít sử dụng trong thực tế do không kinh tế vì cần tới 6 dây dẫn.

Thông thường 3 pha nguồn được nối với nhau, 3 pha tải cũng được nối với nhau và có đường dây 3 pha nối giữa nguồn và tải. Có 2 phương pháp nối mạch 3 pha thường sử dụng trong công nghiệp là nối hình sao (Y) và nối hình tam giác (Δ).



Hình 4-3

§ 4.2. PHƯƠNG PHÁP NỐI HÌNH SAO

4.2.1. Nguyên tắc nối.

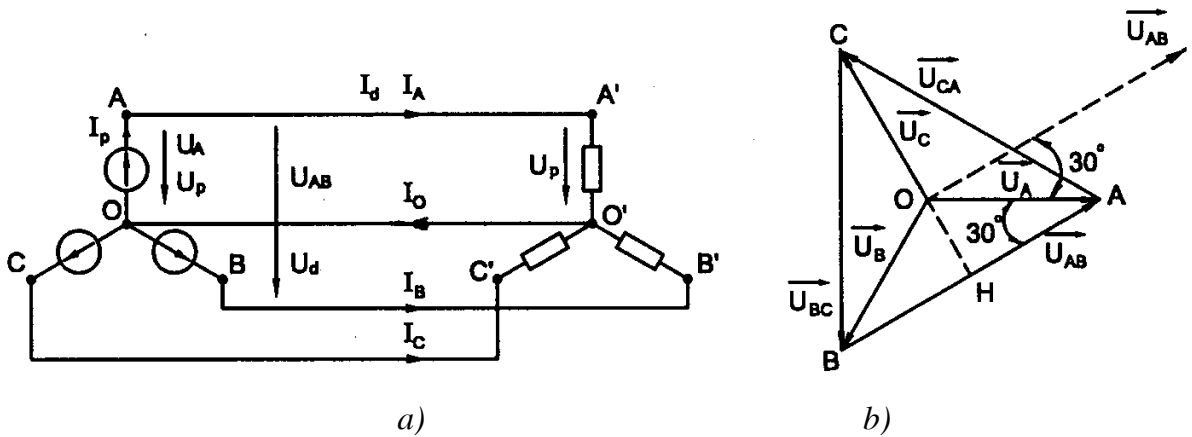
Mỗi pha của nguồn và tải đều có điểm đầu và điểm cuối. Ta thường ký hiệu các điểm đầu pha là A,B,C, các điểm cuối pha là X,Y,Z. Để nối hình sao người ta nối 3 điểm cuối của các pha lại với nhau tạo thành điểm trung tính.

Đối với nguồn, 3 điểm cuối X, Y, Z của các cuộn dây máy phát điện được nối lại với nhau tạo thành điểm trung tính O.

Đối với tải, 3 điểm cuối X', Y', Z' được nối lại với nhau tạo thành điểm trung tính O' (hình 4-4, a).

Ba dây nối các điểm đầu của nguồn và tải AA', BB', CC' gọi là các dây pha.

Dây dẫn nối các điểm trung tính OO' gọi là dây trung tính.



Hình 4-4

4.2.2. Quan hệ giữa các đại lượng dây - pha.

a) Quan hệ giữa dòng điện dây I_d và dòng điện pha I_p .

Dòng điện pha I_p là dòng điện chạy trong mỗi pha của nguồn (hoặc tải). Dòng điện dây I_d là dòng chạy trong các dây pha nối giữa nguồn và tải. Từ hình (4-4, a) ta thấy dòng điện dây I_d có giá trị bằng dòng điện chạy trong các pha I_p .

$$I_d = I_p \tag{4-4}$$

b) Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha.

Điện áp pha U_p là điện áp giữa điểm đầu và điểm cuối của mỗi pha (hoặc giữa dây pha và dây trung tính).

Điện áp dây U_d là điện áp giữa 2 dây pha:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{aligned} \quad (4-5)$$

Để vẽ đồ thị véc tơ điện áp dây, trước hết ta vẽ đồ thị véc tơ điện áp pha U_A, U_B, U_C , sau đó dựa vào công thức (4-5) ta dựng đồ thị véc tơ điện áp dây như trên hình (4-4, b), hoặc hình (4-5). Ta có:

– Về trị số, điện áp dây U_d lớn hơn điện áp pha U_p là $\sqrt{3}$ lần. Thật vậy, xét tam giác OAB từ đồ thị hình (4-4, b) ta có:

$$AB = 2 AH = 2 OA \cos 30^\circ = 2 OA \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} OA$$

$$U_d = \sqrt{3} U_p \quad (4-6)$$

Để thấy rằng, khi điện áp pha đối xứng, thì điện áp dây đối xứng.

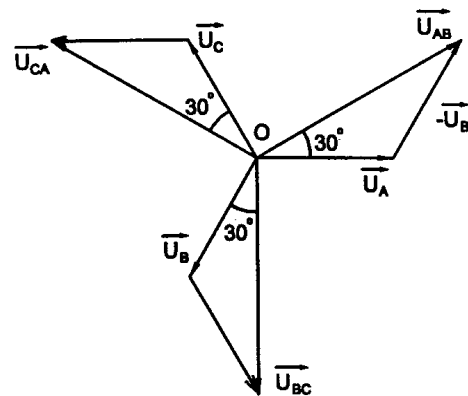
– Về pha, các điện áp dây U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} lệch pha nhau một góc 120° và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 30° .

Khi tải đối xứng, dòng điện qua dây trung tính bằng không:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (4-7)$$

Trong trường hợp này có thể không cần dây trung tính, ta có mạch ba pha ba dây. Ví dụ, động cơ điện ba pha là tải đối xứng, chỉ cần đưa ba dây pha nối đến động cơ.

Thông thường trong thực tế, tải ba pha là không cân bằng, khi đó dòng điện qua dây trung tính là khác không, do đó bắt buộc phải có dây trung tính.

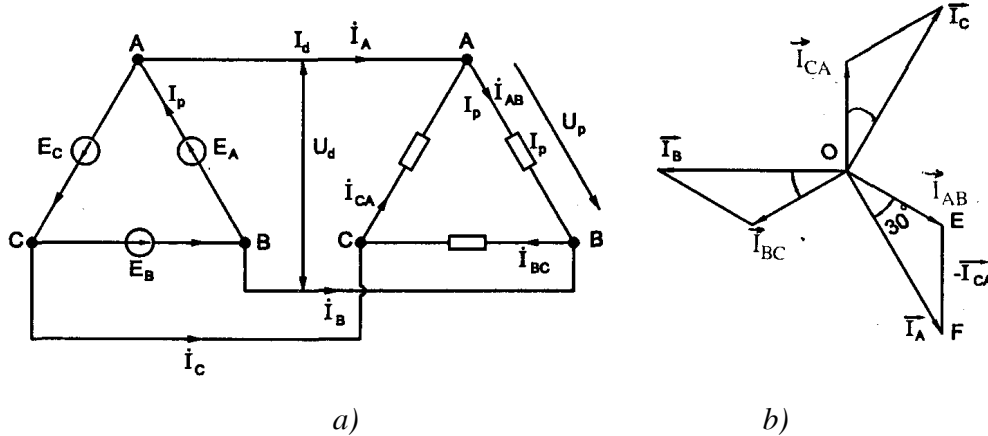


Hình 4-5

§ 4.3. PHƯƠNG PHÁP NỐI HÌNH TAM GIÁC.

4.3.1. Nguyên tắc nối.

Để nối hình tam giác người ta nối đầu pha này với cuối pha kia, ví dụ A nối với Z, B nối với X, C nối với Y (hình 4-6).



Hình 4-6

4.3.2. Quan hệ giữa các đại lượng dây – pha.

Ký hiệu các đại lượng dây, pha như trên hình 4-6, a.

a) Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha.

Từ hình vẽ ta thấy khi nối tam giác thì điện áp giữa hai dây chính là điện áp pha:

$$U_d = U_p \tag{4-8}$$

b) Quan hệ giữa dòng điện dây I_d và dòng điện pha I_p .

Áp dụng định luật Kirchoff 1 cho các nút, ta có:

$$\begin{aligned} \text{Tại nút A:} \quad & \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \\ \text{Tại nút B:} \quad & \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \\ \text{Tại nút C:} \quad & \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \end{aligned} \tag{4-9}$$

Đồ thị véc tơ các dòng điện dây I_A, I_B, I_C và dòng điện pha I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} vẽ trên hình (4-6, b). Ta có:

– Về trị số, dòng điện dây lớn gấp $\sqrt{3}$ lần dòng điện pha. Thật vậy, xét tam giác OEF từ đồ thị hình (4-6, b) ta có:

$$EF = 2OE \cos 30^\circ = 2OE \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} OE$$

từ đó:
$$I_d = \sqrt{3} I_p \quad (4-10)$$

– Về pha, các dòng điện dây I_A, I_B, I_C lệch pha nhau một góc 120° và chậm pha sau dòng điện pha tương ứng một góc 30° .

§ 4.4. CÔNG SUẤT ĐIỆN BA PHA

4.4.1. Công suất tác dụng P .

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

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

Khi mạch ba pha đối xứng ta có:

$$U_A = U_B = U_C = U_p$$

$$I_A = I_B = I_C = I_p$$

$$\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = \cos \varphi$$

Từ đó:
$$P = 3U_p I_p \cos \varphi \quad (4-11)$$

Hoặc:
$$P = 3R_p I_p^2 \quad (4-12)$$

Trong đó R_p là điện trở pha. Nếu thay đại lượng pha bằng đại lượng dây:

Trong cách nối hình sao:

$$I_p = I_d; U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

Trong cách nối hình tam giác:

$$U_p = U_d; I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

Ta có công suất tác dụng trong mạch ba pha viết theo đại lượng dây áp dụng cho cả hai trường hợp nối hình sao và tam giác đối xứng:

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (4-13)$$

Trong đó φ là góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng:

$$\cos \varphi = \frac{R_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

4.4.2. Công suất phản kháng Q .

Công suất phản kháng của mạch ba pha là:

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

Khi mạch đối xứng ta có:

$$Q = 3 U_p I_p \sin \varphi \quad (4-14)$$

Hoặc:
$$Q = 3 X_p I_p^2 \quad (4-15)$$

Trong đó X_p là điện kháng của pha. Nếu biểu diễn theo các đại lượng dây ta cũng có:

$$Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (4-16)$$

4.4.2. Công suất biểu kiến.

Khi đối xứng, công suất biểu kiến ba pha là:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3 U_p I_p = \sqrt{3} U_d I_d \quad (4-17)$$

§ 4.5. GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA ĐỐI XỨNG.

Đối với mạch điện ba pha đối xứng, dòng điện và điện áp các pha có trị số bằng nhau và lệch pha nhau một góc 120° . Khi giải mạch ba pha ta chỉ cần tính cho một pha, sau đó suy ra các pha còn lại.

Khi nối vào nguồn có điện áp U_d , bỏ qua tổng trở của đường dây, nếu biết tổng trở tải, các bước tính toán sẽ thực hiện như sau:

–*Bước 1.* Xác định cách nối phụ tải : hình sao hay tam giác?

–*Bước 2.* Xác định điện áp pha của tải:

+ Nếu nối hình sao:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

+ Nếu tải nối tam giác: $U_d = U_p$

– *Bước 3.* Xác định tổng trở pha và hệ số công suất của tải.

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$$

$$\text{Hệ số công suất : } \cos \varphi = \frac{R_p}{Z_p} = \frac{R_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

– *Bước 4.* Tính dòng điện I_p của phụ tải.

$$+ \text{ Nếu tải nối sao: } I_d = I_p$$

$$+ \text{ Nếu tải nối tam giác: } I_d = \sqrt{3}I_p$$

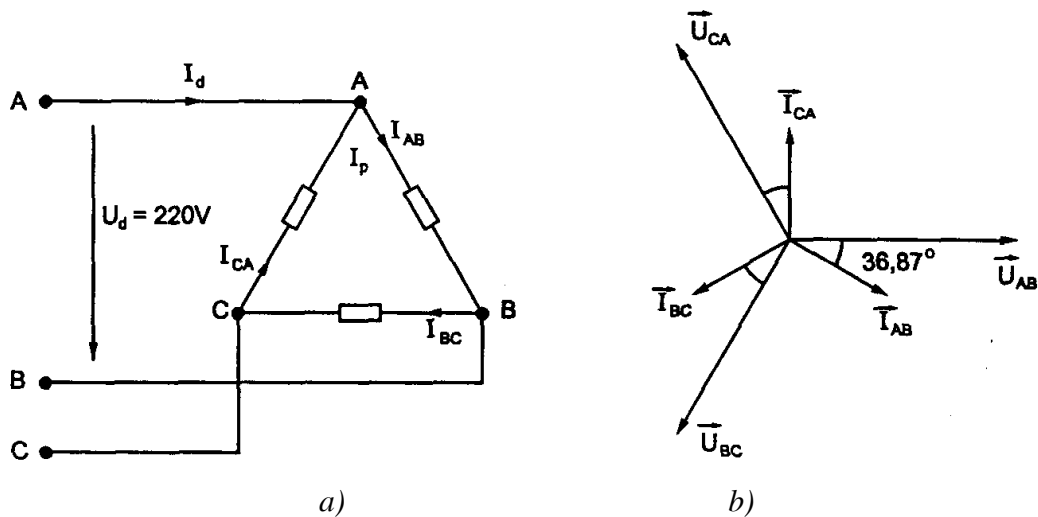
– *Bước 5.* Tính công suất tiêu thụ trên phụ tải.

$$P = 3R_p I_p^2 = 3U_p I_p \cos \varphi = \sqrt{3}U_d I_d \cos \varphi$$

$$Q = 3X_p I_p^2 = 3U_p I_p \sin \varphi = \sqrt{3}U_d I_d \sin \varphi$$

$$S = 3Z_p I_p^2 = 3U_p I_p = \sqrt{3}U_d I_d$$

Ví dụ 1. Một tải 3 pha có điện trở pha $R_p = 20\Omega$, điện kháng pha $X_p = 15\Omega$, nối hình tam giác và đấu vào lưới điện 3 pha có điện áp dây $U_d = 220V$. (hình 4-7, a). Tính dòng điện pha I_p , dòng điện dây I_d , công suất tải tiêu thụ và vẽ đồ thị véc tơ điện áp dây và dòng điện pha phụ tải.



Hình 4-7

Bài giải. Theo sơ đồ đấu dây (hình 4-7) tải nối tam giác, do đó điện áp pha của tải là:

$$U_d = U_p = 220 \text{ V}$$

Tổng trở pha của tải:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25\Omega$$

Dòng điện pha của tải:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{220}{25} = 8,8A$$

Dòng điện dây của tải:

$$I_d = \sqrt{3} I_p = \sqrt{3} \cdot 8,8 = 15,24A$$

Công suất tải tiêu thụ:

$$P = 3R_p I_p^2 = 3 \cdot 20 \cdot 8,8^2 = 4646,4W$$

$$Q = 3X_p I_p^2 = 3 \cdot 15 \cdot 8,8^2 = 3484,8VAR$$

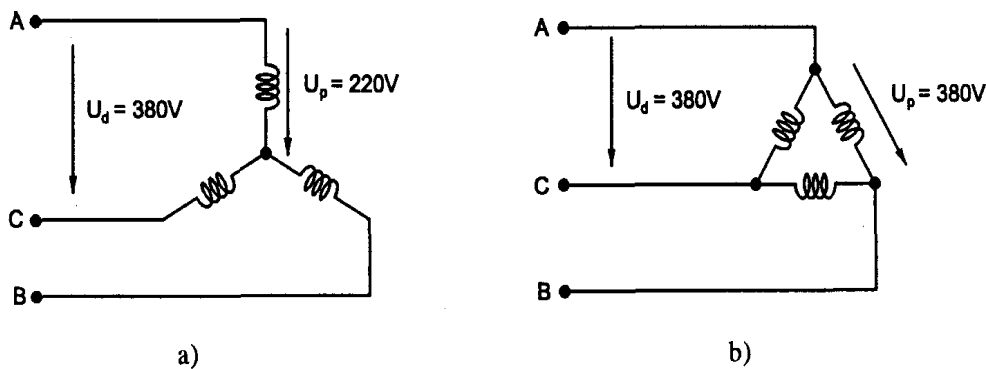
$$S = \sqrt{3} U_d I_d = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 15,24 = 5870,21VA$$

Hệ số công suất: $\cos \varphi = \frac{R_p}{Z_p} = \frac{20}{25} = 0,8$, $\varphi = 36,87^\circ$

Dòng điện chậm pha hơn điện áp một góc là $\varphi = 36,87^\circ$. Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp pha vẽ trên hình (4-7, b).

Ví dụ 2, Một tải 3 pha là 3 cuộn dây được đấu vào lưới điện 3 pha có điện áp dây là 380 V. Cuộn dây có điện trở $R = 2\Omega$, điện kháng $X = 8\Omega$ và được thiết kế làm việc ở điện áp định mức là 220V.

- 2) Xác định cách nối các cuộn dây thành tải 3 pha.
- 2) Tính công suất P , Q và $\cos \varphi$ của tải.



Hình 4-8

Bài giải.

a) Các cuộn dây phải nối hình sao (hình 4-8. a), vì khi đấu vào lưới điện 3 pha thì điện áp pha đặt lên mỗi cuộn dây bằng điện áp định mức:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}.$$

Nếu tải nối tam giác, điện áp pha đặt lên cuộn dây (hình 4-8, b):

$$U_p = U_d = 380 \text{ V}$$

Giá trị điện áp 380 V lớn hơn điện áp định mức của cuộn dây, nên cuộn dây sẽ bị hỏng.

b) Tổng trở pha của tải là:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{2^2 + 8^2} = 8,24 \Omega$$

Hệ số công suất:

$$\cos \varphi = \frac{R_p}{Z_p} = \frac{2}{8,24} = 0,242$$

$$\sin \varphi = \frac{X_p}{Z_p} = \frac{8}{8,24} = 0,97$$

Dòng điện pha I_p của tải:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{220}{8,24} = 26,7 \text{ A}$$

Dòng điện dây:

$$I_d = I_p = 26,7 \text{ A}$$

Công suất tác dụng của tải:

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 26,7 \cdot 0,242 = 4252,6 \text{ W}$$

Công suất phản kháng của tải:

$$Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 26,7 \cdot 0,97 = 17045,7 \text{ VAR}$$

Công suất biểu kiến:

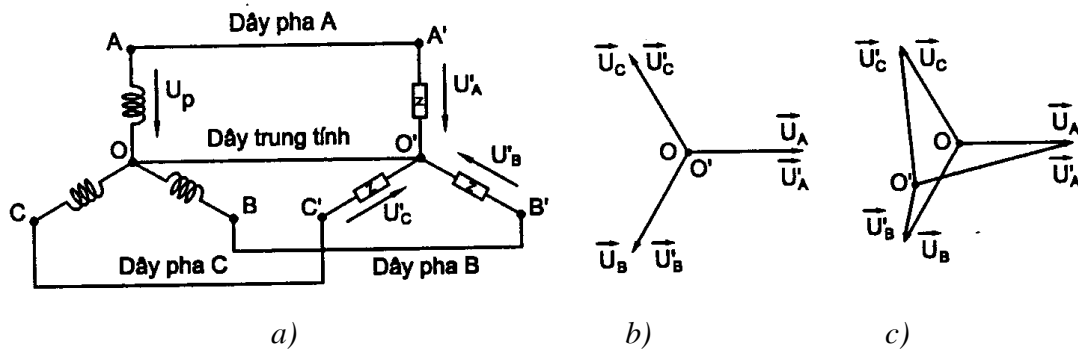
$$S = \sqrt{3} U_d I_d = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 26,7 = 17572,8 \text{ VA}$$

§ 4.6. GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG

Mạng điện ba pha cung cấp điện cho các khu dân cư là mạng điện 3 pha 4 dây. Năng lượng điện cung cấp cho sinh hoạt được lấy từ một pha và dây trung tính, do đó cấp điện áp định mức của các thiết bị tiêu thụ điện là điện áp pha U_p . Do tải của các pha là không đồng nhất và thay

TS. Lưu Thế Vinh

đổi nhiều nên mạng điện của hệ thống là mạng 3 pha không đối xứng (hình 4-9).



Hình 4-9

Nếu bỏ qua trở kháng của dây trung tính tức là bỏ qua sụt áp trên đường dây thì điện thế điểm trung tính của tải O' xem như trùng với điện thế điểm trung tính của nguồn O . Khi tải các pha thay đổi điện áp pha U_p trên tải vẫn giữ giá trị bình thường (hình 4-9, b) không vượt quá điện áp 3 pha.

Đây là tác dụng của dây trung tính. Nếu không có dây trung tính, hoặc dây trung tính bị đứt thì trong trường hợp tải các pha thay đổi điểm trung tính O' của tải sẽ lệch khỏi điểm trung tính O của nguồn làm cho điện áp các pha tải $U_{A'}$, $U_{B'}$, $U_{C'}$ thay đổi rất nhiều (hình 4-9, c) so với điện áp pha định mức, dẫn tới quá áp hoặc thiếu áp cho các dụng cụ tiêu thụ điện.

Đối với mạch 3 pha nối hình sao không có dây trung tính, khi tải không đối xứng ta tiến hành giải bài toán đối với từng pha riêng rẽ.

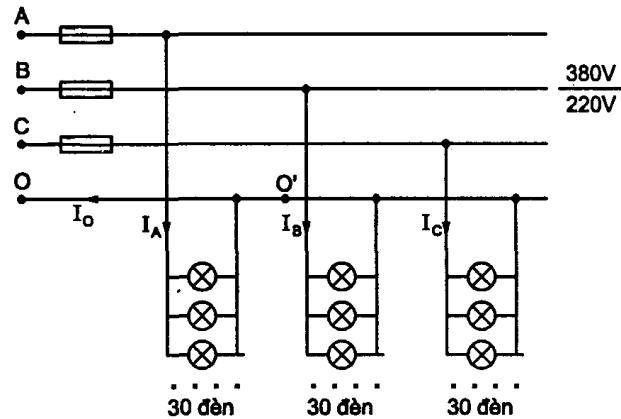
Ví dụ. Mạng điện 3 pha 380 / 220V có dây trung tính cung cấp điện cho tải 3 pha gồm 90 bóng đèn sợi đốt loại 220V-60W, mỗi pha 30 bóng.

- a) Vẽ sơ đồ mạch điện.
- b) Tính I_A, I_B, I_C, I_0, P khi tất cả các bóng đều bật sáng.
- c) Tính I_A, I_B, I_0, P khi pha A có 10 bóng đèn bật sáng, pha B có 20 bóng bật sáng, pha C cắt điện.
- d) Tính điện áp đặt lên các đèn ở pha A và pha B trong câu c, khi pha C cắt điện và dây trung tính bị đứt.

Bài giải.

a) Mạch điện 3 pha 380/220V là mạng 3 pha 4 dây: 3 dây pha và dây trung tính. Điện áp dây $U_d = 380 \text{ V}$. Điện áp pha $U_p = 220 \text{ V}$.

Các bóng đèn có điện áp định mức là 220V nên phải sử dụng điện áp pha. Sơ đồ mắc mạch như hình 4-10.



Hình 4-10

b) Vì điện áp đặt vào các bóng đèn bằng điện áp định mức, nên công suất tiêu thụ trên mỗi bóng đèn sẽ bằng công suất định mức 60W.

Tất cả các bóng đều bật sáng, mạch tải 3 pha là đối xứng, công suất các pha là bằng nhau:

$$P_A = P_B = P_C = P_p = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ W.}$$

Công suất 3 pha:

$$P = 3 P_p = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ W.}$$

Tải là các bóng đèn, xem như thuần trở R nên góc lệch pha $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$. Từ đó ta có dòng điện chạy trong các pha tải là:

$$I_A = I_B = I_C = I_p = \frac{P_p}{U_p \cos \varphi} = \frac{1800}{220 \cdot 1} \approx 8,18 \text{ A}$$

Vì nguồn và tải đối xứng nên:

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

Đồ thị véc tơ vẽ trên hình 4-11, a, trong đó dòng điện trùng pha với điện áp

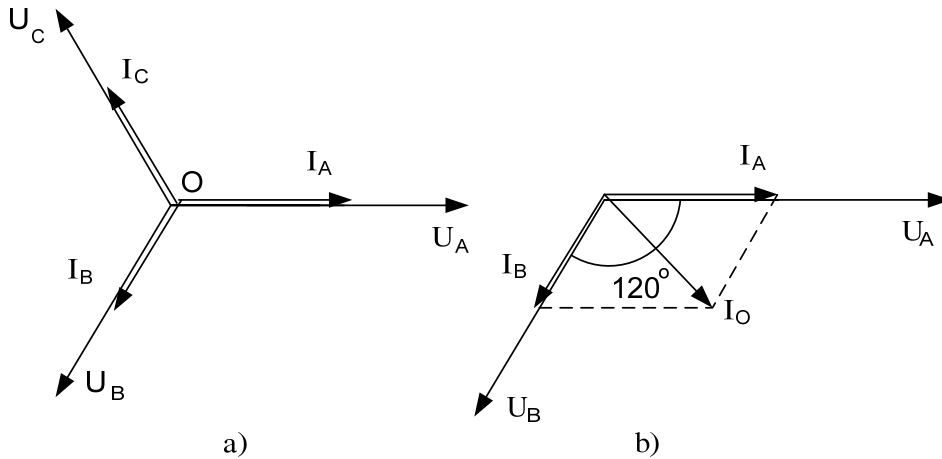
c) Khi pha C cắt điện, $I_C = 0$, các pha khác vẫn bình thường, điện áp trên các bóng đèn vẫn ở giá trị định mức:

$$I_A = \frac{P_A}{U_A \cos \varphi} = \frac{10.60}{220.1} = 2,73 A$$

$$I_B = \frac{P_B}{U_B \cos \varphi} = \frac{20.60}{220.1} = 5,45 A$$

$$P = P_A + P_B = 10.60 + 20.60 = 1800 W$$

Đồ thị véc tơ cho trên hình 4-11, b.



Hình 4-11

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_C \quad I_0 = \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + 2I_A I_B \cos 120^\circ} = 4,72 A$$

d) Khi pha C cắt điện, đồng thời nếu dây trung tính bị đứt mạch điện còn lại như hình 4-12, a. Các bóng đèn pha A và pha B mắc nối tiếp và nối vào điện áp dây U_{AB} .

Ta có điện trở mỗi bóng đèn:

$$R_d = \frac{U_{dm}^2}{P_{dm}} = \frac{220^2}{60} = 806,6 \Omega$$

Điện trở tương đương của 10 bóng đèn mắc song song pha A:

$$R_A = \frac{R_d}{10} = \frac{806,6}{10} = 80,66 \Omega$$

Điện trở tương đương của 20 bóng đèn pha B:

$$R_B = \frac{R_d}{20} = \frac{806,6}{20} = 40,33 \Omega$$

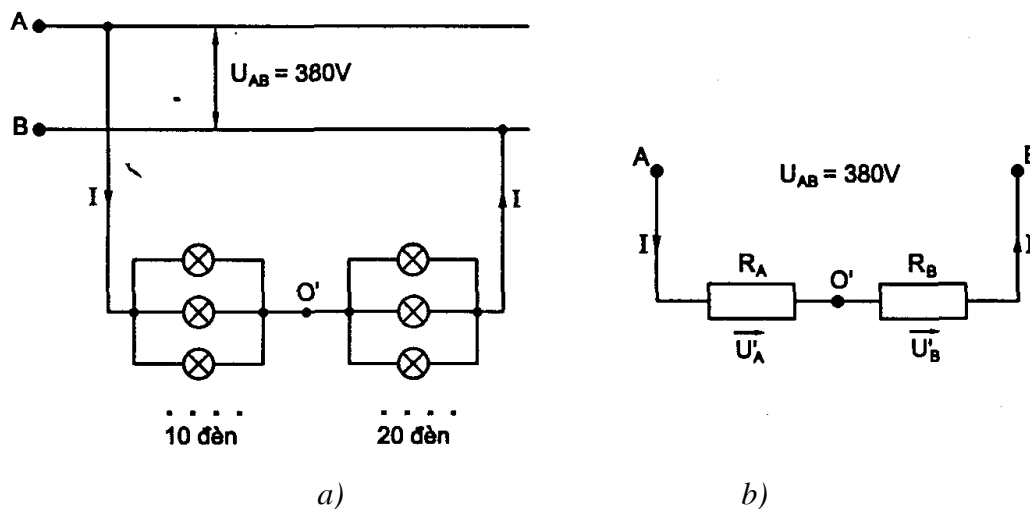
Mạch điện tương đương vẽ trên hình 4-12, b.

Dòng điện I chạy trong mạch là:

$$I = \frac{U_{AB}}{R_A + R_B} = \frac{380}{80,66 + 30,33} = 3,14 \text{ A}$$

Điện áp đặt lên các bóng đèn pha A là:

$$U_A' = R_A \cdot I = 80,66 \cdot 3,14 = 253,27 \text{ V}$$



Hình 4-12

Ta thấy $U_A' = 253,27 \text{ V} > 220 \text{ V} = U_{dm}$, đèn pha A quá áp nên có thể bị cháy

Điện áp đặt lên các bóng đèn pha B là:

$$U_B' = R_B \cdot I = 30,33 \cdot 3,14 = 95,23 \text{ V}$$

Vì $U_B' = 95,23 < 220 \text{ V} = U_{dm}$, nên đèn pha B kém áp nên không sáng bình thường.

Như vậy ta thấy, nếu dây trung tính bị đứt sẽ rất nguy hiểm cho phụ tải vì có thể bị quá áp hoặc kém điện áp.

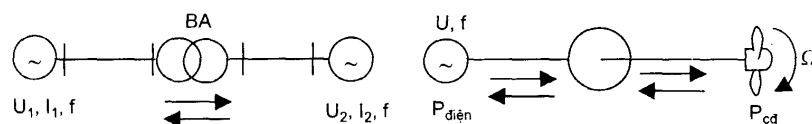
Phần thứ 2. **MÁY ĐIỆN**

Chương 5

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ và tương tác giữa từ trường và dòng điện, dùng để biến đổi các dạng năng lượng khác nhau thành điện năng (máy phát điện), hoặc ngược lại biến đổi 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, v.v....

Máy điện có rất nhiều loại khác nhau, sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, giao thông vận tải, trong sản xuất và đời sống.



§ 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 và tương tác giữa từ trường và dòng điện, dùng để biến đổi các dạng năng lượng khác nhau thành điện năng (máy phát điện), hoặc ngược lại biến đổi 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, v.v....

Máy điện có rất nhiều loại khác nhau, sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, giao thông vận tải, trong sản xuất và đời sống.

5.1.2. Phân loại.

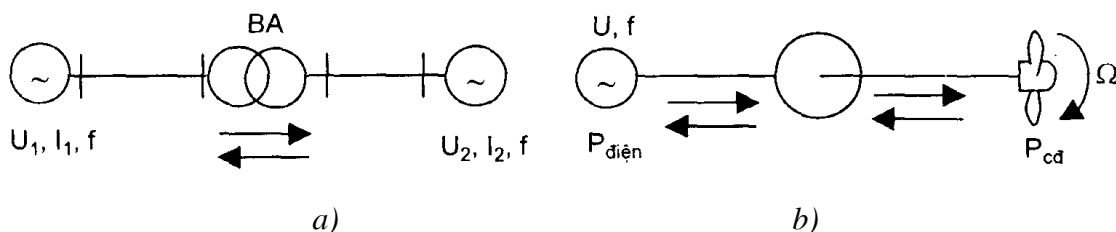
Có thể phân loại theo các tiêu chí khác nhau: theo công suất, theo cấu tạo, theo loại dòng điện, theo nguyên lý làm việc,

Theo nguyên lý biến đổi năng lượng ta có 2 loại máy điện: máy điện tĩnh và máy điện quay.

1) Máy điện tĩnh.

Máy điện tĩnh làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ giữa những cuộn dây không có chuyển động tương đối với nhau. Loại máy điện tĩnh thông dụng là máy biến áp.

Các máy điện tĩnh được dùng để biến đổi các thông số điện năng, quá trình có tính chất thuận nghịch. Ví dụ, máy biến áp biến đổi điện năng đầu vào các thông số là U_1, I_1, f (sơ cấp) thành điện năng lối ra có các thông số tương ứng là U_2, I_2, f (thứ cấp). Ngược lại, nếu đầu vào là U_2, I_2, f thì đầu ra sẽ là U_1, I_1, f (hình 5-1).

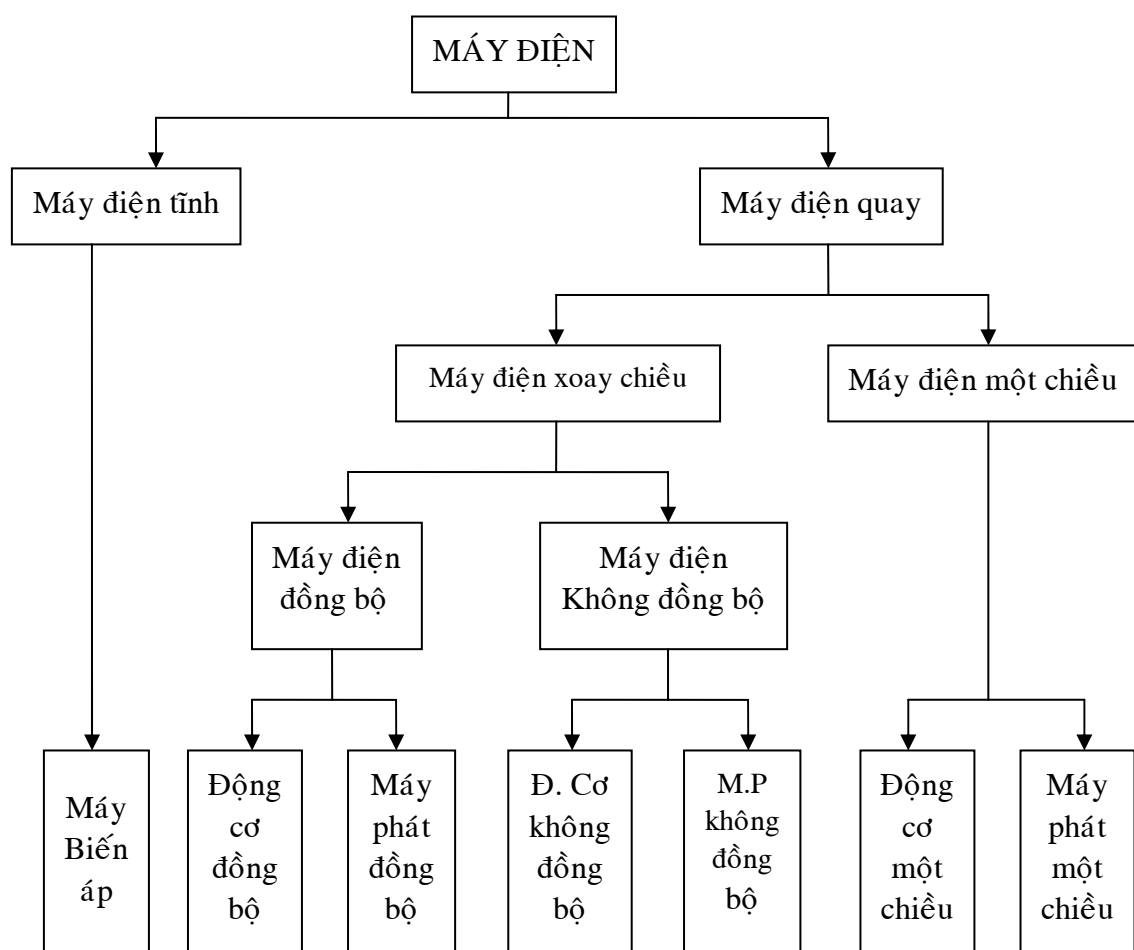


Hình 5-1

2) Máy điện quay.

Là loại máy điện làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ và tương tác điện từ giữa từ trường và dòng điện trong các cuộn dây có chuyển động tương đối với nhau.

Loại máy điện quay thường dùng để biến đổi cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ). Quá trình biến đổi cũng có tính thuận nghịch (hình 5-1, b). Trên hình 5-2 là sơ đồ phân loại các máy điện thông dụng.



Hình 5-2

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

Nguyên lý cơ bản của mọi máy điện đều dựa trên cơ sở hai định luật cảm ứng điện từ là lực điện từ. Khi tính toán mạch từ thường sử dụng định luật dòng toàn phần.

5.2.1. Định luật cảm ứng điện từ.

Mỗi khi từ thông gửi qua một khung dây dẫn kín biến thiên thì trong khung dây sẽ xuất hiện một sức điện động cảm ứng. Theo định luật Faraday và quy tắc Lenx thì sức điện động cảm ứng xuất hiện trong mạch có giá trị bằng và ngược dấu với tốc độ biến thiên của từ thông:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (5-1)$$

Trường hợp mạch điện hở, chẳng hạn một thanh dây dẫn chuyển động trong từ trường, trong thanh dây dẫn sẽ xuất hiện một sức điện động cảm ứng. Ví dụ trên hình 5-3, a, khi thanh dây dẫn chuyển động thẳng góc với các đường sức từ, sức điện động cảm ứng xuất hiện trong thanh là:

$$e = Blv \quad (5-2)$$

Trong đó: – B : cảm ứng từ (T)
– l : chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn (m)
– v : tốc độ chuyển động của thanh dẫn (m/s)

Chiều của sức điện động cảm ứng xác định theo quy tắc bàn tay phải (hình 5-3, a).

5.2.2. Định luật lực từ

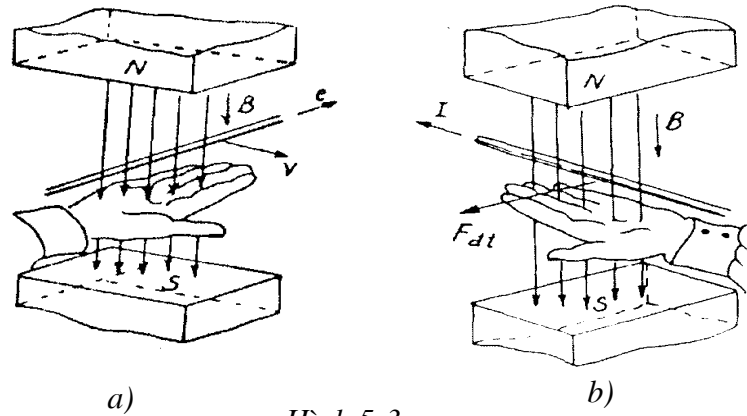
Khi cho một thanh dẫn có dòng điện I chạy qua đặt trong một từ trường đều \vec{B} , thanh dẫn sẽ chịu tác dụng của một lực điện từ xác định theo biểu thức:

$$\vec{F} = I[\vec{l} \cdot \vec{B}] \quad (5-3)$$

Nếu thanh dẫn chuyển động thẳng góc với từ trường, lực điện từ sẽ có giá trị:

$$F = I B l \quad (5-4)$$

Chiều của lực điện từ được xác định theo quy tắc bàn tay trái (hình 5-3,b)



Hình 5-3

§ 5.3. NGUYÊN LÝ VÀ TÍNH THUẬN NGHỊCH CỦA MÁY ĐIỆN

Các máy điện đều làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ nên đều có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc ở hai chế độ: chế độ máy phát và chế độ động cơ.

5.3.1. Chế độ máy phát điện.

Chế độ máy phát điện là chế độ cơ năng được biến đổi thành điện năng. Ta hãy xét nguyên tắc này như sau: dùng cơ năng từ một động cơ sơ cấp tác dụng vào một thanh dẫn một lực cơ học $F_{cơ}$ làm cho nó chuyển động với một vận tốc v trong từ trường của một nam châm N-S. Trong thanh dẫn sẽ xuất hiện một sức điện động cảm ứng có độ lớn xác định theo (5-2).

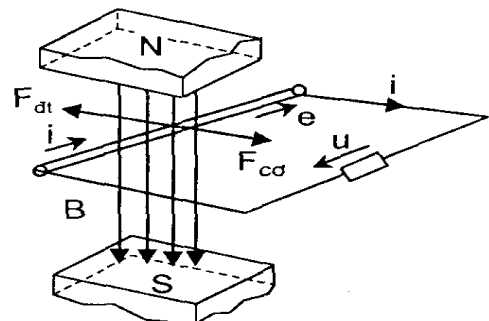
Nếu nối hai đầu thanh dẫn vào điện trở tải R , qua R sẽ có dòng điện i . Nếu bỏ qua sụt áp trên thanh dẫn ta có thể viết:

$$u = e$$

Công suất máy phát điện cung cấp cho tải là:

$$P_d = ui = ei$$

Dòng điện i nằm trong từ trường lại chịu tác dụng của một từ lực $F_{dt} = iBl$ có chiều như hình vẽ (hình 5-4).



Hình 5-4

Khi máy quay với một tốc độ không đổi thì lực điện từ sẽ cân bằng với lực cơ của động cơ sơ cấp: $F_{cơ} = F_{đt}$.

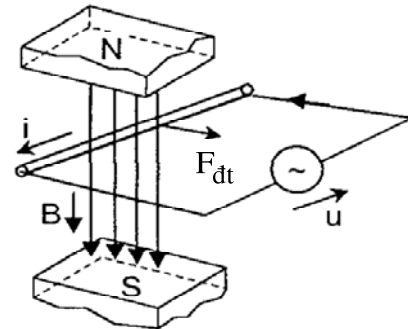
Nhân hai vế với vận tốc v ta có: $F_{cơ} \cdot v = F_{đt} \cdot v = iBlv = ei$.

Như vậy, công suất cơ của động cơ sơ cấp $P_{cơ} = F_{cơ} \cdot v$ đã được biến đổi thành công suất điện $P_{đt} = ei$. Nói cách khác, cơ năng đã được chuyển hóa thành điện năng.

5.3.2. Chế độ động cơ điện.

Dòng điện đặt trong từ trường sẽ chịu tác dụng của từ lực. Ta hãy cung cấp một điện áp u cho thanh dẫn đặt trong từ trường đều của một nam châm N-S, qua thanh sẽ có dòng điện i . Theo định luật lực từ thanh dẫn sẽ chịu tác dụng của một từ lực $F_{đt} = ilB$ và làm thanh dẫn chuyển động với vận tốc v (hình 5-5).

Như vậy công suất điện đưa vào động cơ là $P_{đt} = ui$ đã được biến đổi thành công suất cơ $P_{cơ} = F_{đt} v$. Điện năng được biến đổi thành cơ năng.



Hình 5-5

Ta thấy, cùng một thiết bị điện từ (thanh dẫn đặt trong từ trường) tùy thuộc vào năng lượng đưa vào mà máy điện có thể làm việc ở chế độ động cơ hoặc chế độ máy phát. Đây là đặc tính thuận nghịch của máy điện, một đặc tính hết sức quan trọng và quý báu làm cho máy điện có ưu thế hơn hẳn so với các bộ biến đổi năng lượng khác (tua bin hơi nước, động cơ diesel, động cơ phản lực ...)

§ 5.4. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ.

5.4.1. Định lý mạch từ.

Định lý mạch từ chính là định lý dòng toàn phần áp dụng cho mạch từ. Trong các máy điện, lõi thép là mạch từ của máy dùng để tập trung từ trường và dẫn từ thông. Ta hãy xét một mạch từ đơn giản như trên hình (5-6, a). Đây là mạch từ không phân nhánh đồng nhất bằng thép kỹ thuật và có một cuộn dây có dòng i chạy qua.

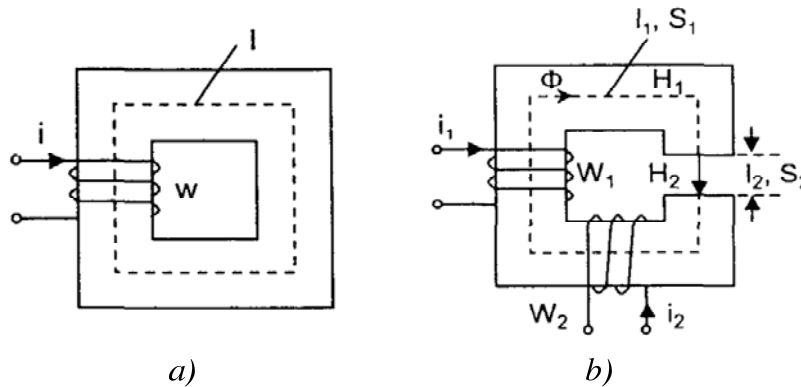
Áp dụng định lý dòng toàn phần $\oint H dl = \sum i$ cho mạch từ trên ta có:

$$Hl = wi \tag{5-5}$$

Trong đó:

- H – từ trường trong mạch từ (A/m)
- l – chiều dài trung bình của mạch từ (m)
- w – số vòng dây của cuộn dây.

Tích số wi – gọi là sức từ động, Hl – được gọi là từ áp rơi trong mạch từ.



Hình 5-6

Trong trường hợp mạch từ không đồng nhất và có nhiều cuộn dây, ví dụ mạch từ hình (5-6, b) thì công thức (5-5) có dạng:

$$H_1l_1 + H_2l_2 = w_1i_1 - w_2i_2$$

Trong đó:

- H_1, H_2 – cường độ từ trường trong các đoạn mạch từ 1, 2.
- l_1, l_2 – chiều dài các đoạn từ 1, 2.
- H_1l_1, H_2l_2 – từ áp trên các đoạn 1, 2.
- w_1i_1, w_2i_2 – sức từ động của các cuộn dây w_1 và w_2 .

Dấu (-) trước w_2i_2 vì chiều dòng i_2 không thuận với chiều của từ thông Φ đã chọn theo quy tắc vắn nút chai.

Một cách tổng quát, đối với mạch từ có n đoạn và có m cuộn dây, phương trình (5-5) được viết :

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{j=1}^m w_j i_j \tag{5-6}$$

Dấu của dòng $i_j > 0$ nếu thuận chiều với chiều của từ thông Φ đã chọn theo quy tắc vắn nút chai, ngược lại lấy dấu âm.

5.4.2. Tính toán mạch từ.

TS. Lưu Thế Vinh

Khi tính toán mạch từ thường gặp 2 bài toán sau:

– *Bài toán thuận.* Cho biết trước từ thông, cần phải tính dòng từ hóa (hoặc số vòng dây) để sinh ra từ thông đó.

– *Bài toán ngược.* Cho dòng điện, cần tính từ thông ứng với một mạch từ xác định.

Ví dụ. Cho mạch từ không phân nhánh như hình 5-7, b. Cho từ thông trong mạch từ là Φ . Hãy tính dòng trong các cuộn dây.

Ta có, cảm ứng từ tương ứng trong các đoạn mạch 1, 2 là:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}, \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}$$

S_1, S_2 tương ứng là tiết diện các đoạn mạch 1, 2.

Đối với đoạn mạch 2 là khe không khí, cường độ từ trường trong khe là:

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0}$$

với $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m là hằng số từ.

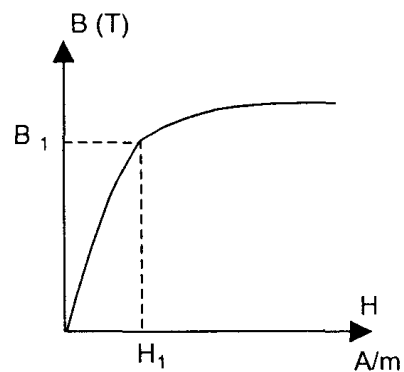
Đối với đoạn mạch 1 là vật liệu sắt từ, ta phải tra bảng đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ tương ứng $B = f(H)$ (hình 5-7). Biết B_1 ta tìm được H_1 bằng đồ thị.

Tiếp theo, áp dụng định luật mạch từ để tính tổng:

$$\sum_k H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2$$

Sau đó áp dụng (5-5) để tính dòng từ hóa (hoặc số vòng dây).

Đối với bài toán ngược. Cho biết dòng điện, cần tính từ thông. Đây là bài toán phức tạp hơn phải áp dụng phương pháp dò, hoặc các phương pháp đồ thị, phương pháp số dùng cho mạch phi tuyến. Trong phạm vi giáo trình ta chỉ giới hạn xét bài toán thuận.

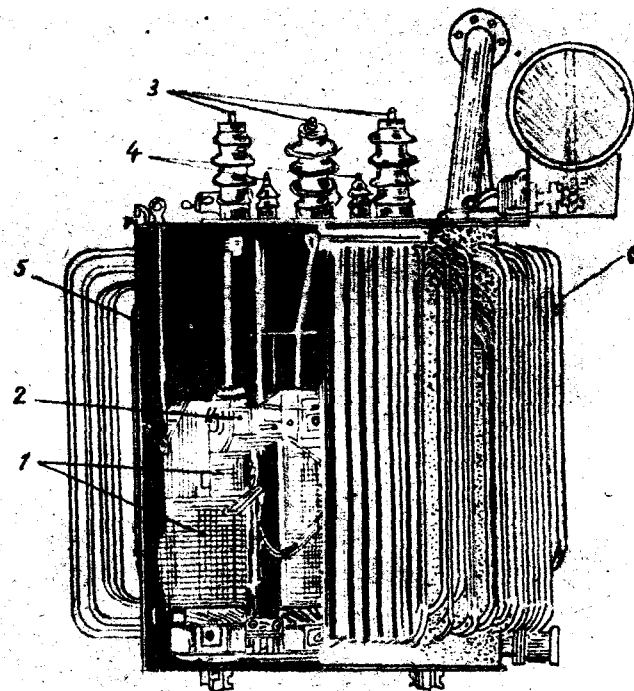


Hình 5-7

Chương 6. MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp là một thiết bị điện từ tĩnh dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều từ điện áp này sang điện áp khác với cùng một tần số.

Máy biến áp được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền tải và phân phối điện năng, trong các lò điện, trong máy hàn, các bộ chỉnh lưu, trong các thiết bị vô tuyến điện, trong kỹ thuật truyền động, điều khiển và tự động hóa.



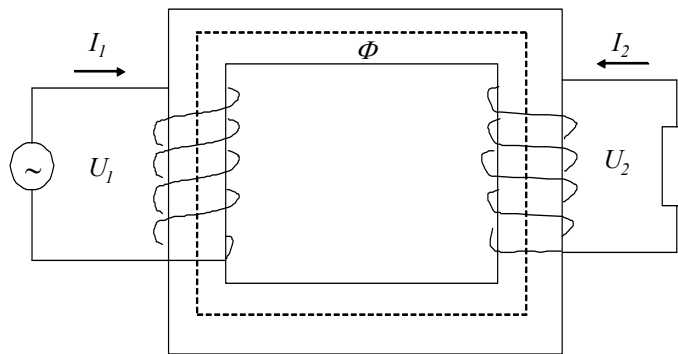
§ 6.1. NGUYÊN LÝ CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP.

6.1.1. Định nghĩa. Máy biến áp (MBA) là một thiết bị điện từ tĩnh dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều từ điện áp này sang điện áp khác với cùng một tần số.

6.1.2. Nguyên lý cấu tạo:

Cấu tạo của MBA gồm 2 bộ phận chính là: lõi sắt từ và các cuộn dây quấn (Hình 6-1).

- Cuộn dây W_1 nối với nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp
- Cuộn dây W_2 nối với tải được gọi là cuộn thứ cấp



Hình 6-1. Nguyên lý cấu tạo máy biến thế

a) Lõi thép :

Lõi thép là phần mạch từ của máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính trong máy, nó được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện. Lõi thép được chia làm hai phần :

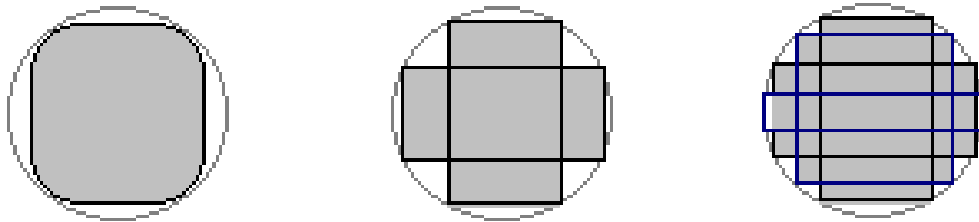
- + Trụ : là nơi để đặt dây quấn.
- + Gông : là phần khép kín mạch từ giữa các trụ.

b) Dây quấn:

Dây quấn máy biến áp thường được chế tạo từ dây đồng hoặc nhôm, có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây có bọc lớp cách điện. Dây quấn được quấn thành nhiều vòng và lồng vào trụ lõi thép. Giữa các vòng dây quấn có cách điện với nhau và cách điện với lõi thép.

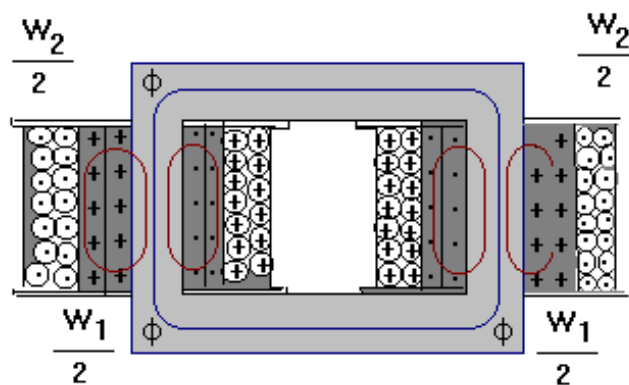
Máy biến áp một pha có hai cuộn dây: một cuộn dây nối với nguồn xoay chiều gọi là cuộn **sơ cấp**, còn cuộn dây nối với tải gọi là cuộn **thứ cấp**.

Lõi thép đóng vai trò mạch từ được ghép bằng các lá thép kỹ thuật dày 0,35 - 0,5mm. Các lá thép được sơn cách điện để chống hiệu ứng Fucô. Lõi thép có tiết diện dạng vuông hoặc chữ thập. Các MBA công suất lớn tiết diện trụ được làm thành nhiều bậc để dạng tiết diện gần tròn (Hình 6-2).



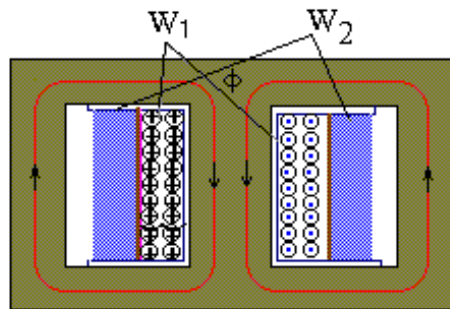
Hình 6-2. Hình dạng tiết diện lõi thép MBA

Theo hình dạng của mạch từ, MBA được chia làm kiểu bọc và kiểu trụ. Trong kiểu trụ, mạch từ không phân nhánh có dạng chữ O. Các cuộn dây của MBA quấn thành hình trụ. Để tạo liên hệ từ tốt và giảm tổn hao từ tản cuộn sơ cấp và thứ cấp được đặt lồng vào nhau, cuộn dây điện áp thấp đặt bên trong và cuộn dây điện áp cao đặt ngoài. Thường mỗi cuộn dây được chia làm hai phần quấn trên hai trụ của mạch từ (hình 6-3), trên mỗi trụ có một phần của cuộn sơ và một phần của cuộn thứ. Hai phần của mỗi cuộn dây được nối với nhau sao cho từ thông do chúng sinh ra cùng chiều.



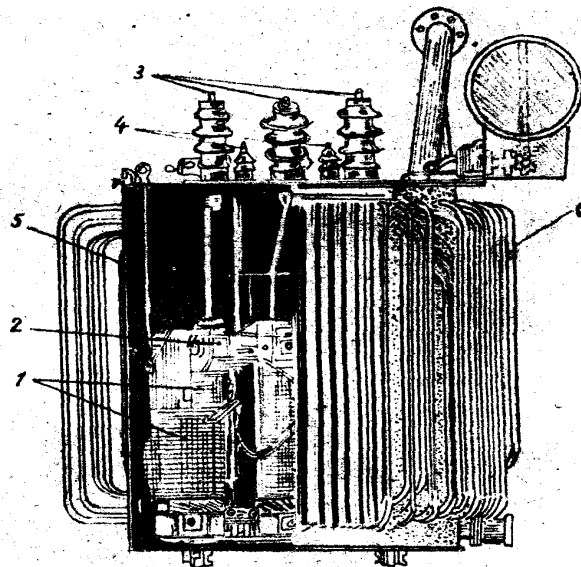
Hình 6-3. Máy biến áp kiểu trụ

Loại MBA kiểu bọc, hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp được cuốn trên cùng một trụ, hai cuộn được cách điện với nhau (Hình 6-4).



Hình 6-4. MBA kiểu bọc

Các MBA công suất lớn thường phải làm mát bằng dầu, toàn bộ lõi thép và các cuộn dây được ngâm trong thùng dầu, các đầu dây được đưa ra ngoài qua sứ xuyên bắt chặt trên nắp thùng (hình 6-5).

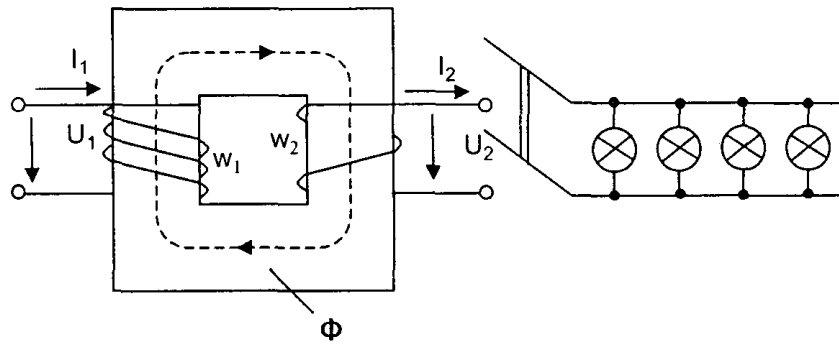


Hình 6-5. Máy biến áp điện lực

- 1- Các cuộn dây, 2- Gông mạch từ
- 3- Đầu sứ cao áp, 4- Đầu sứ hạ áp
- 5- Thùng dầu, 6- Ống dầu đối lưu tỏa nhiệt

§ 6.2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG

Nguyên lý hoạt động của MBA dựa trên định luật cảm ứng điện từ. Giả sử đặt vào 2 đầu cuộn sơ cấp một thế hiệu xoay chiều u_1 , dòng xoay chiều i_1 trên cuộn sơ cấp sẽ tạo ra một từ thông biến thiên Φ . Do mạch từ khép kín nên từ thông này sẽ móc vòng qua các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp (hình 6-6).



Hình 6-6

Theo định luật cảm ứng điện từ trên các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp sẽ phát sinh các suất điện động cảm ứng e_1 và e_2 .

$$\text{Trong cuộn sơ cấp :} \quad e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\text{Trong cuộn thứ cấp :} \quad e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Nếu $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ với $\omega = 2\pi f$ thì ta có:

$$e_1 = -W_1 \frac{d}{dt}(\Phi_m \sin \omega t) = -W_1 \omega \Phi_m \cos \omega t = E_{1m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (6-1)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d}{dt}(\Phi_m \sin \omega t) = -W_2 \omega \Phi_m \cos \omega t = E_{2m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Như vậy, s.đ.đ e_1 và e_2 chậm pha hơn so với từ thông Φ một phần tư chu kỳ là $\pi/2$.

Ta có, trị hiệu dụng của suất điện động trên hai cuộn dây là:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} W_1 \Phi_m = 4,44 f W_1 \Phi_m \quad (6-2)$$

$$E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_m$$

Khi MBA không tải, dòng thứ cấp $I_2 = 0$, dòng không tải sơ cấp rất nhỏ. Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí có thể xem gần đúng sđđ trong cuộn sơ gần bằng hiệu điện thế sơ cấp : $E_1 \approx U_1$ và sđđ trong cuộn thứ bằng điện áp thứ cấp : $E_2 = U_2$.

Lập tỷ số :

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6-3)$$

k – gọi là hệ số biến áp .

Đối với máy tăng áp ta có: $U_1 < U_2$, $W_1 < W_2$, $k < 1$

Đối với máy hạ áp ta có: $U_1 > U_2$, $W_1 > W_2$, $k > 1$.

Nếu bỏ qua tổn hao trong MBA có thể coi gần đúng quan hệ giữa các lượng sơ cấp và thứ cấp như sau:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

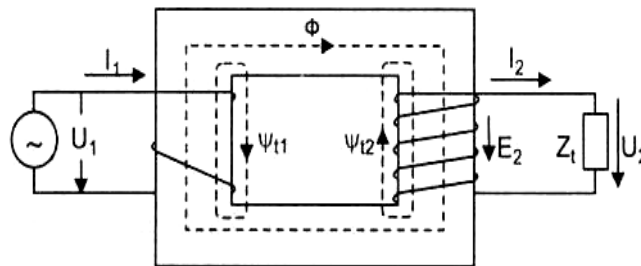
Hoặc:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = k \quad (6-4)$$

§ 6.3. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để biểu diễn các quá trình điện từ xảy ra trong MBA người ta sử dụng các phương trình cân bằng điện từ giữa 2 mạch sơ cấp và thứ cấp.

Xét MBA một pha có 2 cuộn dây quấn như hình 6-7, trong đó mạch sơ cấp nối với nguồn điện áp U_1 . Mạch thứ cấp nối với tải có tổng trở Z_t .



Hình 6-7

Để thiết lập các phương trình, trước hết ta chọn chiều dòng i_1 như hình 6-7. Chiều của từ thông chính Φ phải thuận chiều i_1 theo quy tắc vắn nút chai. Tiếp theo chiều của e_1 và e_2 phải phù hợp với Φ , nghĩa là e_1 và i_1 trùng chiều, còn dòng i_2 ngược với chiều e_2 (theo đúng định luật cảm ứng điện từ). Trong mạch ngoài từ thông chính Φ móc vòng qua cả hai cuộn dây đóng vai trò truyền năng lượng điện từ còn có các từ thông tản. Các từ thông tản chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi cuộn dây quấn và tản ra ngoài không khí. Từ thông tản do dòng sơ cấp i_1 gây ra ký hiệu là Ψ_{t1} , từ thông tản do dòng thứ cấp gây ra ký hiệu là Ψ_{t2} . Giá trị của từ thông tản được đặc trưng bởi điện cảm tản L_1 và L_2 trên các dây quấn sơ cấp và thứ cấp tương ứng:

$$L_1 = \frac{\Psi_{t1}}{i_1}, \quad L_2 = \frac{\Psi_{t2}}{i_2} \quad (6-5)$$

6.3.1. Phương trình cân bằng điện áp sơ cấp.

Trong mạch sơ cấp gồm có các đại lượng: nguồn điện áp u_1 , sức điện động e_1 , điện trở dây quấn sơ cấp R_1 , điện cảm tản L_1 . Sơ đồ mạch tương đương có thể biểu diễn như hình (6-8)

Theo định luật Kirchoff 2 ta có:

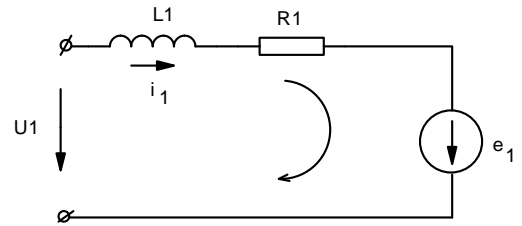
$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = u_1 + e_1$$

hay:
$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1 \tag{6-6}$$

Nếu chuyển sang dạng phức ta có:

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = (R_1 + jX_1) \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \tag{6-7}$$

trong đó $\bar{Z}_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở phức với $X_1 = \omega L_1$ là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp.



Hình 6-8

6.3.2. Phương trình cân bằng điện áp thứ cấp.

Mạch thứ cấp gồm sức điện động e_2 , điện trở dây quấn R_2 , điện cảm tản thứ cấp L_2 , điện áp đưa ra tải u_2 , tổng trở tải Z_t . Sơ đồ mạch tương đương như hình 6-9.

Theo định luật Kirchoff 2 ta có:

$$R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + u_2 = - e_2$$

hay:
$$u_2 = - e_2 - R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} \tag{6-8}$$

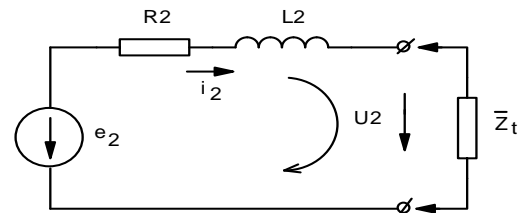
Khi chuyển sang dạng phức ta có:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= -\dot{E}_2 - R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 \\ &= -\dot{E}_2 - (R_2 + jX_2) \dot{I}_2 \\ &= -\dot{E}_2 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \end{aligned} \tag{6-9}$$

trong đó: $\bar{Z}_2 = R_2 + jX_2$ là tổng trở phức với $X_2 = \omega L_2$ là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp.

Điện áp thứ cấp U_2 chính là điện áp đặt lên tải:

$$\dot{U}_2 = \bar{Z}_t \dot{I}_2 \tag{6-10}$$



Hình 6-9

6.3.3. Phương trình cân bằng sức từ động.

Trong phương trình cân bằng điện sơ cấp (6-7): $\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$ điện áp rơi $\bar{Z}_1 \dot{I}_1$ thường rất nhỏ, nên gần đúng có thể coi $\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1$, hay $U_1 \approx E_1$.

Do điện áp lưới đặt vào MBA là U_1 không đổi nên giá trị E_1 sẽ không đổi và do đó từ thông Φ_m sẽ cũng không đổi.

Ở chế độ không tải ($I_2 = 0$) từ thông chính do sức từ động của dây quấn sơ cấp $W_1 i_0$ sinh ra, còn khi có tải ($I_2 \neq 0$) từ thông chính do sức từ động của cả 2 cuộn dây quấn sơ cấp và thứ cấp sinh ra. Sức từ động khi có tải là: $i_1 W_1 - i_2 W_2$. (dấu - trước i_2 do chiều i_2 không phù hợp với chiều từ thông Φ theo quy tắc vắn nút chai).

Vì giá trị Φ_m không đổi, nên sức từ động khi không tải bằng sức từ động lúc có tải. Phương trình cân bằng sức từ động tức thời có dạng:

$$i_0 W_1 = i_1 W_1 - i_2 W_2$$

Chia hai vế cho W_1 ta có:

$$i_0 = i_1 - i_2 \frac{W_2}{W_1} = i_1 - \frac{i_2}{\frac{W_1}{W_2}} = i_1 - \frac{i_2}{k} = i_1 - i_2'$$

$$\text{hay} \quad i_1 = i_0 + i_2' \quad (6-11)$$

trong đó: $k = W_1/W_2$ là hệ số biến áp,

$i_2' = i_2/k$ gọi là dòng thứ cấp đã quy đổi về phía sơ cấp.

Khi viết dưới dạng phức, phương trình (6-11) sẽ có dạng:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (6-12)$$

Hệ các phương trình (6-6, 6-8, 6-11) hoặc (6-7, 6-9, 6-12) được gọi là mô hình toán học của MBA.

§ 6.4. SƠ ĐỒ THAY THẾ CỦA MÁY BIẾN ÁP

6.4.1. Quy đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.

Để tiện lợi khi nghiên cứu các quá trình điện từ trong MBA, các đại lượng thứ cấp thường được quy đổi về sơ cấp. Phép quy đổi phải thỏa mãn điều kiện bảo toàn năng lượng. Khi quy đổi người ta giả thiết số vòng W_2 của cuộn thứ bằng số vòng W_1 của cuộn sơ. Trong trường hợp này, s.d.đ, dòng điện và tổng trở cuộn thứ đều thay đổi, nhưng công suất, góc pha trong MBA vẫn giữ nguyên trị số cũ. Các đại lượng quy đổi được ký hiệu bằng chữ cái có dấu phẩy, ví dụ $\dot{E}_2'; \dot{I}_2'; R_2'; X_2'; \bar{Z}_2' \dots$

Để có \dot{E}_2' ta phải nhân E_2 với tỷ số biến áp $k=W_1/W_2$:

$$\dot{E}_2' = \frac{W_1}{W_2} \cdot \dot{E}_2 = k \cdot \dot{E}_2 = \dot{E}_1 \quad (6-13)$$

Muốn có dòng thứ cấp quy đổi \dot{I}_2' , ta phải xuất phát từ điều kiện bảo toàn công suất biểu kiến trên cuộn thứ cấp: $\dot{E}_2' \dot{I}_2' = \dot{E}_2 \dot{I}_2$, tức là:

$$\dot{I}_2' = \frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_2'} \cdot \dot{I}_2 = \frac{1}{k} \cdot \dot{I}_2 \quad (6-14)$$

Tương tự, từ điều kiện tổn hao công suất không đổi ta rút ra:

$$R_2' = k^2 R_2; X_2' = k^2 X_2; \bar{Z}_2' = k^2 \bar{Z}_2 \quad (6-15)$$

$$R_t' = k^2 R_t; X_t' = k^2 X_t; \bar{Z}_t' = k^2 \bar{Z}_t \quad (6-16)$$

6.4.2. Thiết lập sơ đồ thay thế MBA.

Từ mô hình toán học của MBA:

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (6-17)$$

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (6-18)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (6-19)$$

Ta sẽ xây dựng được mô hình mạch trên cơ sở 3 phương trình trên, mô hình phản ánh đầy đủ các quá trình năng lượng xảy ra trong MBA và được gọi là mô hình thay thế của MBA.

Trước hết ta hãy quy đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp. Nhân hai vế phương trình (6-18) với k ta có:

$$k \cdot \dot{U}_2 = -k \cdot \dot{E}_2 - k \cdot \bar{Z}_2 \dot{I}_2 = -k \cdot \dot{E}_2 - k^2 \bar{Z}_2 \frac{\dot{I}_2}{k}$$

tức là:
$$\dot{U}_2' = -\dot{E}_2' - \bar{Z}_2' \dot{I}_2'$$

hay:
$$\dot{U}_2' = -\dot{E}_1 - \bar{Z}_2' \dot{I}_2' \quad (6-20,a)$$

Mặt khác theo (6-10) ta có:

$$\dot{U}_2 = \bar{Z}_t \dot{I}_2 \Rightarrow k \dot{U}_2 = k \bar{Z}_t \dot{I}_2 = k^2 \bar{Z}_t \frac{\dot{I}_2}{k} = \bar{Z}_t' \dot{I}_2'$$

Hay:
$$\dot{U}_2' = \bar{Z}_t' \dot{I}_2' \quad (6-20,b)$$

Phương trình (6-20) gọi là phương trình cân bằng điện áp thứ cấp đã quy đổi về sơ cấp.

Hệ phương trình mô hình toán học của MBA sau quy đổi sẽ là:

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (6-21)$$

$$\dot{U}_2' = -\dot{E}_1 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2' = \bar{Z}_t' \cdot \dot{I}_2' \quad (6-22)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (6-23)$$

Trong phương trình (6-21) ta có, vế phải phương trình gồm $\bar{Z}_1 \dot{I}_1$ là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn \bar{Z}_1 , còn \dot{E}_1 là do từ thông chính gây ra, mà từ thông chính do dòng không tải I_0 tạo ra. Do đó có thể xem (\dot{E}_1) như một điện áp rơi trên một tổng trở từ hóa \bar{Z}_{th} nào đó do dòng điện không tải \dot{I}_0 gây ra. Tức là:

$$(-\dot{E}_1) = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 = \bar{Z}_{th}\dot{I}_0 \quad (6-24)$$

trong đó: $\bar{Z}_{th} = R_{th} + jX_{th}$ là tổng trở từ hóa đặc trưng cho mạch từ,

R_{th} – là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt từ,

X_{th} – là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính Φ .

Thay (6-24) vào các phương trình MBA ta được:

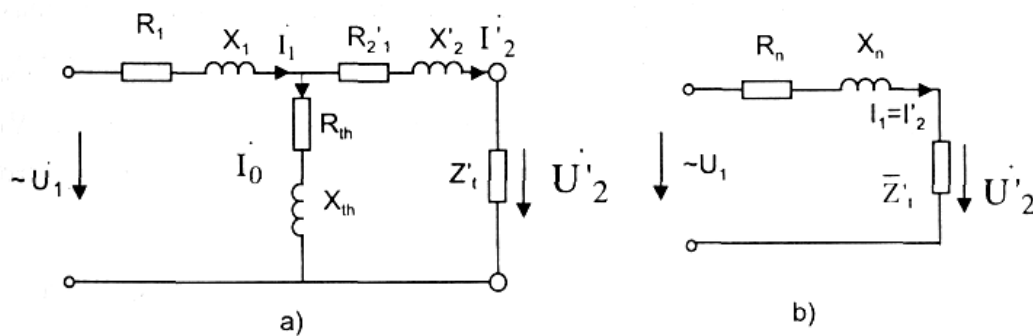
$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_{th} \dot{I}_0 \quad (6-25)$$

$$\dot{U}_2' = \bar{Z}_{th} \dot{I}_0 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2' = \bar{Z}_t' \dot{I}_2' \quad (6-26)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (6-27)$$

Hệ 3 phương trình trên chính là các phương trình của định luật Kircchoff 2 và 1 viết cho sơ đồ mạch điện tương đương trên hình 6-10, a. Trong đó nhánh có \bar{Z}_{th} được gọi là nhánh từ hóa.

Thông thường tổng trở của nhánh từ hóa rất lớn, nên dòng I_0 nhỏ, do đó sơ đồ tương đương thay thế đơn giản có thể bỏ qua nhánh từ hóa như hình 6-10, b, trong đó $R_n = R_1 + R_2'$; $X_n = X_1 + X_2'$ là điện trở và điện kháng ngắn mạch của MBA.



Hình 6-10

§ 6.5. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

6.5.1. Phương trình và sơ đồ thay thế MBA không tải.

Chế độ không tải của MBA là chế độ hở mạch thứ cấp ($I_2=0$), còn cuộn sơ cấp nối vào nguồn xoay chiều u_1 .

Phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_0 - \dot{E}_1 = \dot{I}_0 (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th}) = \dot{I}_0 \bar{Z}_0 \quad (6-28)$$

trong đó: $\bar{Z}_0 = (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th})$ là tổng trở MBA không tải.

Sơ đồ thay thế MBA không tải vẽ trên hình 6-11

6.5.2. Các đặc điểm của MBA không tải.

a) Dòng không tải.

Từ phương trình (6-28) ta có dòng không tải I_0 :

$$I_0 = \frac{U_1}{Z_0} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_{th})^2 + (X_1 + X_{th})^2}}$$

Tổng trở Z_0 thường rất lớn, nên dòng không tải I_0 chỉ nhỏ bằng 2% - 10% dòng điện định mức.

b) Công suất không tải.

Ở chế độ không tải, công suất đưa ra phía thứ cấp bằng không, nhưng MBA vẫn tiêu thụ một công suất P_0 . Công suất này bao gồm tổn hao nhiệt jun-lenx trên điện trở dây quấn sơ cấp ΔP_{R1} và công suất tổn hao sắt từ ΔP_{st} trên lõi sắt. Vì dòng không tải nhỏ nên tổn hao nhiệt jun-lenx không đáng kể, và có xem gần đúng:

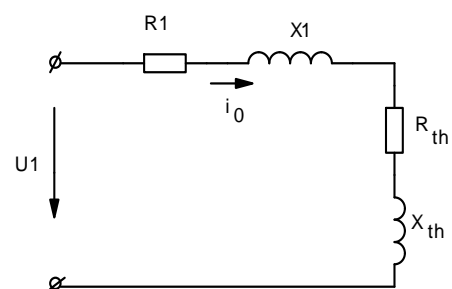
$$P_0 \approx \Delta P_{st} \quad (6-29)$$

c) Hệ số công suất không tải.

Ở chế độ không tải công suất phản kháng Q_0 rất lớn so với công suất tác dụng P_0 , do đó hệ số công suất lúc này rất thấp:

$$\cos \varphi = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = 0,1 \div 0,3 \quad (6-30)$$

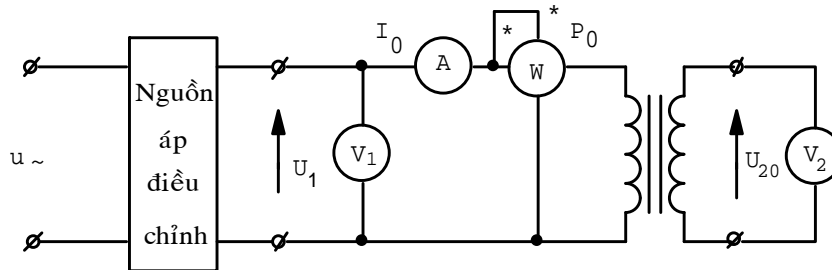
Từ đó ta thấy rằng, khi sử dụng không nên để MBA ở chế độ không tải hoặc non tải.



Hình 6-11

6.5.3. Thí nghiệm không tải MBA .

Thí nghiệm không tải nhằm xác định các tham số của MBA như hệ số biến áp k , tổn hao sắt từ và các thông số của máy ở chế độ không tải. Sơ đồ thí nghiệm như trên hình 6-12.



Hình 6-12

Đặt điện áp định mức vào cuộn sơ cấp, thứ cấp hở mạch, các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau:

- Oát kế chỉ công suất không tải $P_0 \approx \Delta P_{st}$.
- Ampe kế chỉ dòng không tải I_0 .
- Các vôn kế chỉ giá trị U_1, U_{20} .

Từ đó ta tính được:

a) Hệ số biến áp k

$$k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

b) Dòng điện không tải

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100 \% = 3 \% \div 10 \%$$

c) Điện trở không tải

$$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$R_0 = R_1 + R_{th}$$

Vì $R_{th} \ll R_1$ nên có thể lấy gần đúng:

$$R_{th} \approx R_0$$

d) Tổng trở không tải.

$$Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0}$$

Cũng như trên tổng trở không tải lấy gần đúng là:

$$Z_{th} \approx Z_0$$

e) Điện kháng không tải.

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

Điện kháng từ hóa lấy gần đúng là:

$$X_{th} \approx X_0$$

f) Hệ số công suất không tải.

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1dm} \cdot I_0} = 0,1 \div 0,3$$

§ 6.6. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ ngắn mạch của MBA là chế độ mà cuộn thứ cấp bị nối tắt, trong khi cuộn sơ cấp vẫn nối với nguồn cung cấp. Trong quá trình vận hành, do nhiều nguyên nhân có thể xảy ra sự cố ngắn mạch của MBA như 2 đầu dây cuộn thứ cấp có thể bị chập, rơi xuống đất hoặc bị nối tắt bằng một dây dẫn có tổng trở thấp.

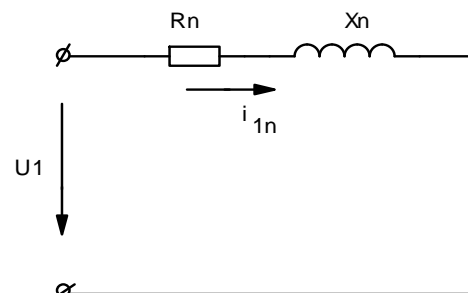
6.6.1. Phương trình và sơ đồ thay thế của MBA ngắn mạch.

Sơ đồ thay thế của MBA ngắn mạch vẽ trên hình 6-13. Do tổng trở Z_2' rất nhỏ so với nhánh từ hóa Z_{th} nên một cách gần đúng có thể bỏ qua nhánh từ hóa. Dòng điện sơ cấp lúc này là dòng điện ngắn mạch I_{1n} .

Phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n(\bar{Z}_1 + \bar{Z}'_2) = \dot{I}_n \bar{Z}_n \quad (6-31)$$

trong đó:



Hình 6-13

$$\bar{Z}_n = \bar{Z}_1 + \bar{Z}'_2 = (R_1 + R'_2) + j(X_1 + X'_2) = R_n + jX_n = Z_n e^{j\varphi_n}$$

$R_n = R_1 + R'_2$ là điện trở ngắn mạch của MBA

$X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch của MBA

$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$ là tổng trở ngắn mạch của MBA

\bar{Z}_n là tổng trở phức ngắn mạch của MBA

6.6.2. Các đặc điểm của chế độ ngắn mạch.

a) Dòng điện ngắn mạch.

Từ (6-31) ta có dòng ngắn mạch là: $I_n = \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_n} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}'_2}$, hay về giá trị ta có:

$$I_n = \frac{U_{1dm}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} = \frac{U_{1dm}}{Z_n} \quad (6-32)$$

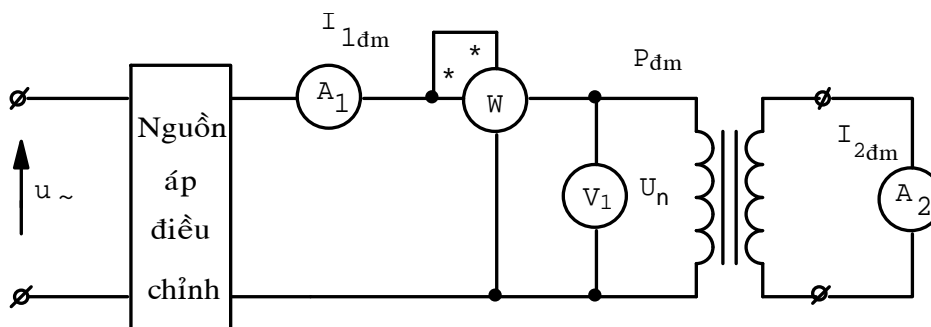
Vì tổng trở ngắn mạch Z_n rất nhỏ nên dòng điện ngắn mạch I_n thường lớn gấp 10÷25 lần dòng điện định mức, gây nguy hiểm cho MBA đang vận hành và các phụ tải.

b) Điện áp ngắn mạch. Khi ngắn mạch điện áp thứ cấp $U_2 = 0$, do đó điện áp ngắn mạch U_n chính là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn thứ cấp. Vì dòng ngắn mạch rất lớn nên dễ dẫn đến cháy nổ cuộn dây quấn thứ cấp của MBA.

Để tránh nguy hiểm cho MBA phải có biện pháp bảo vệ bằng các thiết bị tự động ngắt mạch ở cả 2 phía của MBA khi xảy ra sự cố ngắn mạch.

6.6.3. Thí nghiệm ngắn mạch MBA.

Để xác định các thông số ngắn mạch và tổn hao trên các điện trở dây quấn của MBA người ta thực hiện các thí nghiệm ngắn mạch MBA theo sơ đồ thực nghiệm sau đây (hình 6-14).



Hình 6-14

Dây quấn thứ cấp được nối tắt qua ampe kế A_2 . Dây quấn sơ cấp được nối với một bộ nguồn có thể điều chỉnh mức điện áp sao cho dòng ngắn mạch nằm trong giới hạn định mức. Giá trị điện áp cho phép đặt vào cuộn sơ cấp gọi là điện áp ngắn mạch U_n được xác định vào khoảng 3÷5% điện áp định mức U_{1dm} .

$$U_n(\%) = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% = (3 \div 10)\% \quad (6-33)$$

Vì điện áp ngắn mạch nhỏ nên từ thông Φ nhỏ, do đó tổn hao sắt từ không đáng kể. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch P_n chính là công suất tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Từ đó ta tính được các thông số trong sơ đồ thay thế:

a) Tổng trở ngắn mạch Z_n .

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}} \quad (6-34)$$

b) Điện trở ngắn mạch.

$$R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2} \quad (6-35)$$

c) Điện kháng ngắn mạch

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \quad (6-36)$$

Để tính các thông số dây quấn của MBA ta có thể sử dụng các công thức gần đúng sau đây:

$$R_1 \approx R_2' \approx \frac{R_n}{2} \quad (6-37)$$

$$X_1 \approx X_2' \approx \frac{X_n}{2} \quad (6-38)$$

Từ đó, khi biết hệ số biến áp k ta tính được các thông số của MBA chưa quy đổi.

$$R_2 \approx \frac{R_2'}{k^2}; \text{ và } X_2 \approx \frac{X_2'}{k^2}; \quad (6-39)$$

a) Điện áp ngắn mạch U_n .

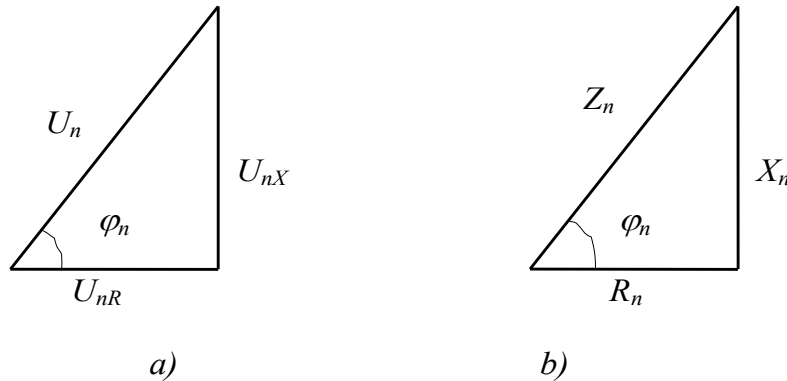
Điện áp ngắn mạch U_n có thể chia làm 2 thành phần: thành phần trên điện trở tác dụng R_n gọi là điện áp tác dụng ngắn mạch U_{nR} và thành phần trên điện kháng ngắn mạch X_n gọi là điện áp ngắn mạch phản kháng U_{nX} . Mối liên hệ giữa các thành phần tác dụng và phản kháng được biểu diễn trên các tam giác điện áp ngắn mạch và tam giác tổng trở ngắn mạch (hình 6-15).

– Điện áp ngắn mạch tác dụng.

$$U_{nR}(\%) = \frac{R_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = U_n \% \cos \varphi_n \quad (6-40)$$

– Điện áp ngắn mạch phản kháng

$$U_{nX}(\%) = \frac{X_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = U_n \% \sin \varphi_n \quad (6-41)$$



Hình 6-15

f) Hệ số công suất ngắn mạch.

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_n I_n} = \frac{P_n}{U_n I_{1dm}} \quad (6-42)$$

Các công thức trên cho phép ta tính được các giá trị R_n , X_n , Z_n theo trị số của $U_n\%$, $U_{nR}\%$, $U_{nX}\%$ thường được ghi trong lý lịch máy.

Ví dụ: Cho MBA một pha 2 dây quấn có các tham số $S_{dm}=6637$ kVA; $U_1/U_2=35/10$ kV; $P_n = 53500$ W; $U_n\% = 8\%$. Hãy xác định

a) Z_n ; R_n ; X_n ; U_n

b) R_1 ; X_1 ; R_2 ; X_2 nếu coi $R_1 = R_2'$; $X_1 = X_2'$.

Bài giải.

a) Áp dụng công thức:

$$U_n(\%) = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% \quad \text{ta có:}$$

$$U_n = \frac{U_n\% \cdot U_{1dm}}{100} = \frac{8,35 \cdot 10^3}{100} = 2800 \text{ V}$$

$$\text{Tổng trở ngắn mạch: } Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}}$$

$$\text{Ta biết: } S_{dm} = U_{1dm} I_{1dm} \Rightarrow I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} = \frac{6637 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 189,6 \text{ A}$$

$$\text{Từ đó: } Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}} = \frac{2800}{189,6} = 14,77 \Omega$$

$$\text{Suy ra: } R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2} = \frac{53500}{189,6^2} = 1,45 \Omega$$

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{14,77^2 - 1,45^2} = 14,7 \Omega$$

b) Ta có: $R_n = R_1 + R_2'$. Theo giả thiết $R_1 = R_2'$ nên

$$R_1 = R_2' = \frac{R_n}{2} = \frac{1,45}{2} = 0,725 \Omega$$

$$\text{Tương tự: } X_1 = X_2' = \frac{X_n}{2} = \frac{14,7}{2} = 7,35 \Omega$$

Để tính R_2, X_2 ta biết rằng hệ số biến áp là: $k = U_1/U_2 = 35/10 = 3,5$

Từ đó:

$$R_2 = \frac{R_2'}{k^2} = \frac{0,725}{3,5^2} = 0,06 \Omega$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{k^2} = \frac{7,35}{3,5^2} = 0,6 \Omega$$

§ 6.7. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ hoạt động của MBA khi cuộn sơ cấp nối với lưới điện xoay chiều, cuộn thứ cấp nối với phụ tải. Chế độ mang tải được đánh giá bằng hệ số tải k_t

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{1dm}} \quad (6-43)$$

$k_t = 1$: tải định mức

$k_t < 1$: chế độ non tải

$k_t > 1$: chế độ quá tải.

Ta sẽ nghiên cứu các đặc tính của MBA khi mang tải.

6.7.1. Biến thiên điện áp thứ cấp theo tải, đường đặc tính ngoài.

a) Biến thiên điện áp thứ cấp theo tải.

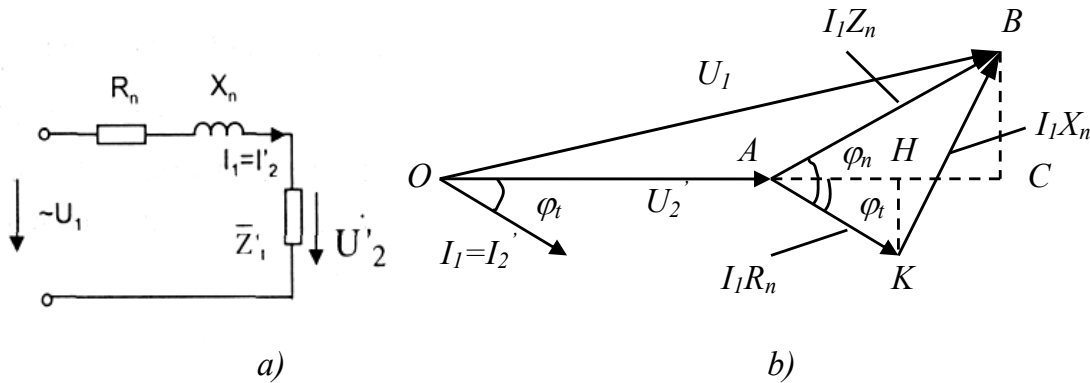
Trong chế độ mang tải của MBA, cuộn sơ cấp đặt vào điện áp định mức U_{1dm} . Nếu tải thay đổi, điện áp thứ cấp U_2 sẽ thay đổi. Sự biến thiên điện áp thứ cấp theo phụ tải được xác định theo phần trăm:

$$\Delta U_{2\%} = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} 100\% \quad (6-44)$$

khi nhân tử và mẫu số với hệ số biến áp $k = W_1/W_2$ ta có:

$$\Delta U_{2\%} = \frac{kU_{2dm} - kU_2}{kU_{2dm}} 100\% = \frac{U_{1dm} - U_2'}{U_{1dm}} 100\% \quad (6-45)$$

Ta có thể xác định ΔU_2 dựa vào mạch điện thay thế đơn giản như trên hình 6-16, a. Từ sơ đồ thay thế ta vẽ được đồ thị véc tơ của MBA như trên hình 6-16, b.



Hình 6-16

Từ đồ thị véc tơ chiếu U_1 lên phương U_2' , do góc lệch giữa U_1 và U_2' nhỏ nên có thể coi gần đúng:

$$U_{1dm} = OB \approx OC$$

$$U_{1dm} - U_2' \approx AC = AH + HC$$

$$AH = AK \cos \varphi_t = I_1 R_n \cos \varphi_t$$

$$HC = KB \sin \varphi_t = I_1 X_n \sin \varphi_t$$

$$\Delta U_{2\%} = \frac{U_{1dm} - U_2'}{U_{1dm}} 100\% = \frac{I_1 R_n \cos \varphi_t + I_1 X_n \sin \varphi_t}{U_{1dm}} 100\%$$

Nhân vế phải của biểu thức với I_{1dm} / I_{1dm} và biến đổi ta được:

$$\Delta U_{2\%} = \frac{I_1}{I_{1dm}} \left(\frac{I_{1dm} R_n \cos \varphi_t}{U_{1dm}} + \frac{I_{1dm} X_n \sin \varphi_t}{U_{1dm}} \right) 100\%$$

Áp dụng (6-40), (6-41) và (6-43) ta có:

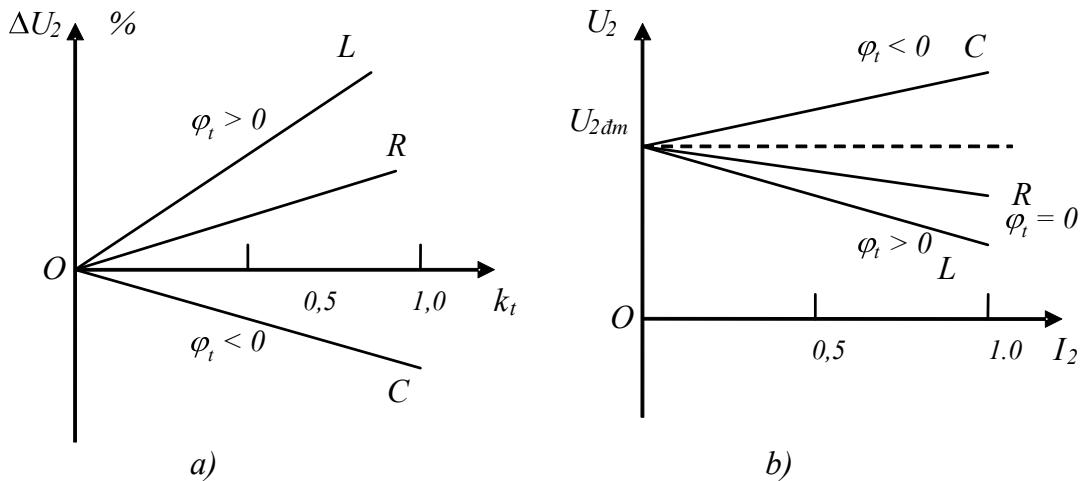
$$\frac{I_{1dm} R_n}{U_{1dm}} \cos \varphi_t 100\% = U_{nR}(\%) \cos \varphi_t$$

$$\frac{I_{1dm} X_n}{U_{1dm}} \sin \varphi_t 100\% = U_{nX}(\%) \sin \varphi_t$$

$$\frac{I_1}{I_{1dm}} = k_t$$

Từ đó: $\Delta U_{2\%} = k_t (U_{nR\%} \cos \varphi_t + U_{nX\%} \sin \varphi_t)$ (6-46)

Đồ thị phụ biểu diễn sự biến thiên của $\Delta U_{2\%}$ tỉ lệ bậc nhất với k_t và phụ thuộc vào tính chất của các loại tải khi $\cos \varphi_t = const$, chỉ ra trên hình 6-17, a.



a) b)
 Hình 6-17. a) Biến thiên điện áp thứ cấp theo tải
 b) Đường đặc tính ngoài của MBA

b) Đường đặc tính ngoài của MBA.

Đường đặc tính ngoài của MBA biểu diễn mối quan hệ $U_2 = f(I_2)$ khi $U_1 = U_{1dm}$ và $\cos \varphi_1 = const$.

Theo (6-44) ta có: $\Delta U_{2\%} = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} 100\%$

Suy ra: $U_2 = U_{2dm} (1 - \frac{\Delta U_{2\%}}{100})$ (6-47,a)

Kết hợp (6-43) và (6-46) ta được:

$$U_2 = U_{2dm} \left[1 - \frac{I_2}{100 I_{2dm}} (U_{nR\%} \cos \varphi_t + U_{nX\%} \sin \varphi_t) \right] \quad (6-47,b)$$

Từ phương trình (6-47,b) ta có:

Khi $I_2 = 0, U_2 = U_{2dm}$.

Khi $I_2 > 0, U_2$ tăng hoặc giảm phụ thuộc vào tính chất của phụ tải. Ta xét các trường hợp sau đây:

- Khi tải cảm kháng, $\varphi_t > 0, \cos \varphi_t < 0, \sin \varphi_t > 0$, khi I_2 tăng, U_2 giảm.
- Khi tải dung kháng, $\varphi_t < 0, \cos \varphi_t > 0, \sin \varphi_t < 0$, bình thường giá trị

$U_{nX\%} > U_{nR\%}$, biểu thức trong ngoặc của (6-47,b) âm, do đó khi I_2 tăng, U_2 sẽ tăng.

- Khi tải thuần trở $\varphi_t = 0$, $\cos\varphi_t = 1$, $\sin\varphi_t = 0$, khi I_2 tăng, U_2 giảm

Đồ thị biểu diễn đặc tính ngoài của MBA chỉ ra trên hình (6-17,b).

Trong thực tế tải thường có tính cảm kháng ($\varphi_t > 0$). Do đó khi dòng tải I_2 tăng, U_2 giảm. Điều đó giải thích hiện tượng sụt áp ở lưới điện thường xảy ra vào các giờ cao điểm.

Để có thể điều chỉnh giá trị của điện áp U_2 trên tải theo yêu cầu người ta thay đổi số vòng dây của MBA trong khoảng $\pm 5\%$ (thường thay đổi số vòng cuộn cao áp vì ở dây dòng nhỏ dễ thực hiện).

6.7.2. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp.

Khi MBA làm việc có các tổn hao sau:

1. *Tổn hao điện* ΔP_d . Đây là tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp ΔP_{d1} và thứ cấp ΔP_{d2} . Giá trị tổn hao điện phụ thuộc vào dòng tải. Từ sơ đồ thay thế MBA trên hình 6-18, a ta có:

$$\begin{aligned} \Delta P_d &= \Delta P_{d1} + \Delta P_{d2} = I_1^2 R_1 + I_2'^2 R_2' = I_1^2 R_1 + I_1'^2 R_2' \\ &= I_1^2 (R_1 + R_2') = I_1^2 R_n = k_t^2 I_{1dm}^2 R_n \end{aligned} \quad (6-48)$$

$$\Delta P_d = k_t^2 P_n \quad (6-49)$$

Trong đó: $R_n = R_1 + R_2'$ là điện trở ngắn mạch của MBA

$k_t = I_1 / I_{1dm}$ là hệ số tải.

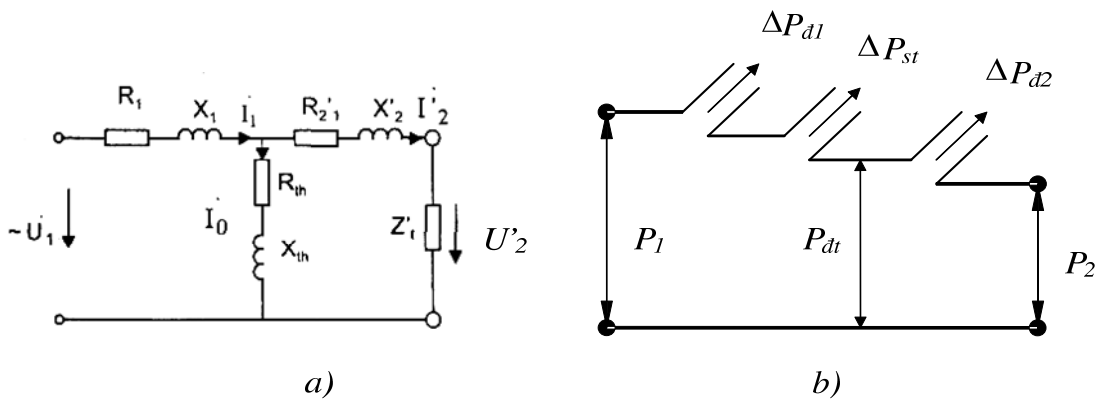
P_n = công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch.

2. *Tổn hao từ* ΔP_{st} .

Đây là tổn hao trong lõi thép do dòng điện xoáy và từ trễ sinh ra. Tổn hao sắt từ không phụ thuộc vào tải mà chỉ phụ thuộc vào từ thông chính, được xác định bằng công suất đo được trong thí nghiệm không tải:

$$\Delta P_{st} = P_0 \quad (6-50)$$

Xét về quá trình truyền năng lượng trong MBA ta có giản đồ năng lượng như hình 6-18, b.



Hình 6-18

3. Hiệu suất của MBA:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d} = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_t}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} \quad (6-51)$$

trong đó: $P_2 = S_2 \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t$ là công suất tác dụng ở lối ra,

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{S_2}{S_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{1dm}} \text{ là hệ số tải.}$$

Ta thấy khi phụ tải MBA tăng, tổn thất điện ΔP_d trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp của MBA tăng, nhưng tổn hao từ không thay đổi, do đó hiệu suất tăng lên.

Khi $\cos \varphi_t = const$ hiệu suất cực đại khi đạo hàm $\frac{d\eta}{dk_t} = 0$.

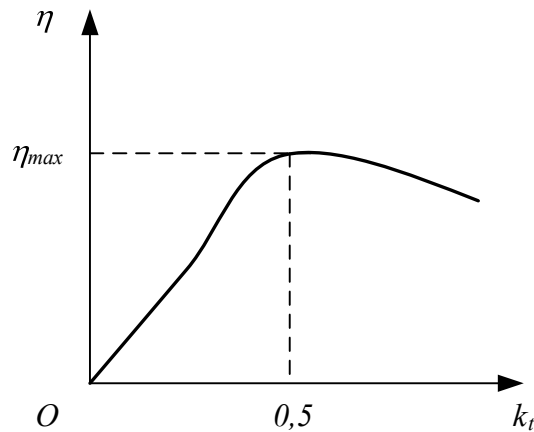
Ta có:
$$\frac{\partial \eta}{\partial k_t} = \frac{S_{dm} \cos \varphi_t (P_0 - k_t^2 P_n)}{(k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n)^2} = 0$$

$$P_0 - k_t^2 P_n = 0$$

Suy ra:
$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$$

Thông thường các MBA công suất lớn và công suất trung bình, tỷ số $P_0/P_n = 0,25 \div 0,5$, nên hiệu suất của MBA sẽ cực đại khi làm việc với hệ số tải $k_t = 0,5 \div 0,75$. Do đó các MBA sẽ làm việc tốt nhất khi nó mang tải bằng 50÷75% phụ tải định mức.

Đường đặc tính $\eta = f(k_t)$ ứng với $\cos \varphi = const$ vẽ trên hình 6-19.



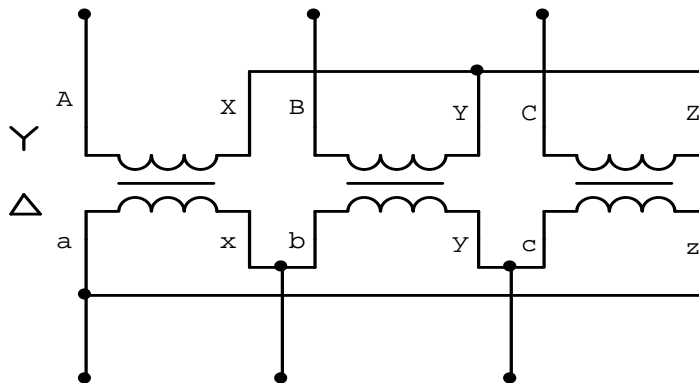
Hình 6-19

§ 6.8. MÁY BIẾN ÁP BA PHA.

6.8.1. Cấu tạo của MBA 3 pha.

Để biến đổi điện áp trong hệ thống mạch điện 3 pha, có thể sử dụng các MBA một pha. Hình 6-20 nêu lên sơ đồ nối dây 3 MBA một pha dùng trong mạng điện 3 pha.

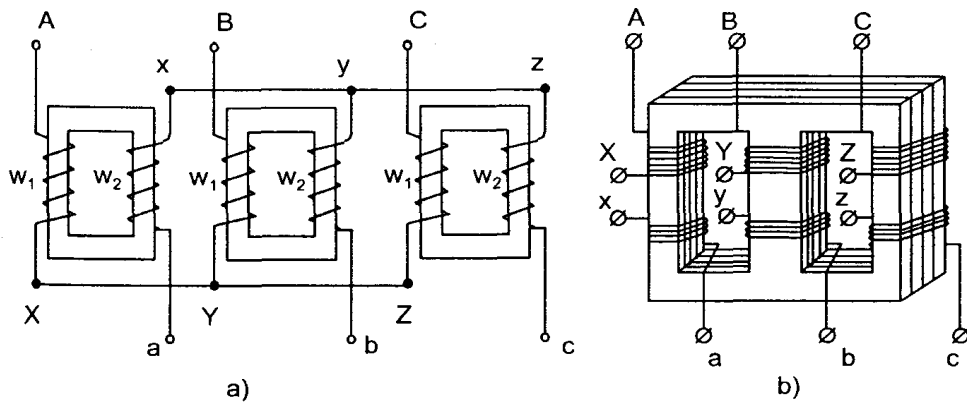
Khi sử dụng MBA 1 pha, hệ thống 3 MBA có mạch từ độc lập với nhau, các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của 3 MBA được đấu ghép với nhau theo những quy tắc xác định để tạo ra hiệu ứng mạch 3 pha.



Hình 6-20. Nối 3 MBA 1 pha thành MBA 3 pha

Đối với MBA 3 pha được chế tạo có mạch từ chung (hình 6-20, b). Mạch từ được cấu tạo từ 3 trụ từ trên đó quấn các cuộn dây pha. Dây quấn sơ cấp được ký hiệu bằng các chữ cái in hoa: AX, BY, CZ. Dây quấn thứ cấp được ký hiệu bằng các chữ cái thường: ax, by, cz.

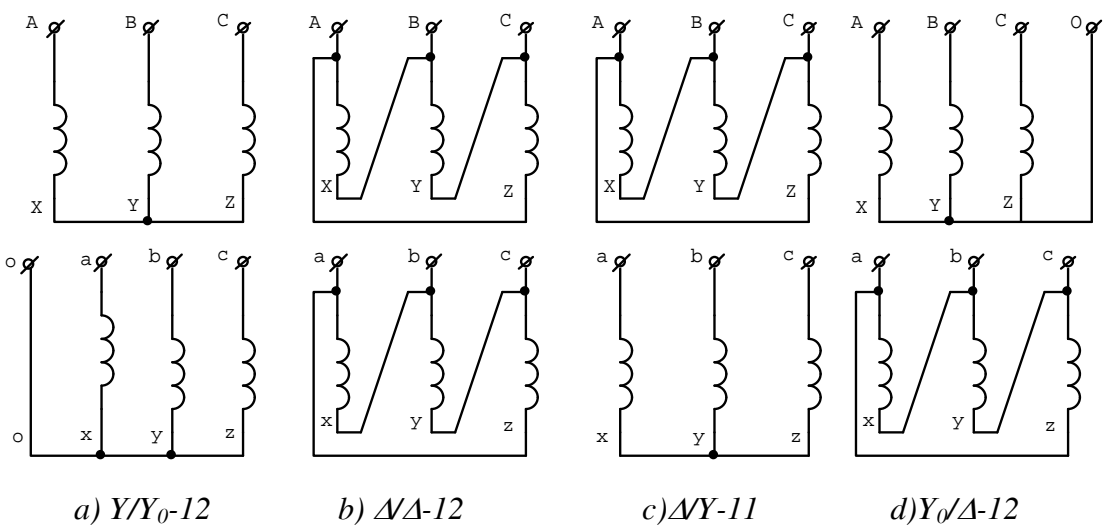
<i>Dây quấn</i>	<i>Pha</i>	<i>Ký hiệu đầu cuộn dây</i>	<i>Ký hiệu cuối cuộn dây</i>
SƠ CẤP	A	A	X
	B	B	Y
	C	C	Z
THỨ CẤP	a	a	x
	b	b	y
	c	c	z



Hình 6-21. Cấu tạo MBA 3 pha

6.8.2. Các kiểu đấu dây của MBA 3 pha.

Các cuộn dây quấn sơ cấp và thứ cấp của MBA có thể đấu hình sao (Y) hoặc tam giác (Δ) (hình 6-22)



Hình 6-22

Trên hình (6-22) ta có các kiểu đấu dây sau đây:

- a) Sơ cấp đấu sao, thứ cấp đấu sao có điểm trung tính: ký hiệu Y/Y₀
 b) Sơ cấp đấu tam giác, thứ cấp đấu tam giác: ký hiệu Δ/Δ
 c) Sơ cấp đấu tam giác, thứ cấp đấu hình sao: ký hiệu Δ/Y
 d) Sơ cấp đấu sao có trung tính, thứ cấp đấu tam giác: ký hiệu Y₀/Δ

Tùy thuộc vào cách đấu dây mà hệ số biến đổi điện áp của các sơ đồ sẽ khác nhau. Gọi W₁, W₂ tương ứng là số vòng 1 pha sơ cấp và thứ cấp ta sẽ có:

+ Hệ số biến áp pha, ký hiệu là k_p:

$$k_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6-52)$$

+ Hệ số biến áp dây, ký hiệu k_d:

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} \quad (6-53)$$

Giá trị của k_d không những chỉ phụ thuộc vào tỷ số vòng dây mà còn phụ thuộc vào cách nối hình sao hay tam giác.

Ví dụ: a) Trên sơ đồ (6-22, a) nối Y/Y ta có:

$$k_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} = k_p$$

b) Trên sơ đồ (6-22, b) nối Δ/Δ ta có:

$$k_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} = k_p$$

c) Trên sơ đồ (6-22, c) nối Δ/Y ta có:

$$k_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{W_1}{\sqrt{3}W_2} = \frac{k_p}{\sqrt{3}}$$

d) Trên sơ đồ (6-22, d) nối Y/Δ ta có:

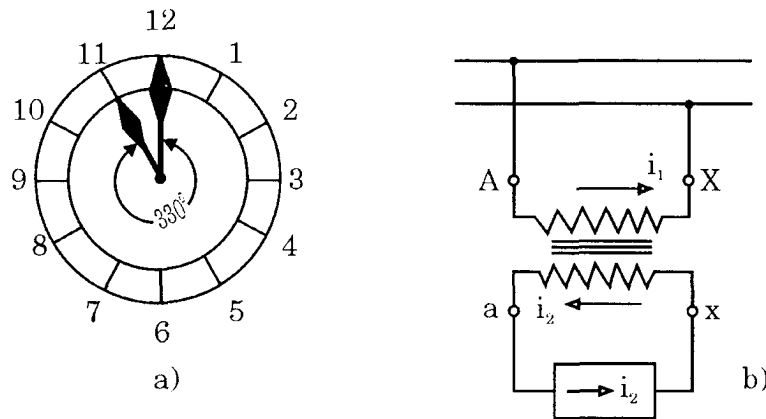
$$k_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{W_1}{W_2} = \sqrt{3}k_p$$

Trong thực tế làm việc, khi cần phải ghép song song các MBA với nhau, người ta cần phải chú ý tới một tham số nữa của MBA đó là góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp. Do vậy, ngoài ký hiệu tổ đấu dây của MBA (hình sao, tam giác), cần ghi thêm ký hiệu để chỉ góc lệch pha này. Góc lệch pha này phụ thuộc vào chiều quấn dây, cách đấu dây và nó không ghi trực tiếp bằng độ mà dùng ký hiệu tương tự giờ trên đồng hồ để tính. Cách ghi như sau: cho véc tơ điện áp dây sơ cấp trùng với vị trí kim phút của đồng hồ ở vị trí số 12, véc tơ điện áp dây thứ cấp ứng với kim giờ của đồng hồ. Vị trí kim giờ cho ký hiệu góc lệch pha tương ứng. Góc lệch giữa kim phút và kim giờ tính theo chiều kim đồng hồ chỉ góc lệch pha. Như vậy mỗi một khoảng 5' trên đồng hồ sẽ ứng với 30°.

Ví dụ. + Ký hiệu Y/Y₀ - 12 (sơ đồ 6-22, a) cho biết góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là 12 x 30° = 360°.

+ Ký hiệu Y/Δ - 11 sơ đồ (6-22, c) cho biết góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là 11 x 30° = 330°.



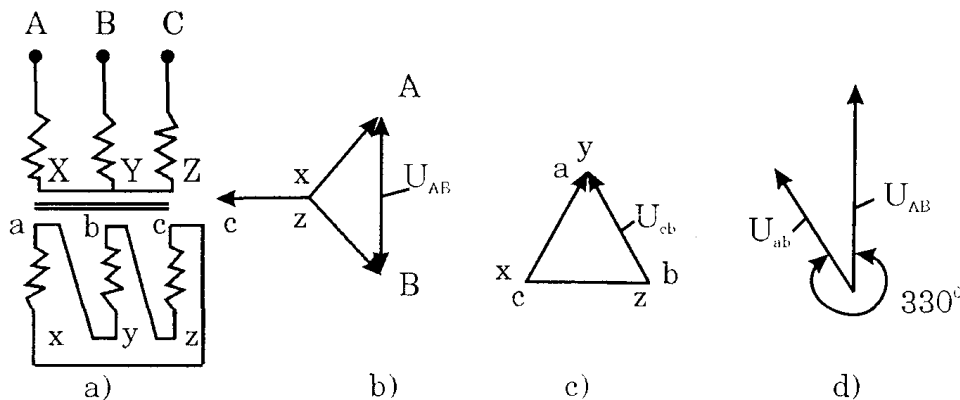
Hình 6-23

Đối với MBA một pha nếu chiều quấn sơ và thứ cấp như nhau, cách ký hiệu các đầu dây quấn khác nhau, thì điện áp dây sơ cấp và thứ cấp phải trùng pha nhau, lúc đó kim ngắn đồng hồ và kim dài phải trùng nhau ở vị trí 12, ta có tổ đấu dây 12 giờ (hình 6-23, b). Nếu chiều quấn sơ cấp và thứ cấp khác nhau thì điện áp thứ cấp ngược pha với điện áp sơ

cấp.

Để xác định tổ đấu dây và góc lệch pha ta thực hiện theo các bước sau:

- Vẽ đồ thị véc tơ điện áp dây sơ cấp và thứ cấp,
- Đưa véc tơ điện áp dây sơ cấp về vị trí kim phút ở 12 giờ,
- Đưa véc tơ điện áp dây thứ cấp về vị trí kim giờ tương ứng,
- Vị trí của kim giờ chỉ ký hiệu góc lệch pha tương ứng.



Hình 6-24

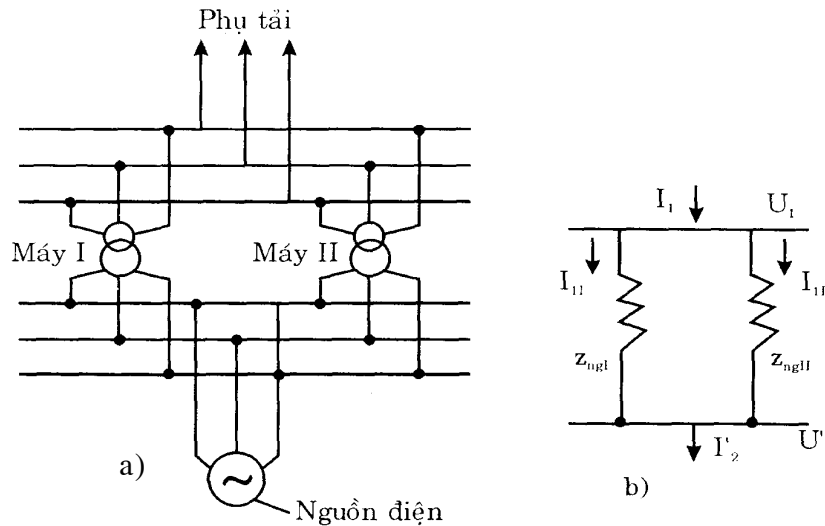
+ Ví dụ. Xét tổ đấu dây của MBA 3 pha có sơ đồ đấu dây Y/Δ như hình (6-24, a), chiều quấn dây sơ cấp và thứ cấp giống nhau.

- Vẽ giản đồ véc tơ điện áp dây sơ cấp và thứ cấp (hình 6-24, b, c)
- Dịch chuyển véc tơ điện áp dây sơ cấp U_{AB} về vị trí 12, véc tơ điện áp dây thứ cấp U_{ab} về vị trí tương ứng ở 11 giờ (hình 6-24, d). Như vậy ta có tổ đấu dây: Y/Δ - 11. Góc lệch pha tương ứng là:

$$\alpha = 11 \times 30^{\circ} = 330^{\circ}$$

§ 6.9. CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA CÁC MÁY BIẾN ÁP

Trong hệ thống điện năng, các MBA thường làm việc ở chế độ ghép song song với nhau. Dây quấn sơ cấp cùng nối tới một lưới điện chung, còn các dây quấn thứ cấp cũng đưa ra một hệ thống lưới điện chung (hình 6-25, a). Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn hơn nhiều lần công suất của mỗi máy, làm tăng hiệu năng sử dụng MBA và đảm bảo hiệu quả kinh tế của hệ thống, đảm bảo an toàn và sự liên tục cung cấp điện cho các phụ tải.



Hình 6-25

a) Hai MBA 3 pha làm việc song song

b) Sơ đồ thay thế tương đương

Các điều kiện để các MBA có thể làm việc song song với nhau:

1) Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp tương ứng phải bằng nhau, nghĩa là hệ số biến áp phải bằng nhau:

$$U_{1I} = U_{1II}$$

$$U_{2I} = U_{2II}$$

Tức là
$$k_1 = \frac{U_{1I}}{U_{2I}} = k_2 = \frac{U_{1II}}{U_{2II}} = k \quad (6-54)$$

Trong thực tế cho phép hệ số biến áp k của các máy khác nhau không quá 0,5%.

2) Các máy phải có cùng tổ đấu dây.

Điều kiện thứ 2 này và điều kiện thứ nhất đảm bảo cho mức điện áp ở sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau về trị số và trùng pha với nhau.

3) Điện áp ngắn mạch của các MBA phải bằng nhau.

$$U_{nI\%} = U_{nII\%} = \dots \quad (6-55)$$

Điều kiện này đảm bảo để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

Thực vậy. Ta gọi $I_{1dm I}$, $I_{1dm II}$ tương ứng là dòng điện sơ cấp định mức của máy I và máy II. Ký hiệu I_{1I} , I_{1II} tương ứng là dòng điện sơ cấp của máy I và máy II khi chúng làm việc song song với nhau. Sơ đồ thay thế tương đương của 2 MBA làm việc song song như hình 6-25, b).

Từ sơ đồ ta có:

$$\frac{I_{1I}}{I_{1II}} = \frac{Z_{ng II}}{Z_{ng I}} \quad (6-56)$$

Nếu 2 MBA có điện áp ngắn mạch bằng nhau thì:

$$I_{1dm I} Z_{ng I} = I_{1dm II} Z_{ng II}$$

$$\frac{I_{1dm I}}{I_{1dm II}} = \frac{Z_{ng II}}{Z_{ng I}} \quad (6-57)$$

Nhân tử số và mẫu số vế trái biểu thức (6-57) với $U_{1dm I}$ và $U_{1dm II}$ (vì $U_{1dm I} = U_{1dm II}$) ta có:

$$\frac{U_{1dm I} I_{1dm I}}{U_{1dm II} I_{1dm II}} = \frac{S_{dm I}}{S_{dm II}} = \frac{Z_{ng II}}{Z_{ng I}} \quad (6-58)$$

So sánh (6-58) với (6-56) ta rút ra:

$$\frac{I_{1I}}{I_{1II}} = \frac{S_{dm I}}{S_{dm II}} \quad (6-59)$$

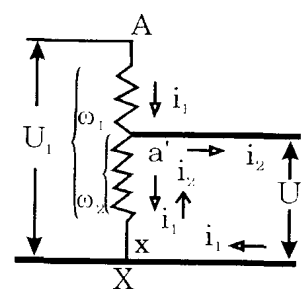
Như vậy, khi điện áp ngắn mạch của các máy bằng nhau thì dòng điện phụ tải qua mỗi máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng, điều này tránh được các sự cố do quá tải hoặc non tải của MBA.

§ 6.10. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

6.10.1. Máy biến áp tự ngẫu.

Máy biến áp tự ngẫu hay còn gọi là máy tự biến áp là MBA có công suất nhỏ thường được dùng trong các phòng thí nghiệm để làm nguồn có khả năng điều chỉnh mức điện áp lối ra liên tục theo yêu cầu. Máy tự biến áp 3 pha thường được dùng khi mở máy các động cơ điện xoay chiều 3 pha.

Khác với MBA thông thường, cấu tạo của máy tự biến áp có một phần chung giữa 2 cuộn sơ cấp và thứ cấp, nhờ vậy giữa 2 cuộn dây quấn không chỉ có liên hệ về từ mà cả liên hệ về điện.



Hình 6-26

Trên hình (6-26) là sơ đồ điện của một MBA tự ngẫu, trong đó cuộn dây sơ cấp AX có W_1 vòng dây nối với điện áp U_1 . Cuộn thứ cấp ax có số vòng W_2 được lấy từ một phần của cuộn sơ cấp để lấy ra điện áp U_2 .

$$\text{Ta có:} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$\text{hay:} \quad U_1 = U_2 \frac{W_1}{W_2}$$

Khi thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a ta sẽ thay đổi được số vòng dây W_2 và do đó thay đổi được điện áp lấy ra U_2 . Do đó MBA tự ngẫu được dùng để điều chỉnh liên tục mức điện áp lối ra.

Đặc điểm cơ bản của MBA tự ngẫu là sự truyền tải năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp thực hiện qua 2 con đường: điện và từ.

- Liên hệ về từ qua mạch từ chung.
- Liên hệ trực tiếp về điện giữa dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Do MBA tự ngẫu chỉ có một cuộn dây nên tiết kiệm được vật liệu và giảm tối đa tổn hao. So với một MBA thông thường có cùng công suất, tính toán lý thuyết cho thấy rằng lõi thép của MBA tự ngẫu nhỏ hơn $(1-1/k)$ lần. Hoặc nếu 2 MBA cùng tiết diện lõi thép thì MBA tự ngẫu cho phép tăng công suất lên 10÷20%.

Nhược điểm cơ bản của MBA tự ngẫu là không an toàn về điện, do 2 cuộn dây sơ cấp và thứ cấp chung nhau. Do vậy cần chú ý đặc biệt khi sử dụng.

6.10.2. Máy biến áp đo lường.

Trong mạch điện xoay chiều, để mở rộng giới hạn đo của các dụng cụ người ta sử dụng các máy biến áp đo lường. Nhiệm vụ của các máy biến áp và biến dòng là chuyển các giá trị điện áp và dòng điện lớn về các giá trị nhỏ hơn để phù hợp với mạch đo.

Các máy biến dòng và máy biến áp đo lường còn có tác dụng cách ly mạch điện cao áp với dụng cụ đo để bảo đảm an toàn cho người sử dụng.

Về nguyên lý cấu tạo, các máy biến dòng và máy biến áp đo lường giống như các biến áp động lực.

1. Máy biến dòng TI.

Máy biến dòng TI được áp dụng để mở rộng giới hạn đo dòng cho các dụng cụ đo. Sơ đồ nguyên lý của biến dòng TI và cách mắc trong mạch đo như hình vẽ 6-27.

Cuộn sơ cấp W_1 của TI mắc nối tiếp với tải Z . Cuộn thứ cấp W_2 được khép kín bằng ampe mét hoặc cuộn dòng của woátmét điện động, hoặc cuộn dòng của công tơ điện.

Vì điện trở của cuộn thứ cấp rất nhỏ nên có thể coi điều kiện làm việc bình thường của máy biến dòng là chế độ ngắn mạch cuộn thứ cấp.

Cuộn sơ cấp của biến dòng cần phải được cách điện tốt với cuộn thứ và với vỏ máy. Để đảm bảo an toàn cho người sử dụng người ta nối đất vỏ máy và một đầu cuộn thứ cấp.

Điện áp thứ cấp của biến dòng thường từ 1÷6V. Dòng sơ cấp thay đổi theo tải, còn dòng thứ cấp của mọi máy biến dòng được thiết lập ở chế độ định mức là 5 A hoặc 1A.

Thông số cơ bản của biến dòng là hệ số biến dòng định mức:

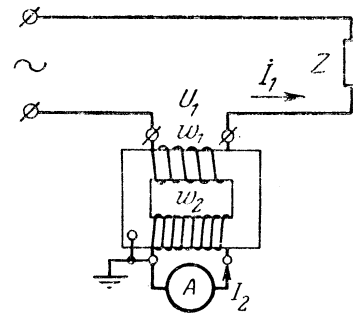
$$k_I = \frac{I_{1dm}}{I_{2dm}} \quad (6-60)$$

Trong đó I_{1dm} và I_{2dm} là trị số dòng điện định mức sơ cấp và thứ cấp của máy biến dòng TI.

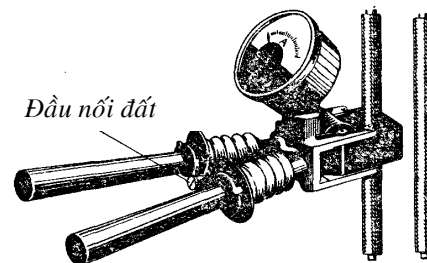
Hệ số biến dòng định mức k_I khác với hệ số biến áp $k_{21} = W_2/W_1$ một lượng không đáng kể, trong thực tế với độ chính xác cho phép thường lấy $k = k_{21}$.

Khi đo, dụng cụ đo được mắc vào cuộn thứ cấp của TI. Giá trị của dòng cần đo sẽ bằng số chỉ của dụng cụ nhân với hệ số biến dòng định mức ghi trên dụng cụ.

Máy biến dòng cấu tạo theo nhiều dạng khác nhau, như loại cố định, loại xách tay. Để tiện lợi khi sử dụng người ta thiết kế tổ hợp biến



Hình 6-27



Hình 6-28. Ampe mét kim

dòng với dụng cụ đo trong cùng một dụng cụ đo hợp bộ như ampe mét kìm (hình 6-28).

– *Chú ý.* Chế độ làm việc định mức của máy biến dòng TI là chế độ ngắn mạch cuộn thứ cấp. Do đó nếu tháo gỡ ampe mét ra khỏi biến dòng TI cần nối tắt 2 đầu dây cuộn thứ, tránh ảnh hưởng của dòng từ hóa I_0 làm tổn hao từ đốt nóng TI.

2. Máy biến áp đo lường TU.

Máy biến áp đo lường được dùng để mở rộng thang đo cho các dụng cụ khi làm việc với lưới điện cao thế.

Cấu tạo và cách mắc biến áp vào mạch đo như trên hình 6-29. Cuộn sơ cấp W_1 mắc vào lưới điện cần đo, còn cuộn thứ cấp W_2 được mắc với đồng hồ đo vôn kế.

Giá trị điện áp định mức đối với cuộn sơ cấp của TU theo ГОСТ từ 380 V ÷ 500kV. Với các điện áp định mức nhỏ hơn 3kV áp dụng chất cách điện khô, còn khi điện áp cao hơn 3kV phải sử dụng chất cách điện là dầu. Khi điện áp định mức cuộn sơ là 35kV dùng máy biến áp một cấp, với các điện áp 110kV và cao hơn phải sử dụng các máy biến áp từ 2 cấp trở lên.

Giá trị điện áp thứ cấp U_2 định mức với các biến áp TU là 100V hoặc $100\sqrt{3}$ V. Bình thường TU làm việc ở chế độ gần như hở mạch vì điện trở của vôn kế vô cùng lớn. Điều kiện làm việc bình thường của TU rất khác với TI. Đối với TI dòng sơ cấp I_1 có thể biến thiên trong phạm vi khá rộng, tùy theo phụ tải. Còn với TU thông thường làm việc với điện áp bên sơ cấp biến đổi không nhiều.

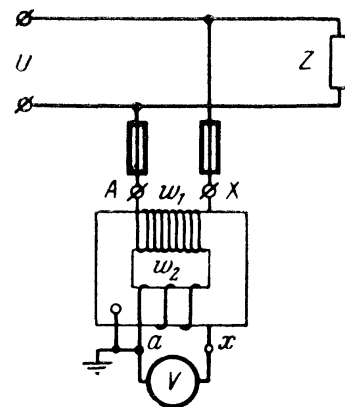
Thông số cơ bản của TU là hệ số biến áp định mức:

$$k_U = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \quad (6-61)$$

Trong thực tế các máy biến áp đo lường TU được sản xuất với các cấp chính xác 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1 và 3.

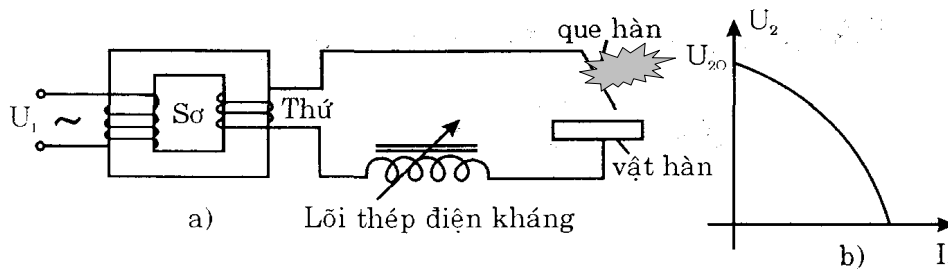
6.10.3. Máy biến áp hàn

Khi dòng điện phóng qua chất khí bị ion hóa sẽ phát sinh hồ quang. Đặc điểm của hồ quang là phát nhiệt rất cao trên 3000°C . Người ta lợi dụng tính chất này để hàn kim loại. Máy biến áp chuyên dùng để tạo



Hình 6-29. Máy biến áp TU

hồ quang điện khi hàn được gọi là MBA hàn. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của MBA hàn trên hình 6-30, a.



Hình 6-30

Muốn hàn phải nối vật hàn vào một đầu cuộn thứ cấp của MBA, đầu kia của cuộn thứ cấp nối với que hàn. Bắt đầu hàn phải chấm que hàn vào vật hàn để làm ngắn mạch MBA. Dòng điện ngắn mạch chạy qua điểm tiếp xúc có điện trở lớn sẽ phát nhiệt rất mạnh. Sau đó nhấc que hàn ra một khoảng cách ngắn, vùng không khí ở điểm tiếp xúc do có nhiệt độ cao bị ion hóa sẽ cho dòng điện phóng qua tạo thành hồ quang giữa que hàn và vật hàn.

Máy biến áp hàn có các đặc điểm sau đây:

1. Dòng thứ cấp phải lớn để cung cấp đủ nhiệt lượng cho hồ quang khi hàn. Điện áp thứ cấp phải thấp để đảm bảo an toàn (thường khoảng 60÷70V). Do vậy cuộn thứ cấp thường rất ít vòng với tiết diện dây lớn.

2. Phải cho phép tạo dòng điện ngắn mạch không lớn lắm trong thời gian ngắn lúc mỗi hồ quang. Do vậy đặc tính ngoài của MBA phải dốc để hạn chế dòng ngắn mạch (hình 6-30, b).

Muốn có đặc tuyến này MBA hàn được chế tạo có từ thông tản lớn, hoặc thêm cuộn điện kháng ở ngoài (hình 6-30, a). Khi hàn muốn điều chỉnh dòng điện hàn người ta điều chỉnh lõi thép của cuộn điện kháng.

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 quay của rotor n khác với tốc độ quay của từ trường n_1 . Trong sản xuất, máy điện không đồng bộ (asynchronous motor) chủ yếu được dùng làm động cơ để biến đổi năng lượng dòng điện xoay chiều thành cơ năng. Hiện nay đa số các động cơ điện dùng trong công nghiệp, nông nghiệp, lâm nghiệp, ... đều là động cơ điện không đồng bộ vì nó có cấu tạo đơn giản, dễ vận hành, giá thành rẻ.

Máy điện không đồng bộ cũng có tính thuận nghịch, tức là có thể làm việc ở 2 chế độ: động cơ và máy phát, nhưng chủ yếu dùng ở chế độ động cơ vì ở chế độ máy phát máy điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt lắm so với máy điện đồng bộ.

Tùy theo cấu tạo dây quấn phần quay, máy điện không đồng bộ chia ra làm hai loại: loại máy điện không đồng bộ rotor dây quấn và loại máy điện không đồng bộ rotor lồng sóc. Loại lồng sóc lại chia ra lồng sóc đơn, lồng sóc kép, lồng sóc rãnh sâu.

Máy điện không đồng bộ còn chia ra làm máy điện không đồng bộ có vành đổi chiều và không có vành đổi chiều. Loại máy điện không có vành đổi chiều có ưu điểm là cấu tạo và vận hành đơn giản, rẻ tiền. Nhưng có nhược điểm là khó điều chỉnh tốc độ, hệ số $\cos\varphi$ thấp. Loại máy điện có vành đổi chiều khắc phục được các nhược điểm trên, nhưng cấu tạo phức tạp, đắt tiền và hiệu suất thấp nên hạn chế sử dụng.

Tùy thuộc vào công suất mà máy điện không đồng bộ có các loại; 3 pha, 2 pha và 1 pha.

Loại động cơ có công suất $P > 600\text{W}$ thường là loại 3 pha có 3 dây quấn làm việc, trục các dây quấn lệch pha nhau 120° điện trong không gian.

Các động cơ công suất $P < 600\text{W}$ thường là loại 2 pha hoặc 1 pha. Động cơ 2 pha có 2 dây quấn làm việc, trục của 2 dây quấn đặt lệch nhau trong không gian một góc 90° điện. Động cơ điện một pha chỉ có một dây quấn làm việc.

§ 7.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

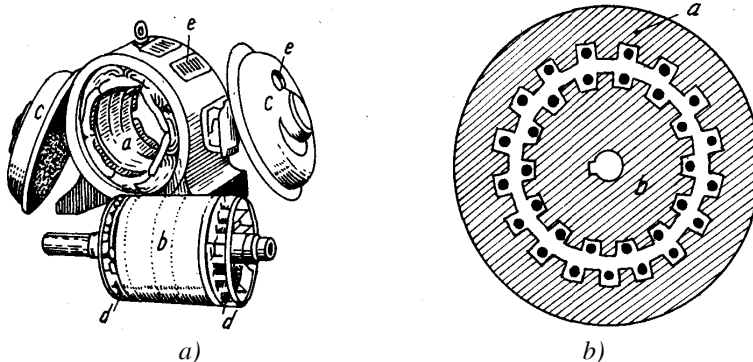
Cấu tạo của máy điện không đồng bộ 3 pha được chỉ ra trên hình vẽ 7-1, *a* gồm 2 bộ phận chính là rôto (*a*) và stator (*b*). Ngoài ra còn có vỏ máy (*e*), nắp máy (*c*). Hình 7-1, *b* là mặt cắt ngang của máy cho thấy rõ các lá thép của stator (*a*) và rôto (*b*).

7.2.1. Stator (phần tĩnh)

Stator hay phần tĩnh gồm các bộ phận chính là lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

a) Lõi thép. Lõi thép stator do nhiều lá thép kỹ thuật điện đã dập sẵn như hình 7-1, *b* ghép cách điện với nhau, chiều dày các lá thép cỡ 0,5mm, phía bên trong có rãnh để đặt dây quấn.

b) Dây quấn. Dây quấn 3 pha stator đặt trong rãnh lõi thép, xung quanh dây quấn bọc lớp cách điện để cách điện với lõi thép. Các pha dây quấn đặt cách nhau 120° .



Hình 7-1

c) Vỏ máy. Vỏ máy dùng để bảo vệ và giữ chặt lõi thép stator và cố định máy trên bệ. Vỏ máy được làm bằng nhôm (loại công suất nhỏ), hoặc bằng gang hay thép đúc (loại công suất lớn). Hai đầu vỏ máy có nắp máy để đỡ trục rotor và bảo vệ dây quấn.

7.2.2. Rotor (phần quay).

Rotor là phần quay của máy điện gồm lõi thép, trục và dây quấn.

a) Lõi thép. Lõi thép của rotor cũng gồm các lá thép kỹ thuật điện ghép lại. Các lá thép này lấy từ phần ruột bên trong khi ráp lá thép stator và ráp thành như hình (7-1,b). Mặt ngoài lõi thép có các rãnh để đặt dây quấn, ở giữa có lỗ để lắp trục.

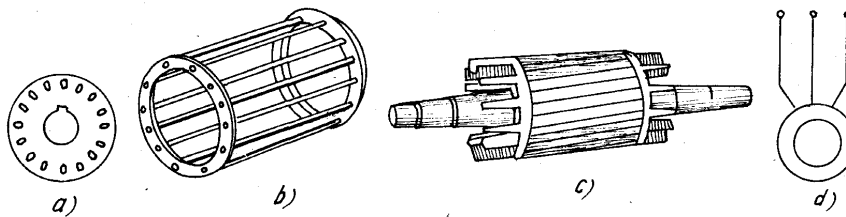
b) Trục máy. Trục máy gắn với lõi thép rotor và làm bằng thép tốt. Trục

TS. Lưu Thế Vinh

được đỡ trên nắp máy nhờ ổ trục.

c) *Dây quấn*. Dây quấn rotor của máy điện không đồng bộ có 2 loại: rotor ngắn mạch (hay rotor lồng sóc) và rotor dây quấn.

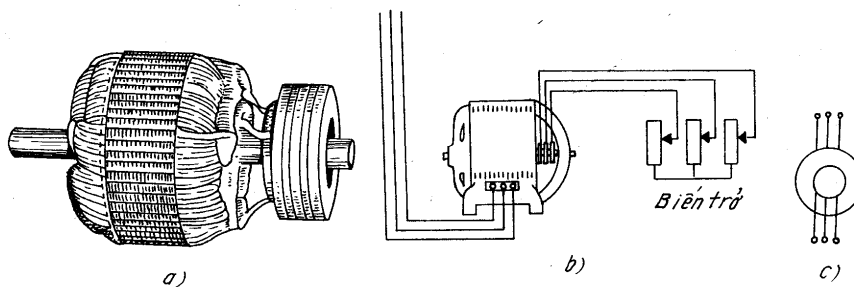
Loại rotor lồng sóc dùng cho các máy có công suất trên 100kW, trong các rãnh của lõi thép rotor đặt các thanh đồng, hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng, tạo thành lồng sóc (hình 7-2, b).



Hình 7-2

Đối với các động cơ công suất nhỏ, lồng sóc được chế tạo bằng cách đúc nhôm vào các rãnh lõi thép rotor, tạo thành thanh nhôm, hai đầu đúc vòng ngắn mạch và cánh quạt làm mát (hình 7-2,c). Động cơ điện có rotor lồng sóc gọi là động cơ không đồng bộ lồng sóc và được ký hiệu như hình 7-2,d.

Đối với loại rotor dây quấn, trong rãnh thép rotor đặt dây quấn 3 pha. Dây quấn 3 pha thường nối sao, ba đầu ra nối với 3 vòng tiếp xúc bằng đồng, cố định trên trục rotor và được cách điện với trục (hình 7-3).



Hình 7-3

Nhờ 3 chổi than từ sắt vào 3 vòng tiếp xúc, dây quấn rotor được nối với 3 biến trở bên ngoài để thực hiện việc mở máy và điều chỉnh tốc độ (hình 7-3,b). Loại động cơ này gọi là động cơ không đồng bộ rotor dây quấn và ký hiệu như hình 7-3,c.

TS. Lưu Thế Vinh

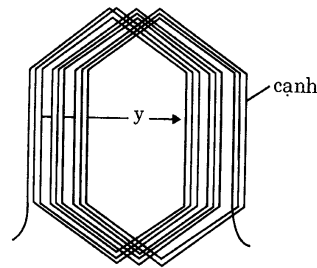
Giữa phần tĩnh và phần quay là khe hở không khí có kích thước từ $0,35 \div 1,5\text{mm}$. Mạch từ động khép kín từ stator sang rotor qua khe hở.

§ 7.3. DÂY QUẤN CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.3.1. Các định nghĩa cơ bản.

Dây quấn của máy điện không đồng bộ có cấu tạo rất phức tạp, trong phạm vi giáo trình này ta chỉ khảo sát loại đơn giản nhất để hiểu khái quát cách bố trí dây quấn.

Dây quấn stator của động cơ 3 pha gồm 3 cuộn dây quấn, mỗi cuộn dây gồm nhiều phần tử ghép nối tiếp với nhau và đặt trong các rãnh stator. Mỗi phần tử gồm có một số vòng dây, hai cạnh tác dụng của phần tử đặt vào hai rãnh. Khoảng cách giữa 2 cạnh tác dụng của một phần tử gọi là bước của dây quấn y . Trên hình 7-4 vẽ cấu trúc của một dây quấn gồm 3 phần tử, mỗi phần tử có 3 vòng dây, mỗi cạnh tác dụng của phần tử gồm 3 thanh dẫn.



Hình 7-4

Khi cấu tạo dây quấn, ta căn cứ vào công suất, tốc độ quay và một số đặc tính kỹ thuật khác của máy để xác định số rãnh Z và số cặp cực p của stator. Từ đó ta xác định các số liệu cơ bản sau của dây quấn 3 pha:

1. Số rãnh mỗi pha Q . Là số rãnh trên stator ứng với mỗi pha.

$$Q = \frac{Z}{3} \quad (7-1)$$

2. Số rãnh mỗi pha dưới một cực từ q . Biết số cực từ là $2p$, mỗi pha có Q rãnh, từ đó số rãnh mỗi pha dưới một cực từ sẽ là:

$$q = \frac{Q}{2p} = \frac{Z}{6p} \quad (7-2)$$

3. Bước cực τ . Là khoảng cách stator dưới mỗi cực từ, tính bằng số rãnh trên stator.

$$\tau = \frac{Z}{2p} \quad (7-3)$$

4.4. Góc độ điện ứng với một rãnh. Là đại lượng dùng để xác định vị trí đặt bộ dây của từng pha trong stator (hay rotor), cũng như dùng chúng để

Formatted: Bullets and Numbering

TS. Lưu Thế Vinh

xác định sơ đồ hình tia sức điện động rãnh trong việc xác định vùng pha của bộ dây quấn và xác định hệ số quấn dây của bộ dây quấn.

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} \quad (7-4)$$

5.5. Bước dây quấn y.

Dây quấn có $y = \tau$ gọi là dây quấn bước đủ. Dây quấn có $y < \tau$ gọi là dây quấn bước ngắn. Loại dây quấn bước ngắn được dùng nhiều hơn vì tiết kiệm được dây dẫn và có điều kiện cải thiện cho từ trường của máy gần hình sin hơn.

7.3.2. Ví dụ.

Xét ví dụ dây quấn 3 pha lớp đơn, bước đủ, số đôi cực $2p = 4$, số rãnh $Z = 12$.

1) Xác định các tham số.

- Số rãnh mỗi pha : $Q = \frac{Z}{3} = \frac{12}{3} = 4$ rãnh

- Số rãnh mỗi pha dưới một cực từ q .

$$q = \frac{Q}{2p} = \frac{4}{4} = 1 \text{ rãnh}$$

- Bước cực . $\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{12}{4} = 3$ rãnh

- Dây quấn bước đủ : $y = \tau = 3$ rãnh

- Góc điện giữa 2 rãnh kề nhau:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{12} = 60^\circ$$

- Số phần tử của mỗi dây quấn là: $\frac{Q}{2} = 2$ phần tử.

2) Cách đặt dây quấn.

Theo số liệu tính toán ở trên ta hãy thiết lập giản đồ hình tia sức điện động tương ứng với $Z = 12$ véc tơ (hình 7-5).

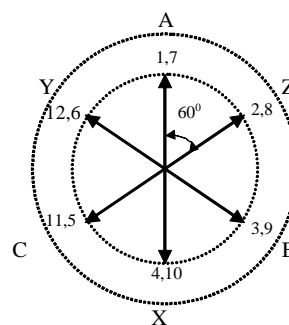
Pha A: 1 – 4 – 7 – 10

Pha B: 3 – 6 – 9 – 12

Pha C: 5 – 8 – 11 – 2

Đầu tiên đặt dây quấn pha A. Cạnh thứ nhất của phần tử thứ nhất đặt vào rãnh số 1, cạnh thứ 2 của phần tử thứ nhất đặt

TS. Lưu Thế Vinh



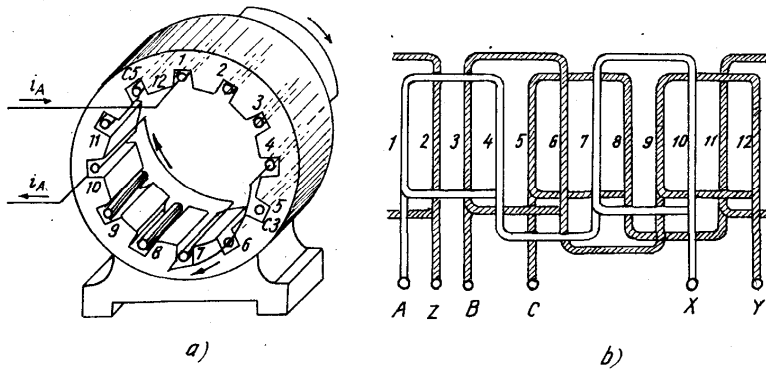
Hình 7-5

vào rãnh số 4 (vì dây quấn bước đủ $y=3$).

Tiếp theo nối với phần tử thứ hai có cạnh thứ nhất đặt tại rãnh thứ 7, cạnh thứ 2 đặt ở rãnh số 10. Như vậy dây quấn pha A sẽ đặt vào các rãnh 1-4-7-10 (hình 7-6, a).

Tiếp theo đặt dây quấn pha B. Theo tính toán ở trên góc điện giữa 2 rãnh liền nhau là $\alpha = 60^\circ$, do đó khoảng cách giữa các pha là 120° sẽ ứng với hai rãnh. Từ đó, bắt đầu dây quấn pha B sẽ đặt ở rãnh số 3 (cách pha A 2 rãnh). Các cạnh tiếp theo của dây quấn pha B sẽ đặt ở các rãnh 6, 9, 12. Tương tự, dây quấn pha C sẽ bắt đầu ở rãnh 5 và tiếp tục qua các rãnh 8, 11, 2.

Nếu cắt dọc giữa rãnh 1 và số 12 và trải ra ta có sơ đồ khai triển của dây quấn 3 pha stator như hình 7-6, b.



Hình 7-6

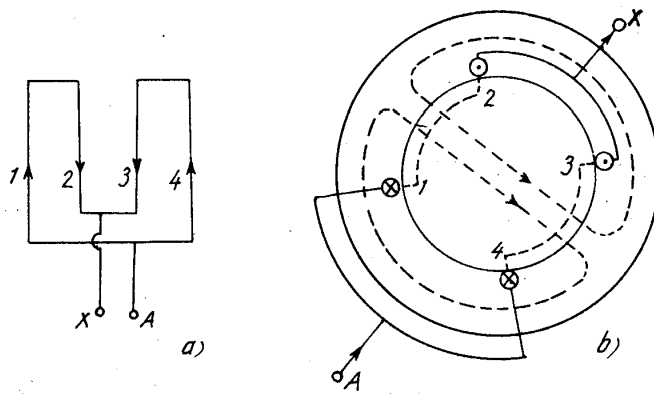
§7.4. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.4.1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha.

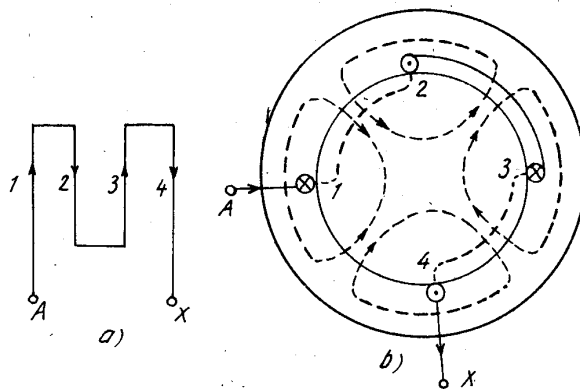
Theo lý thuyết điện từ, ta biết rằng từ trường do dòng xoay chiều hình sin tạo ra có trị số và chiều biến đổi theo quy luật hình sin, gọi là từ trường đập mạch. Giả sử dây quấn một pha đặt trong 4 rãnh stator như hình 7-7 (với số cặp cực $p = 1$) và hình 7-8 (với $p = 2$).

Khi cho dòng điện một pha $i = I_0 \sin \omega t$ chạy qua, chiều của dòng điện ở một thời điểm ký hiệu bằng các dấu quy ước: ký hiệu \otimes chỉ dòng điện đi vào, ký hiệu \odot chỉ dòng điện đi ra. Theo quy tắc vụn nút chai ta xác định được chiều từ trường. Trên hình vẽ đường chấm chấm chỉ chiều từ trường ở một nửa chu kỳ của dòng điện, ở nửa chu kỳ sau dòng điện đổi chiều và do đó từ trường có có hướng ngược lại. Trên hình 7-8 là từ trường sinh ra với 2 đôi cực ($p=2$).

TS. Lưu Thế Vinh



Hình 7-7. Từ trường của dòng một pha ứng với $p=1$



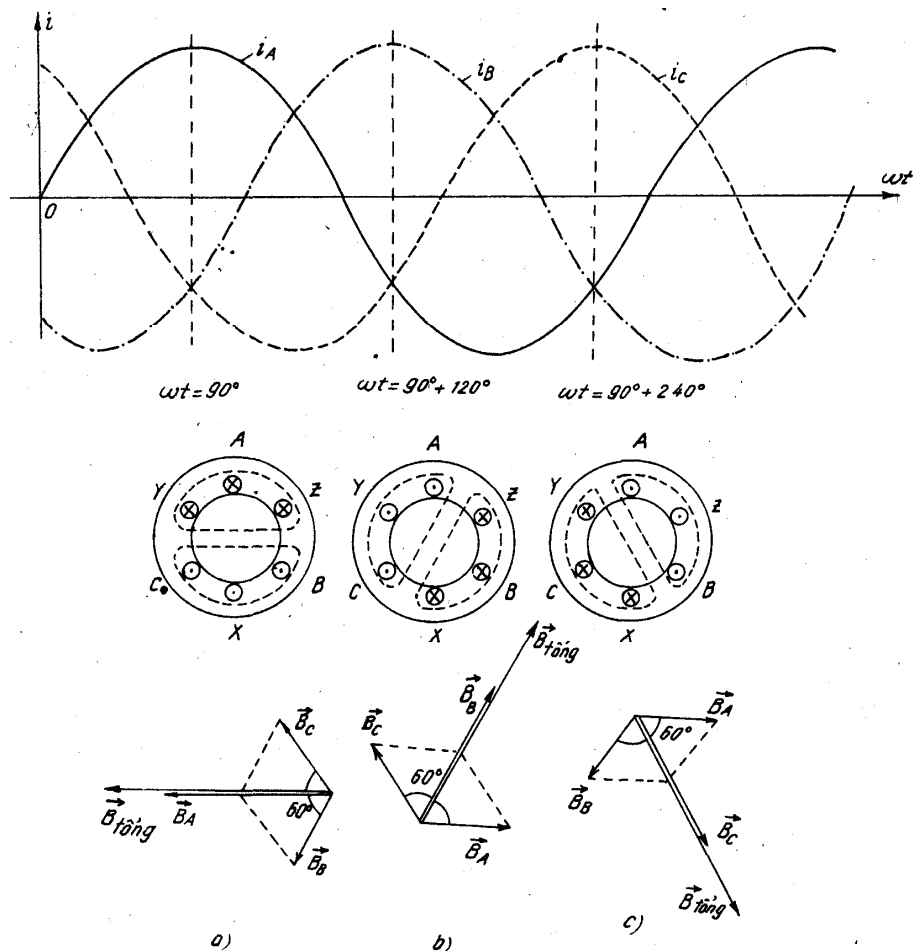
Hình 7-8. Từ trường của dòng một pha ứng với $p=2$

Như vậy dòng một pha chỉ tạo ra từ trường đập mạch mà không tạo được momen quay.

7.4.1. Sự tạo thành từ trường quay của dòng điện ba pha.

Dòng điện 3 pha có ưu điểm lớn là dễ tạo ra từ trường quay trong các máy điện 3 pha. Để khảo sát ta hãy xét trường hợp đơn giản nhất của máy điện không đồng bộ với stator có cấu trúc gồm 6 rãnh, trong đó đặt 3 cuộn dây quấn 3 pha đối xứng AX, BY và CZ. Trục các cuộn dây quấn đặt lệch nhau trong không gian một góc 120^0 , mỗi cuộn dây có một phần tử, mỗi phần tử có một vòng dây.

TS. Lưu Thế Vinh



Giả sử dòng điện 3 pha đưa vào 3 cuộn dây quấn của máy điện có biểu thức:

$$\begin{aligned}
 i_A &= I\sqrt{2} \sin \omega t \\
 i_B &= I\sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ) \\
 i_C &= I\sqrt{2} \sin(\omega t - 240^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{7-5}$$

Để thấy sự hình thành từ trường quay ta quy ước vẽ chiều dòng điện trên các cuộn dây 3 pha như sau:

Dòng điện pha nào dương có chiều từ đầu pha đến cuối pha, đầu ký hiệu bằng vòng tròn có dấu nhân ở giữa \otimes , còn cuối ký hiệu bằng

TS. Lưu Thế Vinh

vòng tròn có dấu chấm ở giữa \odot .

Dòng điện pha nào âm có chiều và ký hiệu ngược lại: đầu ký hiệu \odot , cuối ký hiệu \otimes .

Xét từ trường tại ba thời điểm khác nhau sau:

- Thời điểm $\omega t = 90^\circ$.

Ở thời điểm này, dòng pha A dương và có giá trị cực đại, dòng pha B và pha C âm và có giá trị bằng một nửa giá trị cực đại. Theo quy ước trên, đầu A ký hiệu \otimes , cuối X ký hiệu \odot ; các đầu B, C ký hiệu \odot và cuối Y, Z ký hiệu \otimes .

Dùng quy tắc vắn nút chai, xác định chiều đường sức từ trường do dòng điện trong các cuộn dây sinh ra (hình 7-9,a). Ta thấy từ trường tổng có một cực S và một cực N ta gọi là từ trường một đôi cực ($p=1$). Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn pha A là pha có dòng điện cực đại.

- Thời điểm $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$.

Ở thời điểm này, dòng pha B dương và có giá trị cực đại, dòng pha C và pha A âm và có giá trị bằng một nửa giá trị cực đại. Dùng quy tắc vắn nút chai xác định chiều từ trường ta thấy rằng từ trường tổng đã quay đi một góc 120° so với thời điểm trước. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha B là pha có dòng cực đại ra (hình 7-9,b).

- Thời điểm $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$.

Lúc này dòng pha C dương và có giá trị cực đại, dòng pha A và pha B âm và có giá trị bằng một nửa giá trị cực đại. Từ trường tổng đã quay đi một góc 240° so với thời điểm ban đầu. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha C là pha có dòng cực đại ra (hình 7-9,c).

Qua phân tích trên ta thấy rằng từ trường tổng của dòng 3 pha là từ trường quay. Từ trường quay móc vòng qua dây quấn của stator và của cả dây quấn rôto. Đây là từ trường chính tạo ra các quá trình biến đổi năng lượng trong máy điện.

7.4.2. Đặc điểm của từ trường quay.

a) Tốc độ từ trường quay.

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện stator f và số đôi cực p . Thật vậy, trong ví dụ trên, khi dòng điện biến thiên một chu

TS. Lưu Thế Vinh

kỳ, từ trường quay được một vòng, do đó trong một phút dòng điện stator biến thiên $60f$ chu kỳ, từ trường quay được $60f$ vòng. Như vậy, khi từ trường có một đôi cực, tốc độ từ trường quay là $n_1 = 60f$ vòng/phút. Khi từ trường có 2 đôi cực, dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay được $\frac{1}{2}$ vòng, do đó tốc độ từ trường quay là $n_1 = 60f/2$. Một cách tổng quát, khi từ trường quay có p đôi cực, tốc độ quay của từ trường (gọi là tốc độ đồng bộ) là:

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)} \quad (7-6)$$

b) Biên độ của từ trường quay.

Theo lý thuyết về mạch từ, độ lớn của véc tơ cảm ứng từ \vec{B} xác định theo biểu thức:

$$B = \frac{\mu\mu_0 WI}{l} \quad (7-7)$$

- Trong đó :
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m – hằng số từ
 - μ = độ từ thẩm của môi trường
 - I = cường độ dòng điện
 - W = số vòng dây
 - l = chiều dài ống dây.

Với các giá trị không đổi của W , l , μ cảm ứng từ B phụ thuộc tuyến tính vào giá trị và chiều của dòng điện I . Khi dòng cực đại B đạt cực đại, khi dòng đạt $\frac{1}{2}$ giá trị cực đại, B cũng đạt $\frac{1}{2}$ giá trị cực đại. Chiều véc tơ cảm ứng từ \vec{B} cũng phụ thuộc vào chiều dòng điện. Từ hình vẽ (7-9) ở mọi thời điểm ta luôn có:

$$\vec{B}_\Sigma = \vec{B}_A + \vec{B}_B + \vec{B}_C$$

Suy ra:
$$|\vec{B}_\Sigma| = \frac{3}{2} \vec{B}_{\max} \quad (7-8)$$

Từ thông xuyên qua mỗi dây quấn $\Phi = B.S$. Như vậy, về trị số từ thông tổng trong máy là:

$$\Phi_{\Sigma\max} = \frac{3}{2} \Phi_{\max} \quad (7-9)$$

trong đó Φ_{\max} là từ thông cực đại của một pha.

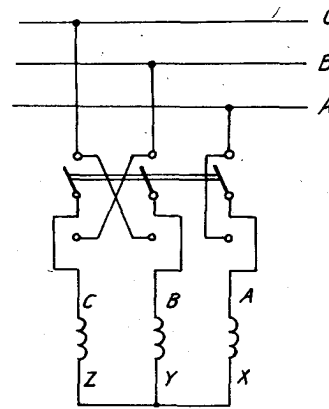
Một cách tổng quát, nếu dòng điện một pha biến thiên theo quy luật hình sin $i = I_0 \sin \omega t$, thì từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn có dạng:

$$\Phi = \Phi_{\Sigma \max} \sin \omega t = \frac{3}{2} \Phi_{\max} \sin \omega t \quad (7-10)$$

b) *Chiều quay của từ trường.*

Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của hệ thống dòng 3 pha. Từ hình (7-9) ta thấy rằng, nếu thứ tự dòng điện các pha cực đại lần lượt là pha A, pha B, rồi đến pha C một cách chu kỳ thì từ trường quay từ trục dây quấn pha A đến pha B rồi đến pha C tương ứng.

Như vậy, nếu thay đổi thứ tự hai pha cho nhau, ví dụ, dòng i_B đưa vào dây quấn CZ, dòng i_C đưa vào dây quấn BY, từ trường quay sẽ đi từ trục dây quấn AX đến CZ rồi đến BY, nghĩa là quay theo chiều ngược lại (hình 7-10).



Hình 7-10

§7.5. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.5.1. Nguyên lý làm việc của động cơ không đồng bộ ba pha.

Khi cho dòng điện 3 pha tần số f_1 vào 3 cuộn dây quấn stator, sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} \text{ (vòng/phút)}$$

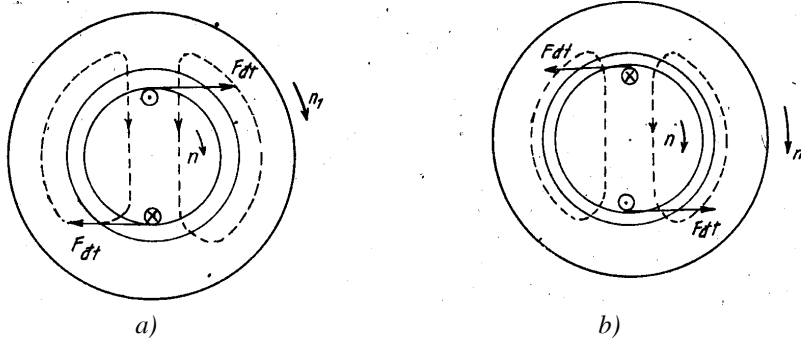
Từ trường quay cắt các thanh dẫn rôtor sinh ra trong dây quấn rôtor các s.d.đ cảm ứng. Vì các thanh dẫn rôtor được nối ngắn mạch nên s.d.đ cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện trong các thanh dẫn rôtor. Dòng điện này đặt trong từ trường quay nên sẽ chịu tác dụng của lực từ làm rôtor quay cùng chiều từ trường với tốc độ $n < n_1$.

Để minh họa, trên hình 7-11 vẽ từ trường quay tốc độ n_1 có chiều thuận chiều kim đồng hồ, chiều s.d.đ và dòng cảm ứng trong thanh dẫn rôtor, chiều của lực từ F_{dt} .

Khi xác định chiều s.d.đ cảm ứng theo quy tắc bàn tay phải, ta phải căn cứ vào chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn đối với từ trường. Nếu coi từ trường là đứng yên thì chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn theo chiều ngược lại với chiều n_1 . Từ đó chiều của s.d.đ cảm ứng xác định theo quy tắc bàn tay phải có chiều như hình vẽ. Chiều

TS. Lưu Thế Vinh

của lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái có cùng chiều với chiều quay n_1 .



Hình 7-11

7.5.2. Độ trượt s .

Tốc độ quay của máy n luôn luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 , vì nếu $n = n_1$ thì sẽ không có sự chuyển động tương đối, s.d.đ cảm ứng và do đó dòng cảm ứng sẽ triệt tiêu, lực từ sẽ bằng không. Động cơ do đó được gọi là động cơ không đồng bộ.

Để đặc trưng cho chế độ làm việc của động cơ không đồng bộ người ta đưa ra khái niệm độ trượt s . Gọi n_1 là tốc độ quay của từ trường: $n_1 = \frac{60f_1}{p}$; n là tốc độ của rôtor. Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ máy gọi là tốc độ trượt n_2 .

$$n_2 = n_1 - n \quad (7-11)$$

Độ trượt hay hệ số trượt s được định nghĩa:

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (7-12)$$

Khi động cơ làm việc, nếu tần số $f_1 = const$ thì $n_1 = const$, còn n phụ thuộc vào mômen cản trên trục động cơ, do đó độ trượt s sẽ thay đổi. Độ trượt là một đại lượng đặc trưng cho quá trình làm việc của động cơ không đồng bộ.

- Khi bắt đầu mở máy (rôtor đứng yên): $n = 0, s = 1$.

- Khi tốc độ động cơ bằng tốc độ từ trường: $n = n_1, s = 0$.

Như vậy, giới hạn của độ trượt nằm trong khoảng: $0 < s \leq 1$. Bình thường rôtor quay ở chế độ định mức $s = 0,02 \div 0,06$.

Từ biểu thức $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$ ta có tốc độ quay của động cơ là:

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \text{ vòng/phút} \quad (7-13)$$

7.5.3. Nguyên lý làm việc của máy phát điện không đồng bộ ba pha.

Nếu stator vẫn nối với lưới điện, trục của rôtor không nối với tải mà nối với một động cơ sơ cấp. Dùng động cơ sơ cấp kéo rôtor quay cùng chiều n_1 với tốc độ $n > n_1$. Lúc này chiều của dòng điện I_2 trong rôtor ngược lại với chế độ động cơ, do đó lực điện từ sẽ đổi chiều tác động lên rôtor gây ra mômen hãm cân bằng với mômen quay của động cơ sơ cấp (hình 7-11, b). Máy điện làm việc ở chế độ máy phát. Hệ số trượt lúc này là:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0 \quad (7-14)$$

Nhờ từ trường quay, cơ năng động cơ sơ cấp đưa vào được biến thành điện năng ở stator. Để tạo ra từ trường quay, lưới điện phải cung cấp cho máy phát không đồng bộ công suất phản kháng Q , vì thế làm giảm hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện. Khi máy làm việc riêng lẻ, ta phải dùng tụ điện nối đầu cực máy để kích từ cho máy. Đó chính là nhược điểm cơ bản của máy phát không đồng bộ, vì vậy nó ít được sử dụng trong thực tế.

§7.6. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN TỪ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ.

7.6.1. Phương trình cân bằng điện mạch stator.

Dây quấn stator của động cơ điện tương tự dây quấn sơ cấp MBA, do đó ta có phương trình cân bằng điện áp là:

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (7-15)$$

Trong đó $\bar{Z}_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở dây quấn stator.

R_1 là điện trở dây quấn stator.

$X_1 = 2\pi f L_1$ là điện kháng tản dây quấn stator,

E_1 là sức điện động pha stator do từ thông của từ trường quay sinh ra, có trị số là:

$$E_1 = 4,44 f W_1 k_1 \Phi_m \quad (7-16)$$

Với W_1, k_1 là số vòng dây và hệ số dây quấn của một pha stator.

Φ_m là biên độ từ thông của từ trường quay. Hệ số dây quấn $k_1 < 1$ nói lên sự giảm s.d.đ. của mỗi pha dây quấn stator do quấn rải trên các rãnh và bước rút ngắn, so với quấn tập trung trong máy biến thế.

7.6.2. Phương trình cân bằng điện mạch rôtor.

Dây quấn rôtor của máy điện không đồng bộ tương tự dây quấn thứ cấp của MBA. Giả thiết để hở mạch rôtor và cho dòng điện ba pha đi vào mạch stator. Trường hợp này tương tự như máy biến áp không tải. Vì mạch rôtor hở nên dòng điện rôtor $I_2 = 0$. Rôtor đứng yên vì không có lực điện từ, không có mômen.

Tương tự MBA, ta có s.d.đ. một pha của mạch rôtor E_{20} lúc đứng yên theo công thức:

$$E_{20} = 4,44k_2 \cdot f_{20} \cdot W_2 \cdot \Phi_m \quad (7-17)$$

trong đó:

k_2 là hệ số dây quấn rôtor của động cơ $k_2 < 1$.

f_{20} là tần số xác định ở tốc độ biến đổi của từ thông qua cuộn dây.

Vì rôtor đứng yên cho nên:

$$f_{20} = \frac{p \cdot n_1}{60} = f_1 \quad (7-18)$$

Bây giờ đóng mạch cho động cơ quay bình thường. Giả sử rôtor quay với tốc độ n . Lúc này s.d.đ và dòng điện trong dây quấn rôtor sẽ có tần số phụ thuộc vào tốc độ tương đối giữa rôtor và từ trường $(n_1 - n)$:

$$f_{2s} = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{p \cdot n_1}{60} \cdot \frac{(n_1 - n)}{n_1} = f_1 \cdot s \quad (7-19)$$

Như vậy, tần số dòng điện rôtor lúc quay bằng tần số dòng điện stator nhân với độ trượt.

Sức điện động pha dây quấn rôtor lúc quay là:

$$E_{2s} = 4,44k_2 W_2 f_{2s} \Phi_m = 4,44k_2 W_2 f_1 \Phi_m s = E_{20} \cdot s \quad (7-20)$$

Trong đó: $E_{20} = 4,44k_2 f_1 W_2 \Phi_m$

Như vậy, sức điện động trong mạch rôtor lúc quay bằng sức điện động trong mạch rôtor đứng yên nhân với độ trượt.

Nếu biết được tổng trở pha mạch rôtor Z_2 ta dễ dàng xác định được dòng điện pha mạch rôtor I_2 theo công thức:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{Z_2} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} \quad (7-21)$$

Trong đó:

R_2 là điện trở pha mạch rôtor

X_{2s} là điện kháng pha mạch rôtor do từ thông tản ở mạch rôtor sinh ra: $X_{2s} = 2\pi f_{2s} L_2$.

Ở đây L_2 là hệ số tự cảm mạch rôtor. Nếu X_{20} là điện kháng pha mạch rôtor đứng yên thì $X_{20} = 2\pi f_{20} L_2$. So sánh X_{2s} và X_{20} ta có:

$$\frac{X_{2s}}{X_{20}} = \frac{f_{2s}}{f_{20}} = \frac{f_{20} \cdot s}{f_{20}} = s \quad (7-22)$$

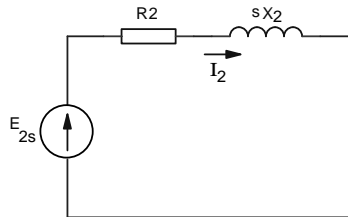
Như vậy, điện kháng pha mạch rôtor lúc quay bằng điện kháng pha mạch rôtor đứng yên nhân với độ trượt.

Từ (7-16) và (7-17) ta có:

$$k_e = \frac{E_1}{E_{20}} = \frac{W_1 k_1}{W_2 k_2} \quad (7-23)$$

k_e gọi là hệ số quy đổi sức điện động.

Để biểu diễn sơ đồ tương đương ta chọn chiều E_{2s} và I_2 như hình vẽ (7-12).



Hình 7-12

Vì dây quấn rôtor ngắn mạch, nên phương trình cân bằng điện áp lúc rôtor quay sẽ có dạng:

$$\dot{E}_{2s} = \dot{I}_2 (R_2 + jX_{2s}) \quad (7-24,a)$$

hay:

$$0 = s\dot{E}_2 - \dot{I}_2 (R_2 + jsX_2) \quad (7-24,b)$$

Trong phương trình (7-24) dòng điện rôtor có tần số $f_2 = sf_1$ và có trị số hiệu dụng là:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{Z_2} = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (7-25)$$

7.6.3. Phương trình cân bằng từ của động cơ không đồng bộ.

TS. Lưu Thế Vinh

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy sinh ra đồng thời do dòng điện của cả hai dây quấn ở stator và rôtor. Dòng điện trong dây quấn stator sinh ra từ trường quay stator quay với tốc độ n_1 đối với stator. Dòng điện trong dây quấn rôtor sinh ra từ trường quay rôtor, quay với tốc độ n_2 :

$$n_2 = \frac{60 \cdot f_2}{p} = \frac{60 f_1 \cdot s}{p} = s \cdot n_1 \quad (7-26)$$

Vì tốc độ quay của rôtor so với stator là n , cho nên từ trường quay của rôtor sẽ quay so với stator với tốc độ là:

$$n_2 + n = s n_1 + n = s n_1 + n_1(1-s) = n_1 \quad (7-27)$$

Như vậy, từ trường quay stator và từ trường quay rôtor không chuyển động tương đối đối với nhau. Từ trường tổng hợp của máy sẽ là từ trường quay với tốc độ n_1 .

Lý luận tương tự như ở MBA, do từ thông Φ_{\max} lúc không tải và có tải là không đổi, nên ta viết được phương trình cân bằng sức từ động của động cơ không đồng bộ:

$$m_1 W_1 k_1 \dot{I}_1 - m_2 W_2 k_2 \dot{I}_2 = m_1 W_1 k_1 \dot{I}_0 \quad (7-28)$$

Trong đó:

\dot{I}_0 là dòng điện stator lúc không tải

\dot{I}_1, \dot{I}_2 là dòng điện stator và rôtor lúc có tải

m_1, m_2 là số pha dây quấn stator và rôtor.

Các hệ số $m_1 W_1 k_1, m_2 W_2 k_2$ nói lên từ trường quay do đồng thời m_1 pha stator và m_2 pha rôtor sinh ra, tính đến số vòng dây và cách quấn dây. Dấu trừ trước \dot{I}_2 cho biết dòng \dot{I}_2 không thuận với chiều từ thông theo quy tắc vắn nút chai.

Chia hai vế của (7-28) cho $m_1 W_1 k_1$ ta được:

$$\dot{I}_1 - \frac{m_2 W_2 k_2}{m_1 W_1 k_1} \dot{I}_2 = \dot{I}_0$$

hay:
$$\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{\frac{m_1 W_1 k_1}{m_2 W_2 k_2}} = \dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{k_i} = \dot{I}_1 - \dot{I}_2' = \dot{I}_0$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (7-29)$$

Trong đó: I_2' là dòng điện rôtor quy đổi về stator,

$$k_i = \frac{m_1 W_1 k_1}{m_2 W_2 k_2} \text{ gọi là hệ số quy đổi dòng điện.}$$

§7.7. SƠ ĐỒ THAY THẾ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tương tự như khi nghiên cứu MBA, dựa vào các phương trình cân bằng điện từ ta sẽ thiết lập được sơ đồ mạch điện gọi là sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ.

Từ các phương trình (7-15), (7-24) và (7-29) ta có hệ phương trình toán học mô tả động cơ điện không đồng bộ là:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + jX_1) - \dot{E}_1 \quad (7-30)$$

$$0 = s\dot{E}_2 - I_2(R_2 + jsX_2) \quad (7-31)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (7-32)$$

Từ (7-31) là phương trình cân bằng điện của mạch điện rôtor lúc rôtor quay với tần số $f_2 = sf_1$. Chia hai vế phương trình cho s ta có:

$$0 = \dot{E}_2 - I_2 \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right) \quad (7-33)$$

Các thông số E_2 , X_2 là s.d.d. và điện kháng tản lúc rôtor đứng yên với tần số f_1 . Như vậy phương trình (7-33) là phương trình cân bằng điện rôtor đã quy đổi từ trạng thái rôtor quay về trạng thái đứng yên. Ta gọi đây là phương trình cân bằng điện rôtor quy đổi về tần số stator f_1 .

Bây giờ hãy nhân (7-33) với hệ số quy đổi s.d.d k_e , nhân và chia cho hệ số quy đổi dòng điện k_i ta được:

$$0 = k_e \dot{E}_2 - \frac{I_2}{k_i} \left(\frac{R_2}{s} k_e k_i + jX_2 k_e k_i \right) \quad (7-34)$$

Gọi: $E_2' = k_e \dot{E}_2 = E_1$ là s.d.d. pha rôtor quy đổi về stator.

$I_2' = \frac{I_2}{k_i}$ là dòng điện rôtor quy đổi về stator.

$R_2' = R_2 k_e k_i$ là điện trở dây quấn rôtor quy đổi về stator.

$X_2' = X_2 k_e k_i$ là điện kháng dây quấn rôtor quy đổi về stator

$k_Z = k_e k_i$ là hệ số quy đổi tổng trở.

Phương trình (7-34) trở thành:

$$0 = \dot{E}_2' - I_2' \left(\frac{R_2'}{s} + jX_2' \right) \quad (7-35)$$

Tương tự MBA E_1 và E_2' là điện áp rơi trên tổng trở từ hóa:

$$E_1 = \dot{E}_2' = -I_0'(R_{th} + jX_{th}) \quad (7-36)$$

Cuối cùng ta được hệ phương trình động cơ điện đã quy đổi sau:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + jX_1) + \dot{I}_0'(R_{th} + jX_{th}) \quad (7-37)$$

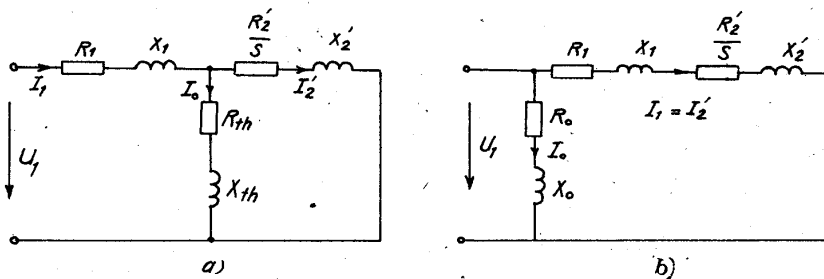
$$0 = I_0'(R_{th} + jX_{th}) - I_2' \left(\frac{R_2'}{s} + jX_2' \right) \quad (7-38)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0' + \dot{I}_2' \quad (7-39)$$

Hệ 3 phương trình (7-37, 38, 39) là hệ phương trình Kirchoff viết cho mạch điện có sơ đồ trên hình (7-13). Mạch điện trên gọi là sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ. Để thuận tiện cho việc tính toán, thường sử dụng sơ đồ gần đúng tương đương hình (7-13,b), trong đó:

$$R_0 = R_1 + R_{th}$$

$$X_0 = X_1 + X_{th}$$



Hình 7-13

Để thể hiện công suất cơ trên trục động cơ ở sơ đồ thay thế, ta thực hiện phép biến đổi sau:

$$\frac{R_2'}{s} = R_2' + \frac{R_2'(1-s)}{s} \quad (7-40)$$

$\frac{R_2'}{s}$ đặc trưng cho công suất điện từ P_{dt} :

$$P_{dt} = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} = m_2 I_2'^2 \frac{R_2}{s} \quad (7-41)$$

R_2' đặc trưng cho tổn hao đồng trong rôto.

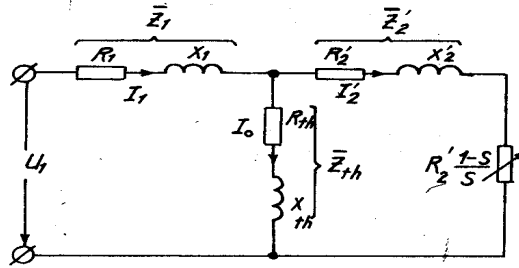
$$P_{d2} = m_1 I_2'^2 R_2' = m_2 I_2'^2 R_2 \quad (7-42)$$

TS. Lưu Thế Vinh

$\frac{R_2'(1-s)}{s}$ đặc trưng cho công suất cơ trên trục trên trục:

$$P_{cơ} = m_1 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} = m_2 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} \quad (7-43)$$

Sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ có thể vẽ như hình (7-14):



Hình 7-14

§7.8. MÔ MEN QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA.

Ở chế độ động cơ điện, mômen điện từ đóng vai trò mômen quay. Dựa vào biểu thức công suất điện từ và quan hệ giữa công suất này với tổn hao trong mạch rôto, ta rút ra biểu thức của mômen quay là hàm số của độ trượt s như sau:

$$M = M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (7-44)$$

P_{dt} là công suất điện từ tính theo (7-41):

$$P_{dt} = 3 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (7-45)$$

ω_1 là tần số góc của từ trường quay : $\omega_1 = \frac{\omega}{p}$ (7-46)

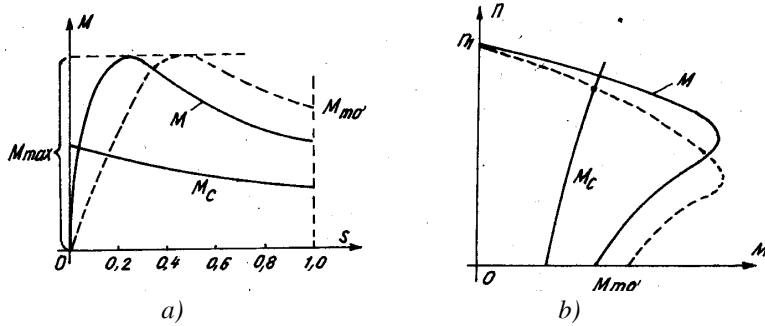
ω là tần số góc dòng điện stator, p là số cặp cực từ.

Từ sơ đồ thay thế (7-13,b) ta có:

$$I_2' = \frac{1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7-47)$$

Như vậy:
$$M = \frac{3pU_1^2 R_2'}{s\omega \left[(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} \quad (7-48)$$

Đồ thị biểu diễn quan hệ mômen quay theo độ trượt $M = f(s)$ trên hình (7-15,a). Nếu thay $s = (n_1 - n)/n_1$ ta có quan hệ $n = f(M)$, đó là đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 7-15,b).

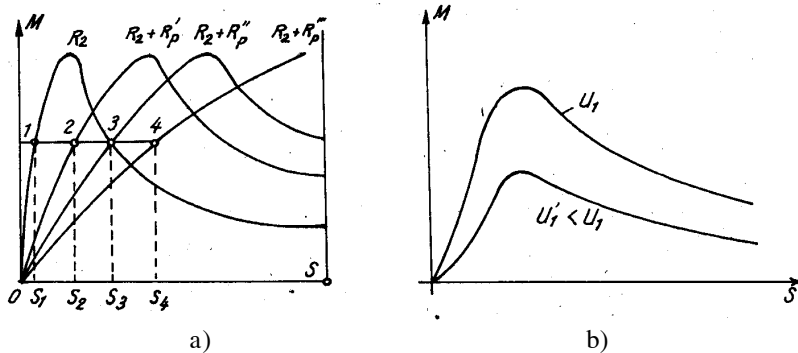


Hình 7-15

Các đặc điểm của mômen quay của động cơ không đồng bộ:

1. Mômen quay tỷ lệ với bình phương điện áp. Trên hình (7-16,b) vẽ đường cong $M = f(s)$ với các điện áp khác nhau: $U_1 < U_1$.

Formatted: Bullets and Numbering



Hình 7-16

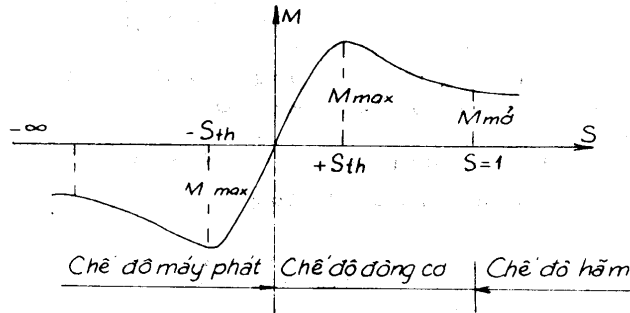
2. Mômen có trị số cực đại M_{max} ứng với tới hạn s_{th} làm cho đạo hàm $\frac{\partial M}{\partial s} = 0$. Sau khi đạo hàm ta tính được trị số s_{th} và M_{max} là:

Formatted: Bullets and Numbering

$$s_{th} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

dấu (+) ứng với chế độ động cơ và chế độ hãm
dấu (-) ứng với chế độ máy phát (hình 7-17)

TS. Lưu Thế Vinh



Hình 7-17

Xét giá trị trong căn, $R_1^2 \ll (X_1 + X_2')^2$ nên có thể bỏ qua R_1^2 , ta có biểu thức gần đúng:

$$s_{th} \approx \pm \frac{R_2'}{X_1 + X_2'}$$

$$M_{max} = \frac{3pU_1^2}{2\omega[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}} \approx \frac{3pU_1^2}{2\omega(R_1 + X_1 + X_2')} \quad (7-49)$$

Hệ số trượt tối hạn s_{th} tỷ lệ thuận với điện trở rôtor, còn M_{max} không phụ thuộc vào điện trở rôtor. Khi cho thêm điện trở phụ R_p vào rôtor, đường đặc tính $M=f(s)$ thay đổi như hình (7-16,a). Tính chất này được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và mở máy động cơ rôtor dây quấn.

Quan hệ giữa M , M_{max} và s_{th} có thể viết gần đúng như sau:

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (7-50)$$

Thay $s = 1$ vào (7-48) ta có mô men mở máy của động cơ là:

$$M = \frac{3pU_1^2 R_2'}{\omega[(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2]} \quad (7-51)$$

Đối với động cơ lồng sóc thường cho các trị số sau:

$$\frac{M_{mở}}{M_{dm}} = 1,1 \div 1,7; \quad \frac{M_{max}}{M_{dm}} = 1,6 \div 2,5 \quad (7-52)$$

§7.9. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA.

TS. Lưu Thế Vinh

7.9.1. Đặc điểm.

Quá trình mở máy tính từ lúc đóng mạch cho dòng điện vào động cơ đứng yên ($n = 0$) cho đến lúc động cơ quay với tốc độ ổn định n .

Động cơ không đồng bộ 3 pha có mômen mở máy. Để mở máy mômen của động cơ phải đủ lớn để thắng mômen cản của phụ tải đặt lên trục động cơ (M_c) và mômen quán tính của các phần tử chuyển động quy về trục động cơ (J). Ngoài ra mômen động cơ phải đủ lớn để thời gian mở máy nằm trong giới hạn cho phép.

Phương trình mômen của động cơ là:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \quad (7-53)$$

Khi mở máy hệ số trượt $s = 1$, từ sơ đồ thay thế đơn giản gần đúng (7-13,b) ta có dòng điện pha lúc mở máy là:

$$I_{mở} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7-54)$$

Trong quá trình mở máy dòng cấp cho động cơ khá lớn, thường bằng 5 ÷ 7 lần dòng định mức. Đối với lưới điện công suất nhỏ dòng tải tăng sẽ làm sụt áp lưới mạng gây ảnh hưởng nghiêm trọng tới nguồn và ảnh hưởng đến chế độ công tác của các thiết bị điện khác. Do vậy cần phải có các biện pháp khắc phục. Dưới đây ta sẽ xét các phương pháp mở máy cho từng loại động cơ.

7.9.1. Mở máy động cơ rôto lồng sóc.

a) Mở máy trực tiếp.

Áp dụng cho các động cơ công suất nhỏ. Thao tác mở máy chỉ đơn giản là đóng điện trực tiếp cho động cơ nhờ cầu dao 3 pha, aptômat hoặc khởi động từ.

Do trong thời gian khởi động dòng mở máy lớn gây sụt áp nguồn, nên nếu mômen quán tính của động cơ lớn, thời gian mở máy sẽ dài có thể gây sự cố cho mạch điện. Do đó phương pháp này chỉ áp dụng đối với các động cơ nhỏ khi công suất lưới điện lớn hơn nhiều lần công suất của động cơ.

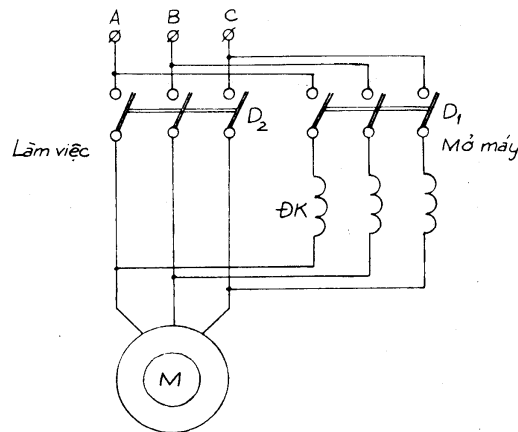
b) Giảm điện áp stator khi mở máy.

Trong thời gian mở máy ta giảm điện áp đặt vào stator nhằm giảm dòng điện mở máy. Tuy nhiên hệ quả là làm giảm mômen mở máy, do

đó phương pháp này chỉ áp dụng cho các động cơ không yêu cầu mômen mở máy lớn. Có các biện pháp thực hiện giảm điện áp stator như sau:

1. Dùng điện kháng mắc nối tiếp vào mạch stator.

Sơ đồ khởi động động cơ chỉ ra trên hình 7-18. Quá trình mở máy được thực hiện như sau: Ban đầu đóng cầu dao D_1 , mở cầu dao D_2 . Điện áp lưới đặt vào động cơ qua các điện kháng mắc nối tiếp với dây quấn stator. Khi tốc độ động cơ gần đạt mức ổn định đóng cầu dao D_2 , mở cầu dao D_1 . Nhờ sụt áp trên các điện kháng nên điện áp đặt vào động cơ sẽ giảm đi, dẫn đến giảm dòng mở máy. Nếu điện áp giảm đi k lần, dòng mở máy cũng sẽ giảm đi k lần, tuy nhiên mômen mở máy cũng sẽ giảm đi k^2 lần tương ứng.



Hình 7-18

2. Dùng biến áp tự ngẫu 3 pha mắc nối tiếp vào mạch stator

Dùng MBA tự ngẫu có thể điều chỉnh tùy ý mức điện áp đặt vào dây quấn stator của động cơ (hình 7-19). Thay đổi vị trí của của chiết áp sao cho lúc mở máy điện áp đặt vào động cơ nhỏ, sau đó tăng dần lên bằng giá trị định mức.

Gọi k là hệ số biến áp, U_1 là điện áp pha của lưới, Z_n là tổng trở của động cơ, U_2 là điện áp pha đặt vào động cơ lúc mở máy, ta có:

$$U_2 = \frac{U_1}{k} \quad (7-55)$$

Dòng điện chạy vào động cơ lúc dùng MBA là:

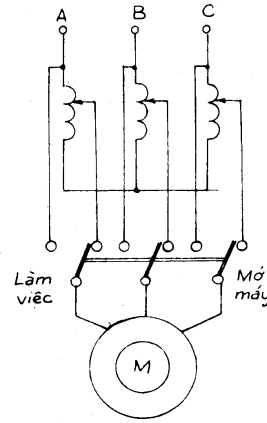
$$I_2 = \frac{U_2}{Z_n} = \frac{U_1}{kZ_n} \quad (7-56)$$

Dòng điện lưới cung cấp cho động cơ lúc có MBA là:

$$I_1 = \frac{I_2}{k} = \frac{U_1}{k^2 Z_n} \quad (7-57)$$

Nếu mở máy trực tiếp không dùng MBA thì dòng điện lưới lúc mở máy sẽ là:

$$I_{10} = \frac{U_1}{Z_n} \quad (7-58)$$



Hình 7-19

So sánh (7-57) và (7-58) ta thấy việc dùng MBA đã cho phép giảm dòng điện mở máy đi k^2 lần. Đây là một trong những ưu điểm của việc dùng MBA so với phương pháp dùng điện kháng. Điện áp đặt vào động cơ giảm đi k lần nên mômen quay giảm đi k^2 lần. Phương pháp này được áp dụng cho các động cơ công suất lớn.

7.9.2. Mở máy động cơ rôto dây quấn.

Để mở máy động cơ rôto dây quấn người ta dùng biến trở mở máy mắc nối tiếp với dây quấn rôto (hình 7-20).

Quá trình mở máy được thực hiện như sau: Ban đầu để biến trở lớn nhất, sau đó giảm dần biến trở về không. Đường đặc tính mômen ứng với các giá trị $R_{mở}$ chỉ ra trên hình 7-20, b.

Muốn có mômen mở máy cực đại, hệ số trượt tới hạn phải bằng 1:

$$s_{th} = \frac{R_2' + R_{mở}'}{X_1 + X_2'} = 1 \quad (7-59)$$

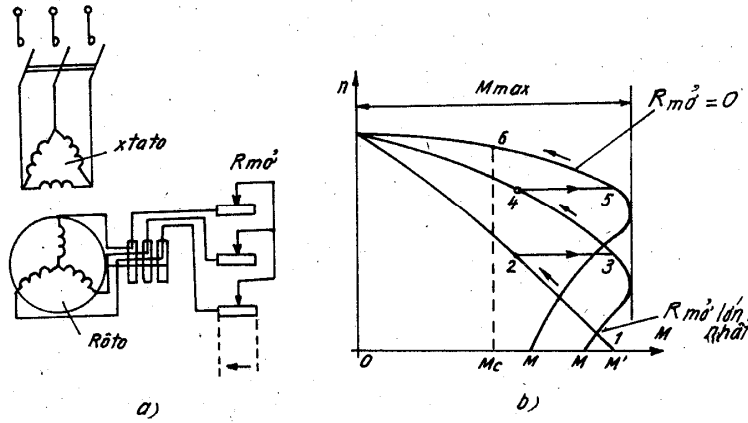
Từ đó xác định được giá trị điện trở mở máy $R_{mở}$ cần thiết. Khi có $R_{mở}$ dòng điện mở máy là:

$$I_{mở} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' + R_{mở}')^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7-60)$$

Nhờ có $R_{mở}$, dòng điện mở máy giảm xuống, nhưng mômen mở máy vẫn đạt cực đại. Đó là ưu điểm cơ bản của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Do đó những phụ tải yêu cầu mômen mở máy lớn thường

TS. Lưu Thế Vinh

dùng động cơ rôto dây quấn.



Hình 7-20. Mở máy động cơ rôto dây quấn

§7.10. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA.

7.10.1. Tốc độ động cơ không đồng bộ 3 pha.

Từ công thức 7-13:

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \tag{7-61,a}$$

Ta thấy tốc độ quay của động cơ là hàm của 3 biến p, f và s .

$$n = F(p, f, s) \tag{7-61,b}$$

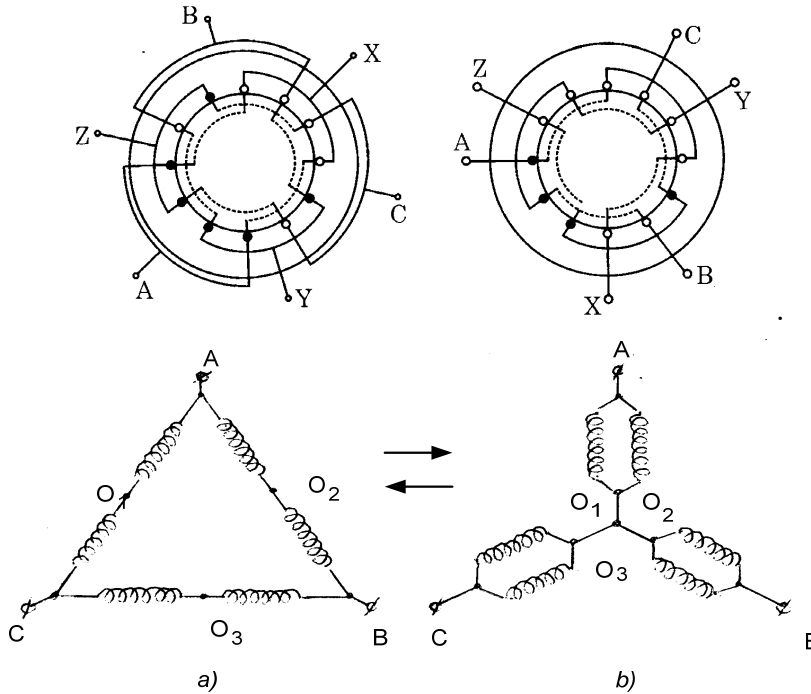
Như vậy, có thể điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi số cặp cực p , thay đổi tần số dòng điện stator f , hoặc bằng cách thay đổi điện áp đặt vào stator để điều chỉnh hệ số trượt s .

7.10.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực.

Số đôi cực p của từ trường quay phụ thuộc vào cách mắc các cuộn dây quấn stator.

Trường hợp dây quấn 1 pha. Trên các hình (7-7) và (7-8) cho ta khái niệm về sự hình thành số đôi cực khi mắc song song các cuộn dây ($p=1$) và khi mắc nối tiếp ($p=2$) đối với dây quấn 1 pha.

Trường hợp dây quấn 3 pha. Đối với dây quấn 3 pha khi chuyển từ cách mắc nối tiếp sang cách mắc song song ta đã thay đổi sơ đồ đấu dây từ sơ đồ hình tam giác sang sơ đồ hình sao (hình 7-21)



Hình 7-21. Chuyển từ mắc nối tiếp sang cách mắc song song

Động cơ không đồng bộ có cấu tạo dây quấn để thay đổi số đôi cực được gọi là động cơ nhiều cấp tốc độ. Phương pháp điều chỉnh này chỉ áp dụng cho loại động cơ có rôto lồng sóc.

7.10.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách điều chỉnh điện trở mạch rôto.

Đối với các động cơ rôto dây quấn có thể sử dụng sơ đồ điều chỉnh điện trở mạch rôto để điều chỉnh tốc độ. Sơ đồ tương tự sơ đồ mở máy (hình 7-3. b).

Thật vậy, ta có công suất từ trường quay, tức công suất điện từ là:

$$P_{dt} = M \cdot \omega_1$$

ω_1 là tốc độ góc từ trường quay.

Công suất trên trục động cơ:

$$P_2 = M \cdot \omega_2$$

ω_2 là tốc độ của rôto .

Tổn hao trong mạch rôto:

$$\Delta P = P_{dt} - P_2 = M (\omega_1 - \omega_2) = 3 I_2^2 r_2$$

Lập tỷ số:

$$\frac{P_{dt} - P_2}{P_{dt}} = \frac{M(\omega_1 - \omega_2)}{M\omega_1} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = s$$

Hay: $P_{dt}s = 3 I_2^2 r_2$

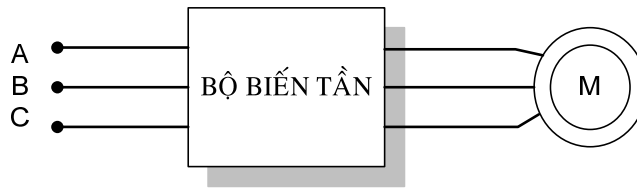
Từ đó:

$$s = \frac{3 I_2^2 r_2}{P_{dt}} = \frac{3 I_2^2 r_2}{M\omega_1} \quad (7-62)$$

Theo (7-26) rõ ràng khi r_2 tăng độ trượt s sẽ tăng và làm cho ω_1 sẽ giảm và ngược lại, nếu r_2 giảm, s giảm và ω_1 sẽ tăng lên.

7.10.4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách điều chỉnh tần số.

Từ (7-61) ta thấy tốc độ của động cơ phụ thuộc tuyến tính vào tần số f . Trong các hệ thống truyền động điện người ta thường sử dụng phương pháp biến tần để điều chỉnh tốc độ của động cơ, trong đó tần số của dòng điện stator được điều chế bằng một bộ biến tần công nghiệp (thường là biến tần trực tiếp). Nhờ vậy có thể điều chỉnh tốc độ quay của từ trường một cách trực tiếp nhờ biến tần (hình 7-22).



Hình 7-22. Biến tần điều chỉnh tốc độ

§ 7.7. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

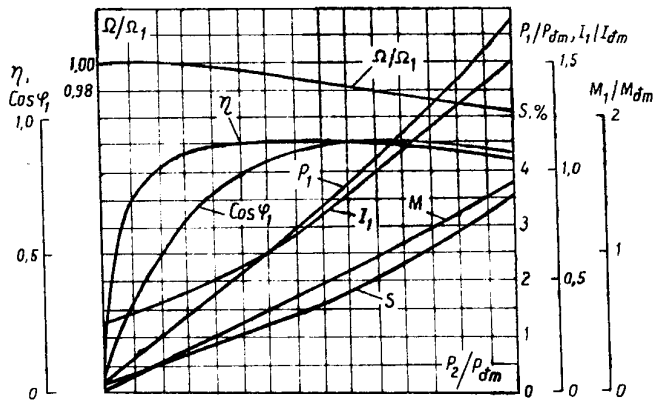
Mỗi động cơ khi chế tạo đều được thử nghiệm ở chế độ làm việc định mức để xác định các đại lượng đặc trưng sau:

- Công suất cơ hữu ích trên trục định mức P_{dm}
- Điện áp dây định mức U_{dm}
- Dòng điện dây định mức I_{dm}
- Tốc độ quay định mức n_{dm}
- Hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm}$
- Hiệu suất định mức η_{dm}

Tuy nhiên, khi làm việc với phụ tải thay đổi cần phải xác định các đặc tính làm việc của động cơ. Đó là sự phụ thuộc và mối quan hệ giữa các đại lượng tốc độ quay rôto n , hệ số $\cos\varphi$, hiệu suất η , mômen quay

TS. Lưu Thế Vinh

M , và dòng điện stator I_1 với công suất hữu ích trên trục động cơ P_2 khi điện áp U và tần số f ở stator không đổi. Trên hình (7-23) vẽ các đặc tính làm việc của động cơ, trong đó hiệu suất η , $\cos\varphi$ là các chỉ tiêu kinh tế, còn các đặc tính khác là các chỉ tiêu kỹ thuật.



Hình 7-23. Đặc tính làm việc của động cơ

7.7.1. Tốc độ quay $n = f(P_2)$.

Tốc độ quay của động cơ có liên hệ với hệ số trượt s theo biểu thức:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s) \quad (7-63)$$

Khi tải tăng, công suất P_2 trên trục động cơ tăng, mômen cản tăng lên, từ đường đặc tính mômen ta thấy hệ số s tăng lên làm tốc độ n của động cơ giảm xuống.

7.7.2. Hiệu suất $\eta = f(P_2)$.

Hiệu suất của động cơ được định nghĩa là:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (7-64)$$

P_2 là công suất cơ hữu ích trên trục động cơ. Trong thiết kế người ta thường tính toán sao cho hiệu suất đạt cực đại khi hệ số tải $k_t \approx 0,7$. Trong khoảng $k_t = 0,1 \div 1$ hiệu suất hầu như không đổi. Các động cơ công nghiệp có hiệu suất nằm trong khoảng $0,75 \div 0,95$.

7.7.3. Hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$.

Hệ số công suất của động cơ được định nghĩa là tỷ số giữa công

TS. Lưu Thế Vinh

suất tác dụng P_1 và công suất toàn phần S .

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (7-65)$$

Trong đó: P_1 là công suất tác dụng điện động cơ dùng để biến đổi sang công suất cơ P_2 . Q_1 là công suất phản kháng mà động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường quay.

Khi chạy không tải, công suất P_1 nhỏ, $\cos\varphi_0$ thấp khoảng từ 0,2 đến 0,3.

Khi chạy có tải, nếu tải tăng P_1 tăng, $\cos\varphi$ tăng và đạt giá trị định mức $\cos\varphi_{dm} = 0,8 \div 0,9$. Khi quá tải dòng điện vượt định mức, từ thông tản tăng, Q_1 tăng làm $\cos\varphi$ lại giảm xuống.

Từ đặc tính $\cos\varphi$ ta thấy không nên cho máy làm việc không tải hoặc non tải. Ngoài ra khi công suất P_2 tăng mômen quay M và dòng I_1 đều tăng.

§ 7.8. ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA.

7.8.1. Đặc tính chung.

Các động cơ công suất nhỏ từ vài trăm oát đến dưới một kilô oát thường được chế tạo dưới dạng 1 pha. Do dây quấn một pha chỉ tạo ra từ trường đập mạch nên động cơ 1 pha không thể tự khởi động được.

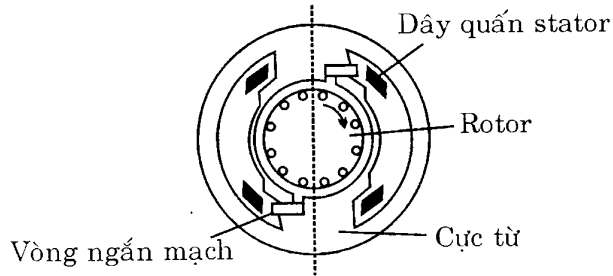
Để khởi động động cơ một pha cần phải tạo ra mômen mở máy bằng các biện pháp khác nhau sau đây:

- Dùng vòng ngắn mạch;
- Dùng dây quấn phụ kết hợp với tụ điện hoặc điện cảm.

7.8.2. Cấu tạo.

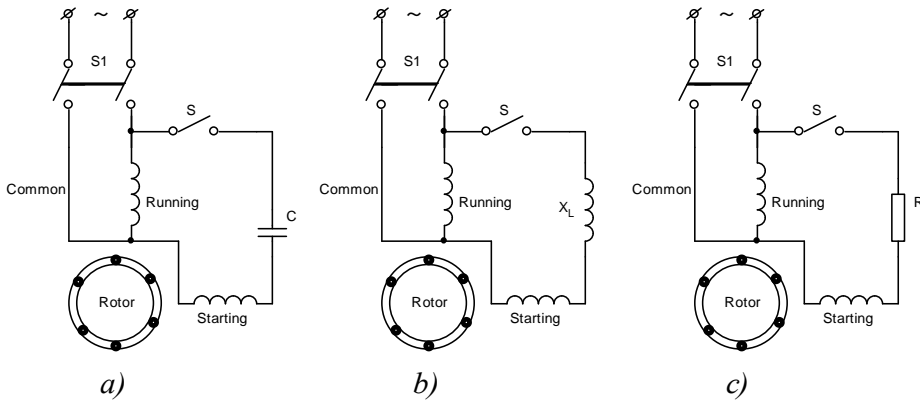
Cũng giống như các loại động cơ không đồng bộ, động cơ 1 pha có 2 phần chính : stator và rôtor

- Stator gồm vỏ máy, lõi thép và dây quấn. Lõi thép stator được làm từ các lá thép kỹ thuật ghép lại, phía bên trong có rãnh để đặt dây quấn 1 pha. Đối với loại động cơ 1 pha có vòng ngắn mạch, lõi thép stator không có rãnh mà có cực từ lõi, trên cực từ người ta xẻ rãnh và gắn một vòng đồng gọi là vòng ngắn mạch để tạo mômen mở máy. Dây quấn stator quấn xung quanh cực từ (hình 7-24).



Hình 7-24. Cấu tạo động cơ 1 pha có vòng ngắn mạch

Ngoài dây quấn chính, đối với động cơ 1 pha khởi động bằng tụ (hoặc bằng điện cảm L, điện trở R) còn có dây quấn phụ để mở máy (hình 7-25).

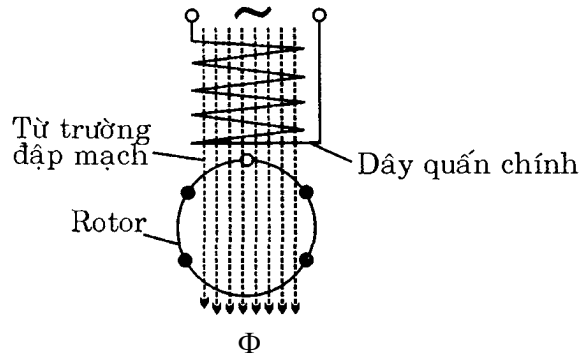


Hình 7-25. Khởi động bằng cuộn dây quấn phụ

- Rotor của động cơ không đồng bộ 1 pha thường là rôtor lồng sóc.

7.8.3. Nguyên lý làm việc.

Khi đặt điện áp xoay chiều một pha vào cuộn dây quấn chính, dòng điện xoay chiều sẽ sinh ra từ trường đập mạch Φ . Từ trường này có phương không đổi, giá trị thay đổi theo quy luật hình sin (hình 7-26)



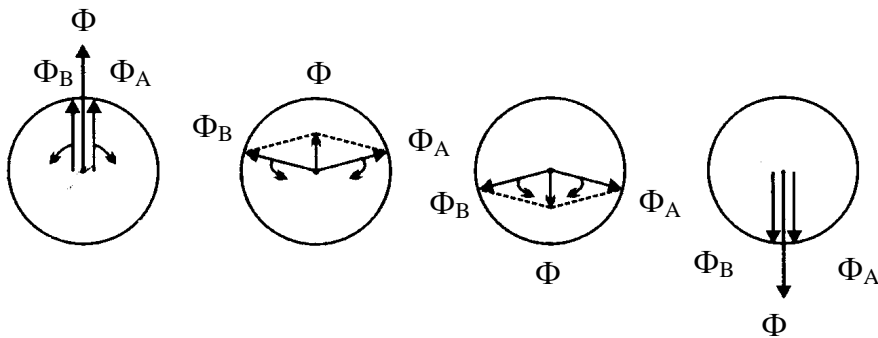
Hình 7-26.

Vì là từ trường đập mạch nên không thể tạo mômen quay và rôto sẽ đứng yên. Tuy nhiên nếu ta đẩy rôto theo một chiều nào đấy rôto sẽ tiếp tục quay và động cơ sẽ làm việc.

Thật vậy, ta hãy phân tích từ trường đập mạch Φ thành 2 thành phần Φ_A và Φ_B có biên độ bằng nhau, quay với cùng tốc độ góc ω nhưng theo 2 chiều ngược nhau (hình 7-27):

$$\Phi = \Phi_A + \Phi_B$$

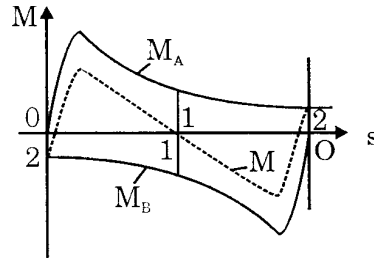
$$\Phi_A = \Phi_B = \frac{\Phi}{2}$$



Hình 7-27

Tác dụng của hai từ trường này sinh ra 2 mômen M_A và M_B tác dụng lên rôto theo hai chiều ngược nhau. Mômen tổng $M = M_A + M_B$ sẽ quyết định chiều quay của rôto.

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của mômen quay theo hệ số trượt s biểu diễn trên hình 7-28.



Hình 7-28

Từ đặc tính mômen quay ta thấy khi $s = 1$ (lúc mở máy) $M = 0$, nên động cơ không tự mở máy được. Nếu ta dùng tay đẩy rôtor theo chiều quay từ trường Φ_A mômen tác dụng lên rôtor sẽ khác không, và rôtor sẽ tiếp tục quay theo chiều quay của từ trường Φ_A . Ngược lại, nếu ta đẩy rôtor theo chiều Φ_B , động cơ sẽ quay theo chiều ngược lại.

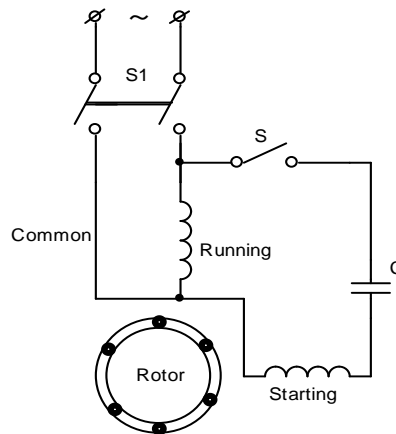
7.8.4. Mở máy động cơ không đồng bộ một pha.

Vì động cơ 1 pha không thể tự khởi động, nên cần phải tạo ra mômen mở máy bằng các biện pháp khác nhau: dùng dây quấn phụ kết hợp với tụ điện hoặc điện cảm, dùng vòng ngắn mạch.

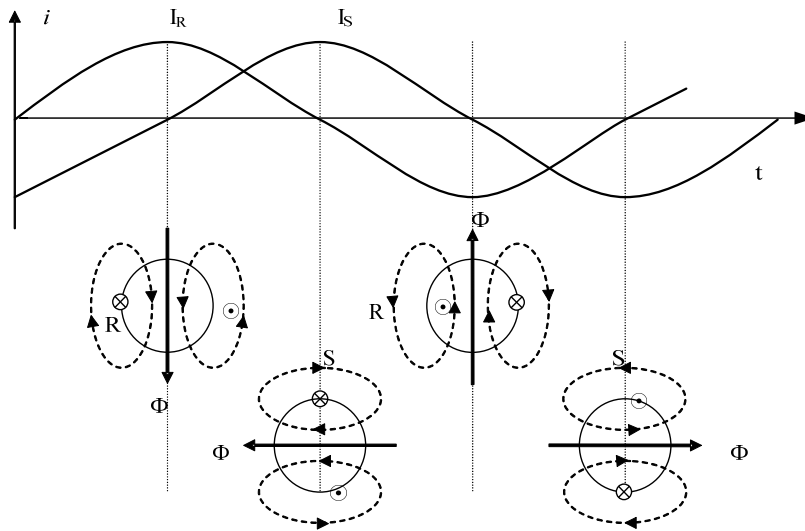
a) Dùng cuộn dây phụ mở máy (starting bobbin).

Sơ đồ bố trí 2 cuộn dây như hình 7-29. Cuộn dây chính còn gọi là cuộn dây chạy (running bobbin) là cuộn dây có tiết diện lớn, khi quấn đặt vào trước. Cuộn dây phụ còn gọi là cuộn đề (starting bobbin), làm bằng dây bé đặt bên ngoài và được bố trí lệch 90° so với cuộn chính để sao cho từ thông do nó sinh ra vuông góc với từ thông chính.

Để tạo sự lệch pha 90° giữa dòng điện trong 2 cuộn dây, người ta mắc nối tiếp với cuộn dây phụ một tụ điện C. Do cách bố trí 2 cuộn dây lệch nhau 90° và các dòng I_R và I_S lệch pha nhau $1/4$ chu kỳ, nên từ trường tổng hợp do chúng tạo ra là một từ trường quay (hình 7-30).



Hình 7-29



Hình 7-30. Sự hình thành từ trường quay

b) *Tụ điện trong mạch khởi động.*

Tụ điện được gắn trong cuộn dây khởi động có 2 dạng sau:

- + Dạng thường trực (running capacitor): Gắn thường trực trong mạch đề, mạch không cần khóa S. Tụ C phải là loại tụ dầu.
- + Dạng khởi động (starting capacitor): Tụ chỉ được nối vào mạch trong thời gian khởi động, sau khi mô tơ đã quay ổn định tốc độ (~ 75% tốc độ định mức) tụ được ngắt ra khỏi mạch bằng ngắt tự động S.

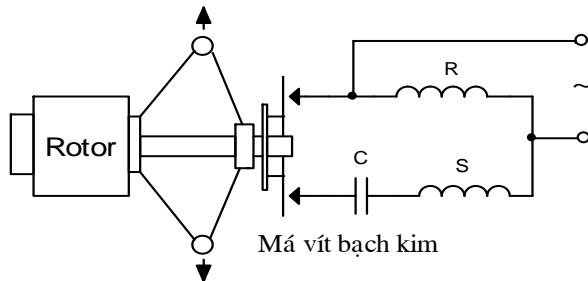
c) *Các kiểu ngắt điện dùng cho mạch khởi động.*

Ngắt điện có nhiệm vụ đóng, cắt mạch đề trong thời gian mở máy. Trong thực tế, tùy thuộc vào loại động cơ mà có các kiểu ngắt sau:

- Ngắt tự động kiểu ly tâm
- Ngắt tự động kiểu rơ le thế (Potential Relay),
- Ngắt tự động kiểu rơ le dòng (Current Relay).

1. *Ngắt tự động kiểu ly tâm.*

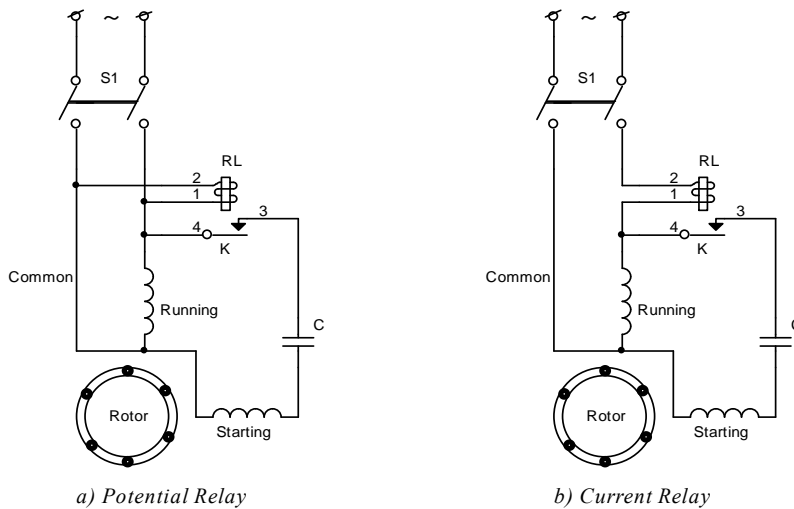
Loại ngắt này áp dụng phổ biến trong các động cơ dùng cho máy bơm hơi, bơm nước, máy mài, các loại mô tơ kéo. Hoạt động của ngắt dựa trên nguyên tắc ly tâm. Bộ phận ngắt được gắn trên trục quay có đối trọng 2 phía. Khi mô tơ quay, lực ly tâm kéo các đối trọng văng ra phía ngoài kéo theo má vít bạch kim ngắt mạch điện gắn tụ C (hình 7-31).



Hình 7-31. Ngắt kiểu ly tâm

2. Ngắt điện kiểu role thế (Potential Relay).

Cuộn dây relay mắc song song với mạch điện lưới. Khi khởi động, khoá K (tiếp điểm thường đóng NC – norman closed của relay) đóng nối tụ C vào mạch để tạo từ trường quay làm mô-tơ quay. Trong thời gian mở máy, dòng khởi động lớn làm sụt áp đầu nguồn lớn nên từ trường của cuộn relay yếu không đủ sức ngắt khoá K (hình 7-32, a).



Hình 7-32

Khi tốc độ động cơ đã ổn định, dòng khởi động giảm dần làm điện áp đầu nguồn trở lại giá trị định mức, cuộn dây relay đủ điện áp tác động hút lấy ngắt khoá K, Tụ C bị ngắt khỏi mạch để.

Loại ngắt này được dùng nhiều trong các động cơ máy lạnh, tủ lạnh, tủ đá.

1. Ngắt điện kiểu role dòng (Current Relay).

Cuộn dây relay mắc nối tiếp với mạch điện tải. Khoá K là tiếp thường mở NO (norman open) của relay (hình 7-32, b).

Khi đóng điện, dòng khởi động lớn làm cuộn dây relay đủ sức hút tiếp điểm đóng khoá K nối tụ C vào mạch đề.

Khi tốc độ động cơ đã ổn định, dòng khởi động giảm dần, cuộn dây relay không đủ lực tác động ngắt khoá K nhả mạch tụ C ra khỏi mạch đề.

2. Cách xác định các cuộn dây và các đầu dây của động cơ.

Động cơ có 2 cuộn dây được đấu lại để đưa ra 3 mối dây chính:

- Mối dây chung Common (C)
- Mối dây chính Running (R)
- Mối dây phụ Starting (S)

Dùng đồng hồ Ôm kế tiến hành đo luân phiên từng cặp 3 đầu dây, nếu 2 mối dây nào có điện trở nhỏ nhất sẽ là 2 dây chung (C) và dây chính (R), mối còn lại sẽ là dây đề (S).

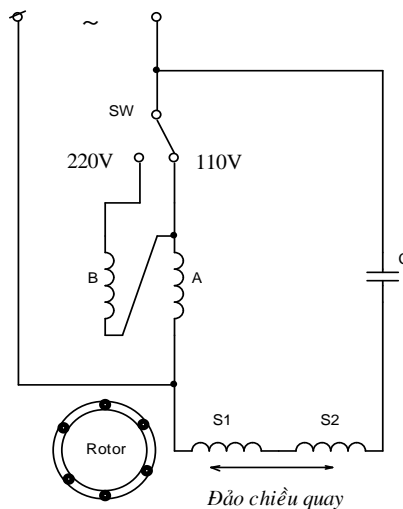
Đo giữa đầu dây đề (S) với 2 mối dây còn lại, mối nào có điện trở nhỏ hơn sẽ là dây chung (C), mối kia sẽ là dây chính (R).

3. Ví dụ về động cơ 1 pha khởi động bằng tụ.

Trên hình 7-33 là sơ đồ của một động cơ 1 pha, 2 cực, dùng điện 110V/220V với 2 cấp tốc độ 2800 và 3600 vg/ph.

Đặc điểm, động cơ có 2 lớp dây, mỗi lớp dây có 2 cuộn dây. Lớp dây đề thường mắc cố định nối tiếp 2 cuộn dây S₁ và S₂. Lớp dây chính gồm 2 cuộn dây A và B được đấu nối ra khoá chuyển mạch 110/220V.

Để đảo chiều quay của động cơ chỉ cần đảo ngược 2 đầu cuộn dây đề.



Hình 7-33

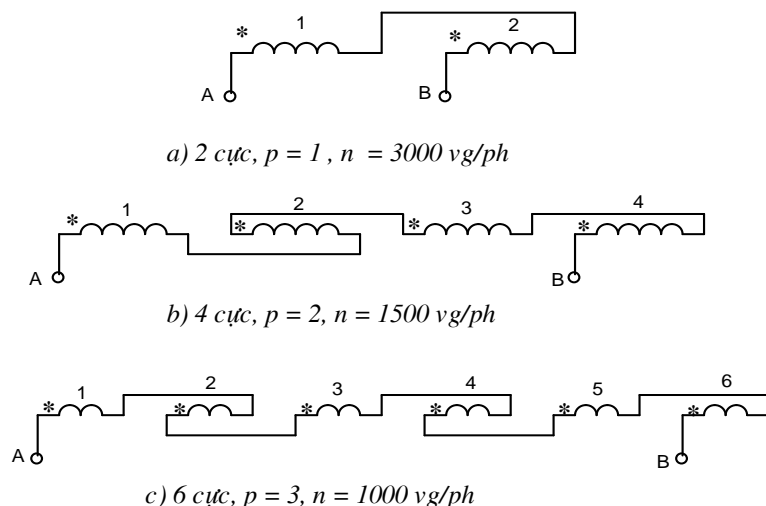
d) Điều chỉnh tốc độ động cơ.

Để điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ 1 pha người ta sử dụng phương pháp chủ yếu là thay đổi cách đấu nối các cuộn dây stator để điều chỉnh số cặp cực p theo công thức:

$$n = \frac{60 f}{p}$$

Cách đấu chủ yếu là mắc nối tiếp : đầu với đầu, cuối với cuối hay là đấu cùng đơn vị.

Ví dụ. Trên sơ đồ hình 7-34 cho 3 trường hợp ứng với các tốc độ 3000, 1500 và 1000 vg/ph.



Hình 7-34. Đấu nối điều chỉnh tốc độ động cơ

§ 7.9. ĐẤU VẬN HÀNH ĐỘNG CƠ 3 PHA LÀM VIỆC TRONG LƯỚI ĐIỆN 1 PHA

7.9.1. Đặc điểm.

Trong thực tế nhiều trường hợp chúng ta phải xử lý các sự cố do mất điện 1 pha hoặc 2 pha khi đang vận hành động cơ 3 pha, hoặc đơn giản muốn sử dụng động cơ 3 pha trong lưới điện 1 pha để sản xuất.

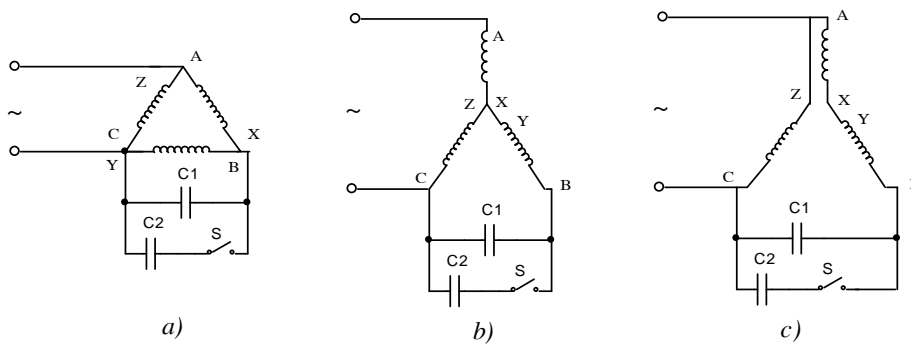
Khi động cơ 3 pha đang vận hành mà mất điện một pha, nếu tải nhẹ khoảng 30% P_{dm} thì động cơ vẫn có thể làm việc bình thường. Nhưng ở tình trạng này động cơ sẽ không thể tự khởi động được.

TS. Lưu Thế Vinh

Muốn sử dụng động cơ 3 pha để làm việc trong lưới điện 1 pha chúng ta phải sử dụng 1 cuộn pha (hoặc 2 cuộn pha) làm cuộn chạy (running), pha còn lại mắc nối tiếp với tụ điện để làm cuộn đề (starting). Khi đấu lại như vậy động cơ sẽ có các đặc tính cần lưu ý sau:

- Công suất của động cơ đạt tối đa $(70 \div 80) \% P_{dm}$
- Cường độ dòng điện chạy trong 3 cuộn dây pha không cân bằng.
- Khi chạy không tải, dòng I_C qua tụ cao hơn bình thường và đạt khoảng $(120 \div 140) \% I_{dm}$ nhưng khi chạy có tải dòng này sẽ giảm xuống.

7.9.2. Một số sơ đồ mắc.



Hình 7-35. Đấu vận hành động cơ 3 pha trong lưới điện 1 pha

a) Động cơ 3 pha 220/380V mắc vào lưới 220V (đấu tam giác)

b) Động cơ 3 pha 127/220V mắc vào lưới điện 220V (đấu hình sao).

c) Động cơ 127/220V đấu vào lưới điện 220V.

Chương 8. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

§ 8.1. CÁC KHÁI NIỆM CHUNG.

8.1.1. Định nghĩa, phân loại.

Máy điện đồng bộ là các máy điện xoay chiều có tốc độ quay n của rôtor không đổi bằng tốc độ quay của từ trường, được xác định theo số cặp cực p và tần số f của dòng điện:

$$n = \frac{60 f}{p} \quad (8-1)$$

Theo nguyên lý thuận nghịch, máy điện đồng bộ có thể vận hành theo chế độ máy phát điện hoặc chế độ động cơ.

Máy điện đồng bộ chủ yếu được sử dụng để làm máy phát điện. Hiện nay, tuyệt đại bộ phận điện năng sử dụng trong công nghiệp và đời sống là năng lượng điện từ do các máy phát điện đồng bộ cung cấp trong đó động cơ sơ cấp là các tuýc bin hơi, tuýc bin khí hoặc tuýc bin nước.

Trong truyền động điện công suất lớn từ vài trăm kW trở lên người ta sử dụng động cơ điện không đồng bộ. Trong công nghiệp luyện kim, khai khoáng, thiết bị lạnh động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió, ... với tốc độ không đổi. Các động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các đồng hồ điện, thiết bị tự ghi, thiết bị lập trình, v.v...

Trong các hệ thống điện, máy điện đồng bộ dùng làm máy phát công suất phản kháng để bù và nâng cao hệ số công suất cho lưới điện.

8.1.2. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ.

Máy phát điện đồng bộ được cấu tạo từ 3 bộ phận chính là phần cảm, phần ứng và phần kích từ.

a) Phần cảm.

Thường đặt trên rotor của máy điện, trên rotor có hệ thống dây quấn có dòng điện một chiều chạy qua để tạo thành một nam châm điện. Từ thông của phần cảm sinh ra phải đủ mạnh và ổn định. Số cực từ của phần cảm sẽ quy định tốc độ quay của rotor và tần số của dòng điện. Với dòng điện công nghiệp tần số 50Hz, theo (8-1) ta thấy:

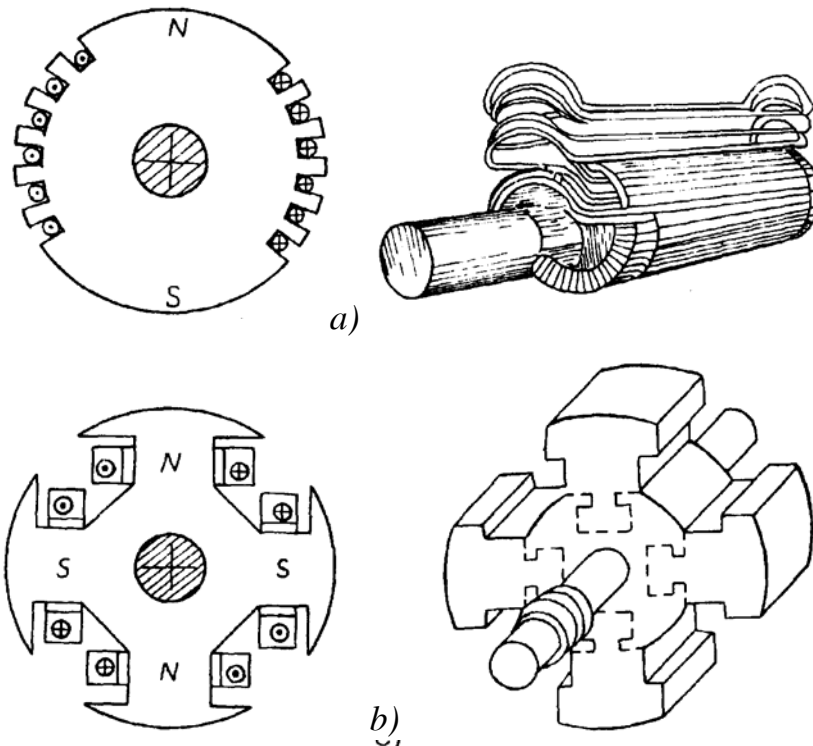
$$p = 1 \text{ (2 cực)} \rightarrow n = 3000 \text{ vg/ph}$$

$$p = 2 \text{ (4 cực)} \rightarrow n = 1500 \text{ vg/ph}$$

$$p = 3 \text{ (6 cực)} \rightarrow n = 1000 \text{ vg/ph}$$

v.v....

Với các máy phát 2 cực ($p = 1$) tốc độ cao, rotor phải làm dạng cực ẩn, lõi thép rotor có xẻ rãnh để đặt dây quấn (hình 8-1, a).



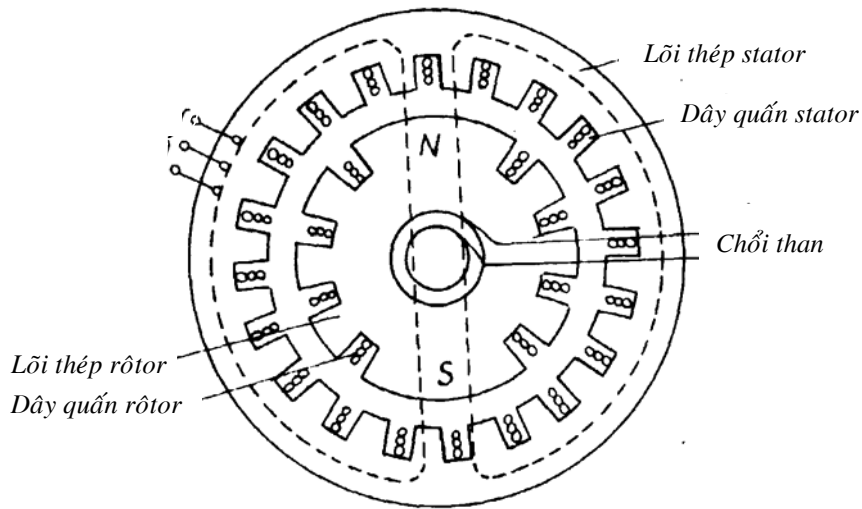
Hình 8.1. Phân cảm của máy phát điện đồng bộ.

Các máy phát điện đồng bộ nhiều cực ($p > 2$) có tốc độ quay thấp thường làm ở dạng cực lồi. Mỗi cực là một lõi thép được chế tạo có hình dạng đặc trưng để đặt dây quấn sao cho từ trường tạo ra có phân bố ở đầu cực dạng hình sin (hình 8-1, b).

b) Phần ứng.

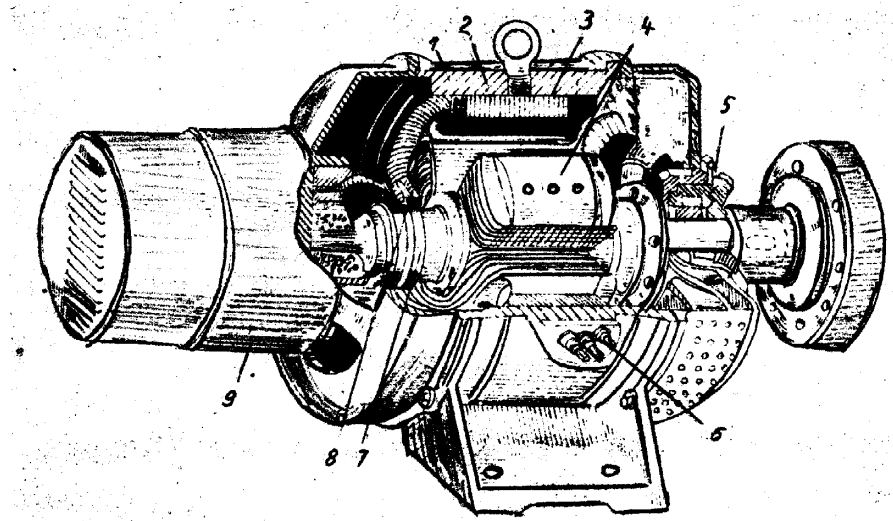
Phần ứng của máy phát điện xoay chiều gồm 3 cuộn dây đặt lệch nhau 120° trong không gian cố định trên các rãnh của mạch từ trên stator. Cấu tạo của mạch từ và cách bố trí các cuộn dây tương tự như máy điện không đồng bộ (hình 8-2).

c) Phần kích từ. Có nhiệm vụ tạo ra dòng điện một chiều cung cấp cho dây quấn phần cảm để tạo ra từ trường kích từ.



Hình 8-2. Mặt cắt ngang lõi thép của máy điện đồng bộ

Phần lớn các máy phát điện xoay chiều công suất lớn hiện nay thì phần kích từ là một máy phát điện một chiều đặt đồng trục với máy phát xoay chiều. Dòng một chiều từ máy kích từ qua 2 chổi than tiếp xúc với vòng trượt đặt trên trục nối vào dây quấn phần cảm. Toàn bộ cấu tạo của một máy phát điện đồng bộ rotor cực lõi vẽ trên hình 8-3.

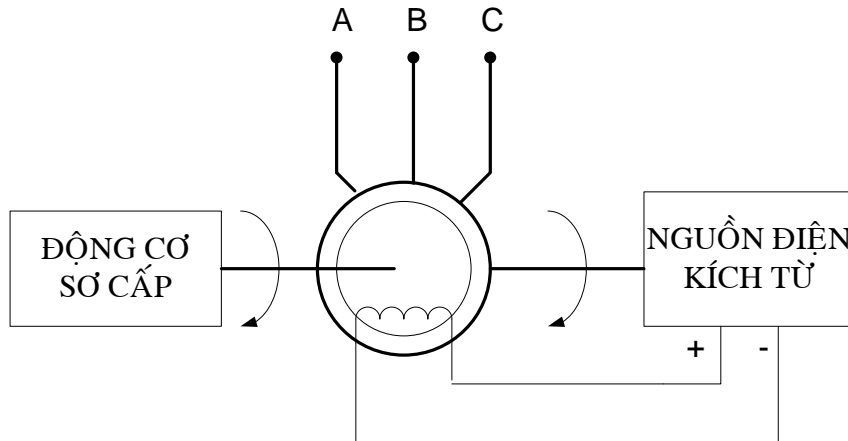


Hình 8-3. Các bộ phận chính của máy phát điện rotor cực lõi

1 - Thân máy, 2 - Lõi thép stator, 3 - Cuộn dây stator, 4 - Rôtor,
5 - Quạt gió, 7 - Đầu dây ra, 8 - Chổi than, 9 - Máy kích từ

§ 8.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trên hình 8-4 minh họa sơ đồ nguyên tắc làm việc của tổ hợp máy phát điện đồng bộ.



Hình 8-4. Sơ đồ nguyên tắc làm việc của máy phát điện

Tổ hợp 3 máy: động cơ sơ cấp, máy phát kích từ và rô to máy phát được nối đồng trục với nhau. Động cơ sơ cấp dùng để quay máy phát điện và nguồn kích từ. Ở các nhà máy thủy điện động cơ sơ cấp là các tuýcbin nước, còn ở nhà máy nhiệt điện là các tuýcbin hơi. Động cơ sơ cấp có thể là các động cơ điêzen hoặc tuýcbin khí.

Nguồn kích từ thường là một máy phát điện một chiều cung cấp dòng một chiều cho cuộn dây kích từ của máy phát. Đối với các máy phát công suất nhỏ nguồn kích từ là một bộ chỉnh lưu lấy dòng xoay chiều từ phần ứng qua bộ chỉnh lưu bán dẫn để cấp dòng cho cuộn dây phần cảm. Các máy phát loại này gọi là máy phát xoay chiều tự kích.

Khi động cơ sơ cấp quay rôto, cuộn kích từ của phần cảm có dòng một chiều sẽ biến thành một nam châm điện quay với tốc độ n . Từ trường của rôto quét qua dây quấn phần ứng trên stator và cảm ứng trên nó sức điện động xoay chiều hình sin. Nếu phần cảm có p cặp cực, tốc độ quay của rôto là n thì dòng cảm ứng sẽ có tần số:

$$f = \frac{p n}{60} \quad (8-2)$$

Tương tự như máy điện không đồng bộ, s.đ.đ. cảm ứng trong mỗi pha dây quấn có trị hiệu dụng:

$$E_o = 4,44 f W k_{dq} \Phi_o \quad (8-3)$$

Trong đó Φ_o là từ thông dưới mỗi cực từ, W là số vòng dây một

pha, k_{dq} là hệ số dây quấn.

Nếu máy phát điện đồng bộ là máy 3 pha, trong dây quấn phần ứng sẽ có sức điện động 3 pha. Khi máy phát mang tải, dòng điện 3 pha trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ:

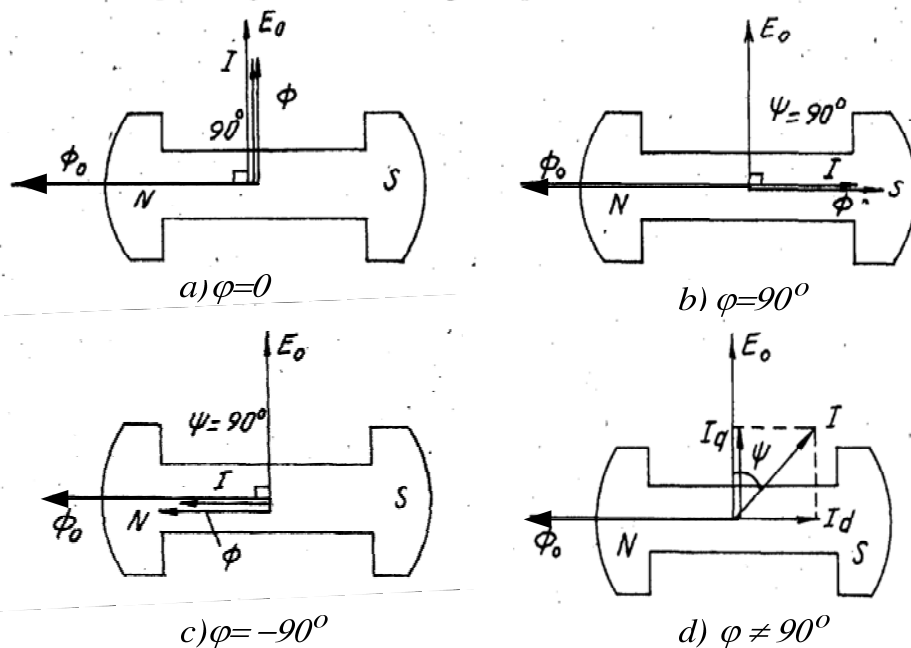
$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (8-4)$$

Ta thấy tốc độ từ trường quay n_1 bằng tốc độ quay rotor n . Do đó máy phát gọi là máy phát đồng bộ.

§ 8.3. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi máy phát điện làm việc, rotor quay làm cho từ trường kích từ Φ_0 của phần cảm cắt dây quấn stator và tạo ra trong mỗi pha của dây quấn stator một s.đ.đ cảm ứng E_0 . Dây quấn stator nối với tải cung cấp dòng tải I lại tạo ra từ trường phần ứng Φ . Từ thông phần ứng Φ luôn quay đồng bộ với từ thông phần cảm Φ_0 . Tác dụng của từ trường phần ứng Φ lên từ trường của cực từ phần cảm Φ_0 được gọi là phản ứng phần ứng.

Trong mọi trường hợp Φ_0 luôn có phương trùng với trục rôto, có chiều đi ra từ cực bắc N . Sức điện động E_0 luôn chậm pha so với Φ_0 một góc 90° , còn từ thông phần ứng Φ do dòng điện tải I sinh ra luôn cùng pha với I . Như vậy góc lệch pha giữa E_0 và I sẽ phụ thuộc vào tính chất của phụ tải.



Hình 8-4. Phản ứng phần ứng

Trường hợp tải thuần trở (hình 8-4, a). E_0 và I cùng pha, tác dụng của Φ

lên Φ_0 trong trường hợp này gọi là phản ứng phần ứng ngang trục. Phản ứng này làm méo dạng từ trường Φ_0 làm cho sự phân bố của từ trường Φ_0 trong khe không còn dạng sin nữa.

Trường hợp tải thuần cảm (hình 8-4, b), I chậm pha sau E_0 một góc 90° . Lúc này Φ cùng pha với I và ngược chiều với Φ_0 . Tác dụng của Φ lên Φ_0 được gọi là phản ứng phần ứng dọc trục khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng.

Trường hợp tải điện dung (hình 8-4, c), I vượt trước E_0 một góc 90° . Lúc này Φ cùng pha với I và Φ_0 . Tác dụng của Φ lên Φ_0 trong trường hợp này gọi là phản ứng phần ứng dọc trục trợ từ. Phản ứng này làm tăng từ trường tổng.

Trong trường hợp tải bất kỳ (hình 8-4, d), dòng I lệch pha so với E_0 một góc ψ . Ta có thể phân tích I thành hai thành phần:

- Thành phần ngang trục $I_q = I \cos \psi$ tạo ra từ thông phần ứng ngang trục Φ_q vuông góc với Φ_0 có tác dụng làm méo dạng từ thông chính.

- Thành phần dọc trục $I_d = I \sin \psi$ tạo ra từ thông dọc trục Φ_d ngược chiều hoặc cùng chiều với Φ_0 tùy thuộc tính chất phụ tải là điện cảm hay điện dung. Khi phụ tải có tính điện cảm $\psi > 0$, Φ_d ngược chiều với Φ_0 . Khi phụ tải có tính điện dung $\psi < 0$, Φ_d cùng chiều với Φ_0 và làm tăng từ trường của máy điện.

§ 8.4. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.4.1. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi.

Khi máy phát làm việc, từ trường kích từ Φ_0 sinh ra s.đ.đ E_0 trong dây quấn stator. Khi máy có tải sẽ có dòng I và điện áp U trên tải. Đối với máy phát rôto cực lồi do khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau, nên phản ứng phần ứng theo hai hướng sẽ khác nhau.

Từ trường chính phần ứng ngang trục tạo ra s.đ.đ. ngang trục \dot{E}_{uq} :

$$\dot{E}_{uq} = -j\dot{I}_q X_{uq}$$

Trong đó X_{uq} là điện kháng phản ứng phần ứng ngang trục.

Từ trường phản ứng phần ứng dọc trục \dot{E}_{ud} :

$$\dot{E}_{ud} = -j\dot{I}_d X_{ud}$$

Trong đó X_{ud} là điện kháng phản ứng phần ứng dọc trục.

Ngoài ra trong máy còn có từ thông tản của dây quấn stator được đặc trưng bằng điện kháng tản X_l không phụ thuộc hướng dọc trục hay ngang trục

làm xuất hiện s.đ.đ \dot{E}_t :

$$\dot{E}_t = -j\dot{I}X_t = -j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t$$

Ta có phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện cực lồi:

$$\begin{aligned}\dot{U} &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_{ud} - j\dot{I}_q X_{uq} - j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t - \dot{I}R_u \\ &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d (X_{ud} + X_t) - j\dot{I}_q (X_{uq} + X_t) - \dot{I}R_u \\ &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q - \dot{I}R_u\end{aligned}$$

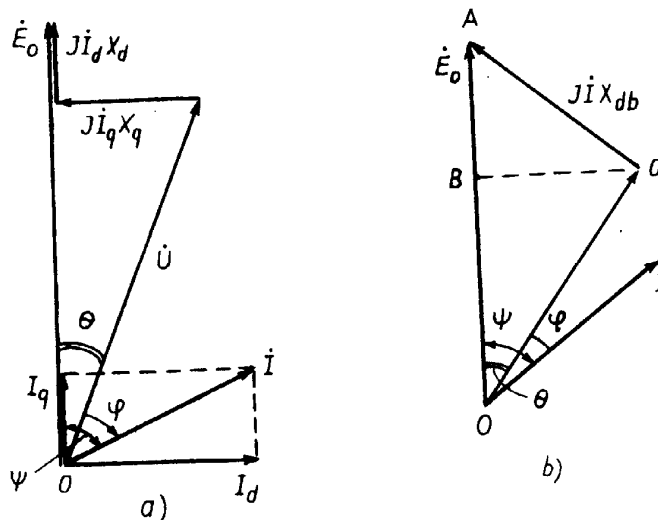
Trong đó: $X_d = X_{ud} + X_t$ là điện kháng đồng bộ dọc trục

$X_q = X_{uq} + X_t$ là điện kháng đồng bộ ngang trục

Nếu bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phần ứng $\dot{I}R_u$, ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q \quad (8-5)$$

Đồ thị véc tơ biểu diễn trên hình (8-5, a).



Hình 8-5

8.4.2. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực ẩn.

Đối với máy phát điện cực ẩn là trường hợp đặc biệt của máy điện cực lồi, khi đó $X_d = X_q = X_{db}$ gọi là điện kháng đồng bộ. Phương trình điện áp của máy điện sẽ là:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_{db} - \dot{I}_u R_u \quad (8-6)$$

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phần ứng ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_{db} \quad (8-7)$$

Đồ thị véc tơ trên hình (8-5, b)

§ 8.5. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỬ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.5.1. Công suất tác dụng của máy phát điện.

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho phụ tải là:

$$P = mUI \cos \varphi \quad (8-8)$$

Trong đó: U, I là điện áp và dòng điện pha

m là số pha của máy phát

Từ đồ thị véc tơ hình (8-5, a) ta có : $\varphi = \psi - \theta$, do đó :

$$\begin{aligned} P &= mUI \cos(\psi - \theta) = mUI(\cos \psi \cos \theta + \sin \psi \sin \theta) \\ &= mUI \cos \psi \cos \theta + mUI \sin \psi \sin \theta \end{aligned}$$

Mặt khác $I \cos \psi = I_q$, $I \sin \psi = I_d$, từ đồ thị véc tơ hình (8-5, a) ta có:

$$I_q = \frac{U \sin \theta}{X_d}, \text{ và } I_d = \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_d} \quad (8-9)$$

Từ đó ta rút ra:

$$\begin{aligned} P &= mU \frac{U \sin \theta}{X_q} \cos \theta + mU \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_d} \sin \theta \\ &= mU \frac{E_0}{X_d} \sin \theta + mU^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin \theta \cos \theta \end{aligned}$$

$$\text{Và : } P = mU \frac{E_0}{X_d} \sin \theta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (8-10)$$

Ta thấy công suất điện từ gồm 2 thành phần:

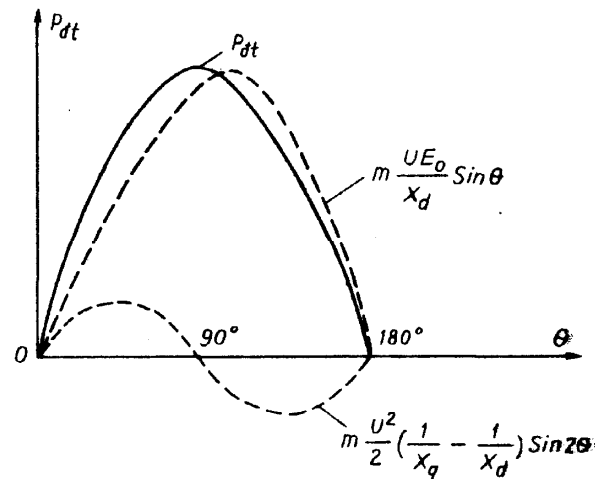
- Thành phần thứ nhất : $P_1 = mU \frac{E_0}{X_d} \sin \theta$ tỷ lệ với $\sin \theta$ và phụ thuộc

vào dòng điện kích từ (vì E_0 do dòng kích từ tạo nên). Đây là thành phần công suất chủ yếu của máy phát.

- Thành phần thứ hai: $P_2 = m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$ không chứa E_0 nên

không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ có ở máy phát điện rôto cực lõi (vì $X_d \neq X_q$). Đối với máy điện cực ẩn, $X_d = X_q$ nên thành phần này bằng không.

Như vậy đối với máy phát rôto cực lõi công suất điện từ gồm cả 2 thành phần P_1 và P_2 , còn đối với máy phát rôto cực ẩn công suất điện từ chỉ có thành phần thứ nhất. Đồ thị biểu diễn $P = P(\theta)$ gọi là đặc tính góc công suất (hình 8-6). Máy phát làm việc ổn định với giá trị của θ nằm trong khoảng từ $0 \div \pi/2$. Khi tải định mức $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$.



Hình 8-6. Đặc tính góc công suất.

8.5.2. Công suất phản kháng của máy phát điện.

Công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ là:

$$Q = mUI \sin \varphi = mUI \sin(\psi - \theta) = m[UI \sin \psi \cos \theta - UI \cos \psi \sin \theta] \quad (8-11)$$

Từ đồ thị véc tơ hình (8-5, b) ta có:

$$IX_{db} \sin \psi = AB = OA - OB = E_0 - U \cos \theta$$

hay
$$I \sin \psi = \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_{db}}$$

và
$$IX_{db} \cos \psi = BC = U \sin \theta$$

hay
$$I \cos \psi = \frac{U \sin \theta}{X_{db}}$$

Từ đó:
$$Q = m \left[U \left(\frac{E_0 - U \cos \theta}{X_{db}} \right) \cos \theta - U \left(\frac{U \sin \theta}{X_{db}} \right) \sin \theta \right]$$

$$Q = m \frac{UE_0}{X_{db}} \cos \theta - m \frac{U^2}{X_{db}} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)$$

$$Q = \frac{mUE_0 \cos \theta}{X_{db}} - \frac{mU^2}{X_{db}} = \frac{mU}{X_{db}} (E_0 \cos \theta - U) \quad (8-12)$$

Biểu thức (8-12) là công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ.

8.5.3. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy điện

a) Điều chỉnh công suất tác dụng.

Máy phát biến đổi cơ năng thành điện năng, vì vậy muốn điều chỉnh công suất tác dụng P ta phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp (tuýcbin hơi hoặc tuýcbin khí, v.v....).

b) Điều chỉnh công suất phản kháng.

$$\text{Ta có: } Q = \frac{mU}{X_{ab}}(E_0 \cos\theta - U) \quad (8-13)$$

Khi giữ cho U, f và P không đổi thì có thể xảy ra các trường hợp sau:

- Nếu $E_0 \cos\theta > U$, thì $Q > 0$, máy phát công suất phản kháng cho tải, máy phát quá kích từ.
- Nếu $E_0 \cos\theta = U$, thì $Q = 0$, máy không phát công suất phản kháng.
- Nếu $E_0 \cos\theta < U$, thì $Q < 0$, máy nhận công suất phản kháng từ lưới để tạo ra từ trường, máy thiếu kích từ.

Như vậy, muốn thay đổi công suất phản kháng, phải thay đổi E_0 , nghĩa là phải điều chỉnh dòng kích từ. Muốn tăng công suất phản kháng phải tăng dòng kích từ, vì tăng dòng kích từ thì E_0 sẽ tăng, $\cos\theta$ tăng (vì $E_0 \sin\theta = \text{const}$) do đó Q tăng.

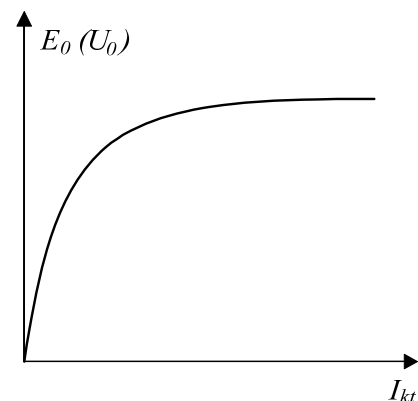
§ 8.6. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.6.1. Đặc tính không tải.

Là đường biểu diễn quan hệ giữa sức điện động E_0 và dòng điện kích từ I_{kt} khi giữ nguyên tốc độ của rôto. Khi không tải điện áp hở mạch ở hai đầu mỗi pha U_0 có giá trị bằng sức điện động pha E_0 . Như vậy đặc trưng không tải là đường biểu diễn:

$$U_0 = E_0 = f(I_{kt}) \text{ khi } n = \text{const} \quad (8-14)$$

Từ nguyên lý làm việc của máy phát ta có $E_0 = 4,44 f W k_{dq} \Phi_0$. Khi $n = \text{const}$ thì f không đổi, do đó $E_0 \propto \Phi_0$ còn Φ_0 phụ thuộc vào I_{kt} theo đường cong từ hóa của máy phát. Do đó đặc trưng không tải có dạng như đường cong từ hóa (hình 8-7). Khi tăng I_{kt} giá trị E_0 sẽ tăng lên. Độ dốc của đường đặc trưng phụ thuộc vào mạch từ của máy phát. Khi I_{kt} tăng đến một giá trị nào đó mạch từ bị bão hòa lúc đó E_0 sẽ không tăng nữa.

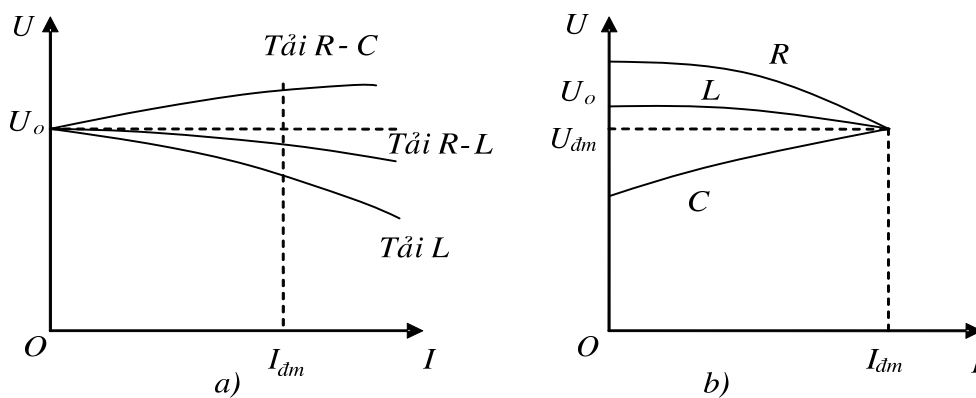


Hình 8-7

8.6.2. Đặc tính ngoài của máy phát.

Là sự phụ thuộc giữa điện áp pha U với dòng điện tải khi tính chất của phụ tải không đổi ($\cos\varphi_t = \text{const}$), tần số và dòng kích từ không đổi ($E_0 = \text{const}$). Từ phương trình điện áp (8-5), ta vẽ đồ thị véc tơ của máy phát ứng với các loại tải khác nhau. Ta thấy khi tải tăng, với tải điện cảm và điện trở, điện áp giảm (tải điện cảm điện áp giảm nhiều hơn), tải điện dung điện áp tăng. Bằng đồ thị ta thấy điện áp máy phát phụ thuộc vào dòng điện và đặc tính của tải.

Hình 8-8, a là đặc tính ngoài của máy phát khi $I_{kt} = \text{const}$ ($E_0 = \text{const}$) và $\cos\varphi_t$ không đổi, ứng với các tải thuần R, L, C .



Hình 8 - 8 . Đặc tính ngoài của máy phát

Khi tải có tính điện cảm, phản ứng phần ứng dọc trục khử từ làm từ thông tổng giảm, do đó đặc tính ngoài dốc hơn tải điện trở. Để giữ cho điện áp U bằng định mức, phải thay đổi E_0 bằng cách điều chỉnh dòng kích từ. Đường đặc tính ngoài ứng với điều chỉnh kích từ sao cho $I = I_{dm}$ có $U = U_{dm}$ vẽ trên hình 8-8, b.

Độ biến thiên điện áp đầu cực của máy phát khi làm việc định mức so với khi không tải được xác định như sau:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% \quad (8-15)$$

Độ biến thiên $\Delta U\%$ của máy phát đồng bộ có thể đạt đến vài chục phần trăm vì điện kháng đồng bộ X_{db} khá lớn.

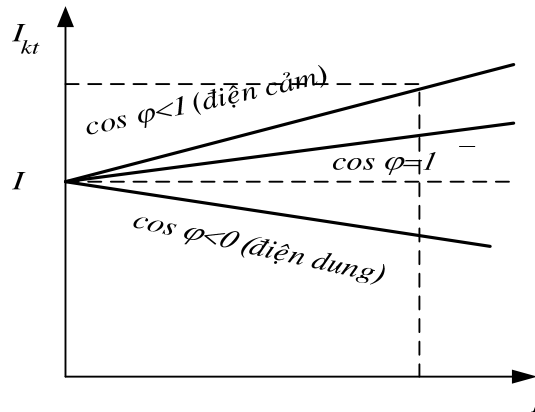
8.6.3. Đặc tính điều chỉnh của máy phát.

Đặc tính điều chỉnh là đường biểu diễn quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng tải khi điện áp U không đổi bằng điện áp định mức U_{dm}

và tính chất phụ tải không đổi ($\cos\varphi_t = \text{const}$). Nói cách khác đặc trưng này biểu diễn hàm số:

$$I_{kt} = f(I), \text{ khi } U = U_{dm} = \text{const và } \cos\varphi_t = \text{const}$$

Hình 8-9 vẽ đặc tính điều chỉnh của máy phát với các hệ số công suất khác nhau.



Hình 8-9. Đặc tính điều chỉnh

Phần lớn các máy phát điện đồng bộ đều có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ để giữ cho điện áp ra không đổi.

§ 8.7. HÒA MẠNG CÁC MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Để đảm bảo công suất đồng thời nâng cao tính ổn định của nguồn điện lưới, các máy phát điện thường được ghép song song với nhau và cùng hòa vào lưới điện chung. Muốn đóng mạch để các máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau phải thỏa mãn các điều kiện sau đây:

1. Điện áp của máy phát điện phải bằng và trùng pha với điện áp của mạng điện.
2. Tần số của máy phát điện phải bằng tần số của mạng điện.
3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

Ba điều kiện trên đây gọi là 3 điều kiện hòa đồng bộ, nếu không đảm bảo sẽ có dòng điện lớn chạy qua trong máy, phá hỏng và gây rối loạn hệ thống.

Để đóng máy phát điện vào lưới ta dùng thiết bị hòa đồng bộ. Hoạt động của hệ thống như sau: Trước hết đóng mạch cho động cơ sơ cấp vận hành và điều chỉnh tốc độ của nó sao cho gần bằng tốc độ định mức. Tiếp đến cho kích từ máy điện và quan sát số đo điện áp lỗi ra máy phát trên vôn mét, điều chỉnh điện áp bằng biến trở mạch kích từ cho tới khi điện áp lỗi ra

máy phát bằng điện áp của mạng. Dựa vào bộ điều tốc trên động cơ sơ cấp quan sát và điều chỉnh thật chính xác tần số của máy phát trên đồng hồ đo. Để thực hiện điều kiện thứ ba đồng thời cân bằng hoàn toàn tần số ta có thể sử dụng bộ đèn chỉ thị pha đồng bộ.

Khi máy phát điện đồng bộ vận hành song song với mạng thì tốc độ quay không thay đổi và bằng tốc độ đồng bộ của mạng.

Hiện nay, việc hòa điện đồng bộ được thực hiện bằng phương pháp tự đồng bộ như sau: Cho động cơ sơ cấp quay máy phát điện và điều chỉnh tốc độ sao cho gần bằng tốc độ đồng bộ. Nối cuộn dây kích từ bằng một điện trở phụ có giá trị lớn hơn điện trở cuộn kích từ 3 ÷ 5 lần. Đóng cầu dao cho máy phát nối vào mạng, sau đó chuyển cuộn kích từ vào nguồn kích từ, máy phát sẽ tự hòa đồng bộ vào lưới điện.

Ở Việt Nam hiện nay, đường dây 500kV Bắc Nam là lưới điện hòa mạng chung tất cả điện năng của các nhà máy điện lớn nhỏ trên toàn quốc.

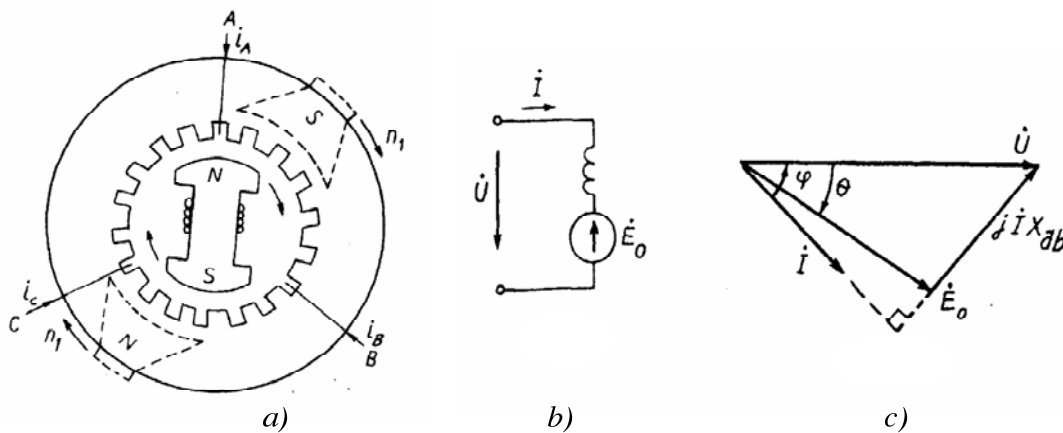
§ 8.8. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.8.1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ.

Máy điện đồng bộ có thể làm việc ở chế độ động cơ, nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ như sau:

Dòng điện 3 pha i_A, i_B, i_C đưa vào dây quấn stator sẽ tạo ra từ trường quay với tốc độ n_1 (vẽ bằng đường chấm chấm trên hình 8-10, a):

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$



Hình 8-10. a) Nguyên lý làm việc của động cơ đồng bộ
b) Sơ đồ thay thế động cơ đồng bộ
c) Đồ thị véc tơ

Dòng điện kích từ đưa vào dây quấn rôtor biến rôtor thành nam châm điện NS. Tác dụng giữa từ trường stator và từ trường rôtor sẽ tạo ra từ lực kéo rôtor quay với tốc độ đồng bộ $n = n_1$. Nếu $f = 50\text{Hz}$, $p = 2$ thì tốc độ quay của rôtor sẽ là $n = 1500$ vg/ph.

Nếu nối trực rôtor với máy công cụ thì máy công cụ cũng sẽ quay với tốc độ n không đổi. Phương trình cân bằng điện áp của động cơ:

$$\dot{U} = \dot{E}_o + j\dot{I}_d X_{db} + \dot{I}R_r \tag{8-16}$$

Bỏ qua điện trở dây quấn stator R_r ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_o + j\dot{I}_d X_{db} \tag{8-17}$$

Phương trình (8-17) biểu diễn bằng sơ đồ thay thế và giản đồ véc tơ trên hình (8-10, b, c).

8.8.2. Điều chỉnh hệ số công suất của động cơ điện đồng bộ.

Đồ thị véc tơ trên hình (8-10, c) ứng với trường hợp $\cos\varphi > 0$, máy điện thiếu kích từ, dòng điện I chậm pha sau điện áp U . Khi sử dụng không nên 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 giảm xuống.

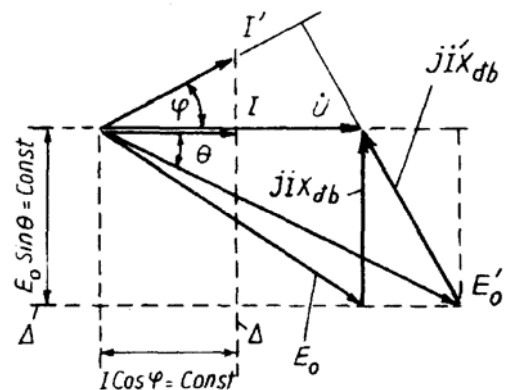
Trong công nghiệp, người ta cho động cơ làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng I vượt trước pha điện áp U , động cơ vừa tạo ra cơ năng vừa phát công suất phản kháng vào lưới điện làm tăng hệ số công suất $\cos\varphi$. Đó là ưu điểm rất lớn của động cơ điện đồng bộ.

Trên hình 8-11, a là giản đồ véc tơ mô tả sự điều chỉnh hệ số công suất ứng với 2 trường hợp:

Khi $\cos\varphi = 1$ ($\varphi = 0$), ứng với E_o và I .

Khi quá kích từ $\cos\varphi = 0,9$ ($\varphi < 0$), ứng với E_o' và I' .

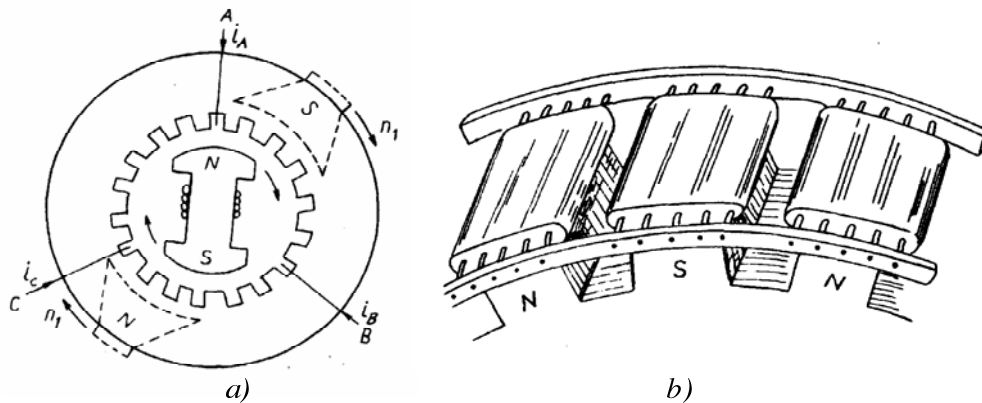
Vì U, f và P không đổi, nên $I \cos\varphi = \text{const}$, $E_o \sin\theta = \text{const}$, khi vẽ cần lưu ý cuối véc tơ I và E_o chạy trên đường Δ và Δ' .



Hình 8-11 Điều chỉnh hệ số công suất

8.8.3. Mở máy động cơ điện đồng bộ.

Động cơ không đồng bộ không thể tự mở máy. Muốn động cơ làm việc phải tạo ra mômen mở máy để quay rôtor đồng bộ với từ trường quay stator. Thật vậy, khi cho dòng 3 pha vào dây quấn stator, dòng kích từ vào dây quấn rôtor, từ trường quay kéo rôtor quay (hình 8-12). Nhưng rôtor có quán tính lớn nên vẫn đứng yên, do đó lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay stator và từ trường cực từ đối chiều, rôtor không thể quay được.



Hình 8-12. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Để tạo mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôtor người ta đặt các thanh dẫn và nối ngắn mạch như lồng sóc ở rôtor động cơ không đồng bộ (hình 8-12, b).

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở rôtor động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ. Trong công nghiệp, các động cơ không đồng bộ được chế tạo có hệ số mở máy $M_{mở}/M_{dm} = 0,8 \div 1,0$.

Trong quá trình mở máy, ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá vỡ dây quấn kích từ, vì thế người ta khép kín mạch kích từ bằng điện trở phóng điện có giá trị cỡ $6 \div 10$ lần điện trở dây quấn. Khi rôtor đạt tốc độ quay gần bằng tốc độ đồng bộ n_1 đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ. Với động cơ công suất nhỏ, khi mở máy có thể đóng trực tiếp dây quấn stator vào lưới điện. Với động cơ công suất lớn từ $3 \div 5\text{MW}$, phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào stator bằng cách dùng điện kháng hoặc tự biến áp nối vào mạch stator.

Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là quá trình mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ không đồng bộ.

Chương 9. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều là loại máy điện sử dụng với mạng điện một chiều, máy có thể vận hành ở chế độ máy phát hoặc chế độ động cơ.

Ngày nay, mặc dù kỹ thuật điện tử và bán dẫn cho phép tạo các bộ chỉnh lưu dòng điện xoay chiều công suất lớn để tạo nguồn một chiều, nhưng máy phát điện một chiều vẫn chiếm một số lượng quan trọng trong kỹ thuật và đời sống. Việc cung cấp điện một chiều để phục vụ các ngành công nghiệp hóa học như điện phân, đúc điện, mạ điện, nạp điện cho accu.

Động cơ điện một chiều có ưu điểm nổi bật về điều chỉnh tốc độ nên được sử dụng rộng rãi trong các máy công cụ như máy mài, máy doa trong các xưởng cơ khí, các máy xúc, máy đào trong xây dựng và khai thác mỏ, các động cơ điện một chiều chuyên dụng sử dụng trong ô tô, tàu hỏa, tàu thủy, máy bay v.v... trong giao thông vận tải.

Trong các thiết bị điều khiển và tự động, các máy điện khuếch đại, các động cơ chấp hành động cơ điện một chiều là thiết bị hết sức quan trọng.

Nhược điểm chủ yếu của máy điện một chiều là có cổ góp điện làm cho cấu tạo phức tạp, đắt tiền và kém tin cậy, nguy hiểm trong môi trường dễ cháy nổ.

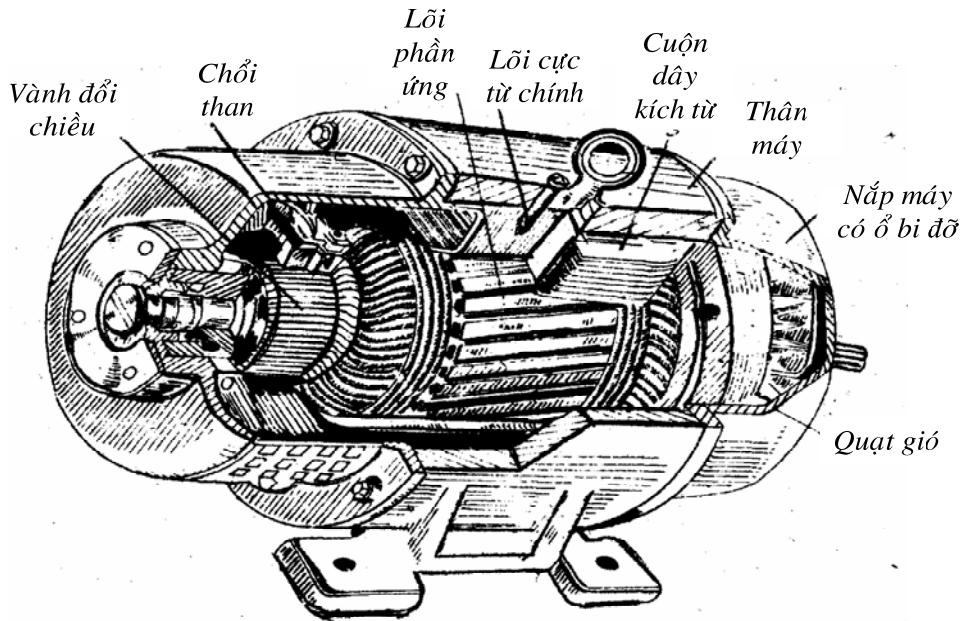
§ 9.1. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.1.1. Cấu tạo.

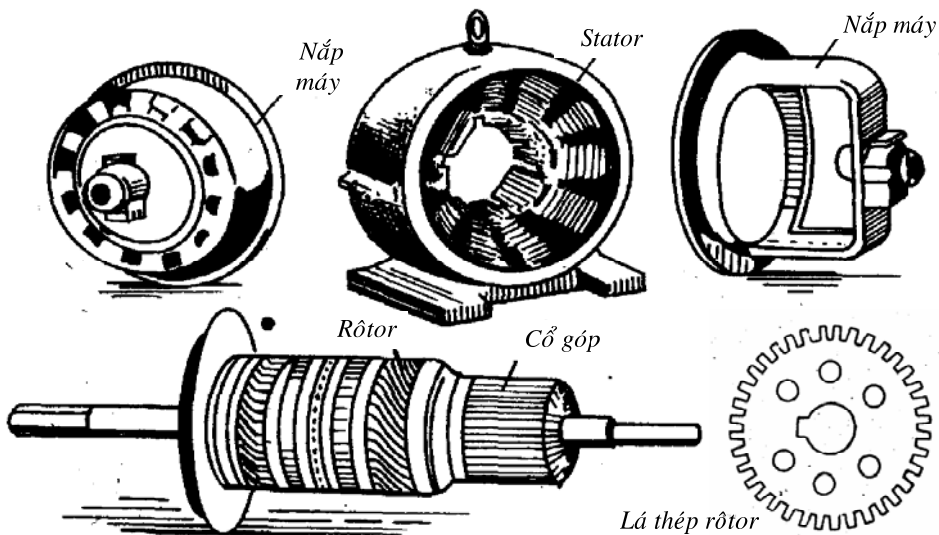
Sơ đồ bố cục của một máy điện một chiều trên hình 9-1. Các bộ phận chính chỉ ra trên hình 9-2. Cấu tạo của máy gồm 3 bộ phận chính: phần cảm, phần ứng và cổ góp điện (vành đổi chiều).

1) *Phần cảm.* Là stator (phần tĩnh) của máy bao gồm lõi thép đúc có cực từ chính và các cực từ phụ để đặt dây quấn kích từ (hình 9-2).

2) *Phần ứng.* Là rôto của máy điện, gồm lõi thép và dây quấn phần ứng. Lõi thép hình trụ được ghép từ các lá thép kỹ thuật dày 0,5mm cách điện với nhau. Các lá thép được dập có lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn phần ứng (hình 9-2).



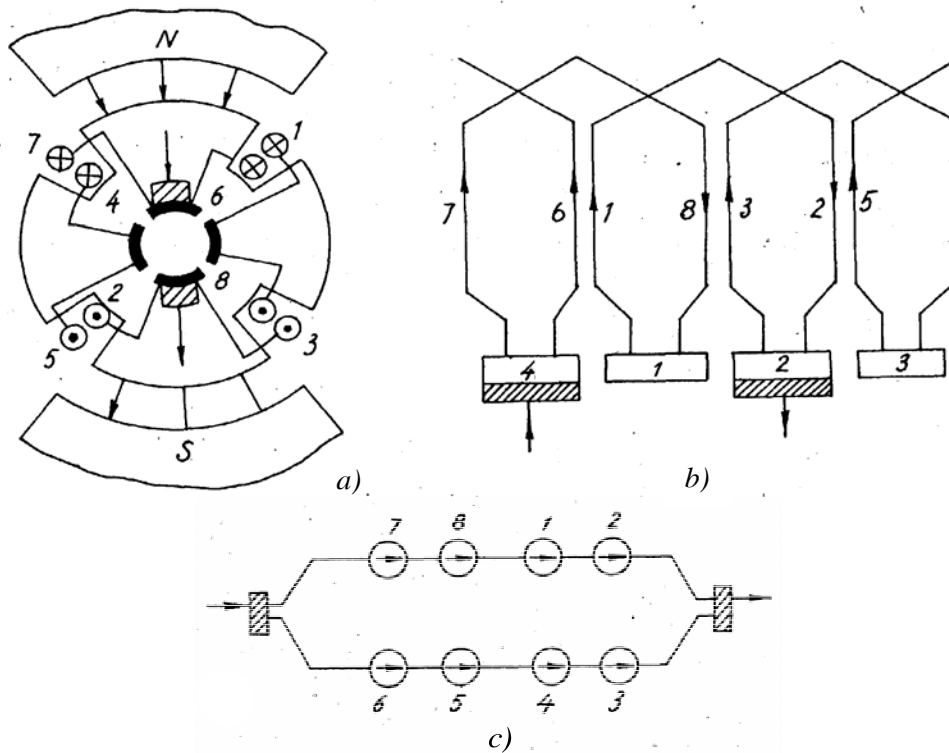
Hình 9-1. Cấu tạo máy điện một chiều



Hình 9-2. Các bộ phận chính của máy điện một chiều

Mỗi phần tử của dây quấn phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu nối với 2 phiến góp, hai cạnh tác dụng của phần tử dây quấn đặt trong 2 rãnh dưới 2 cực khác tên.

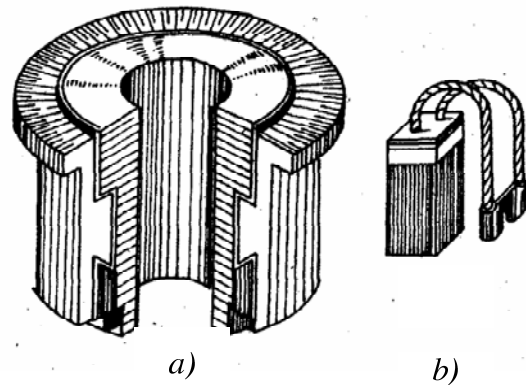
Trên hình 9-3, a, b vẽ 4 phần tử dây quấn xếp 2 lớp. Mỗi phần tử chỉ có một vòng dây, các phần tử được nối thành mạch vòng khép kín. Ở dây quấn xếp số nhánh song song bằng số cực từ. Dây quấn trên hình vẽ có 2 cực từ và có 2 nhánh song song (hình 9-3, c).



Hình 9-3

3) *Cổ góp điện và chổi than.*

Cổ góp điện hay vành đổi chiều được cấu tạo từ các phiến góp bằng đồng ghép cách điện với nhau trên lõi hình trụ. Sau khi lắp cổ góp được tiện tinh và mài nhẵn sao cho mặt ngoài có dạng hình trụ (hình 9-4, a).

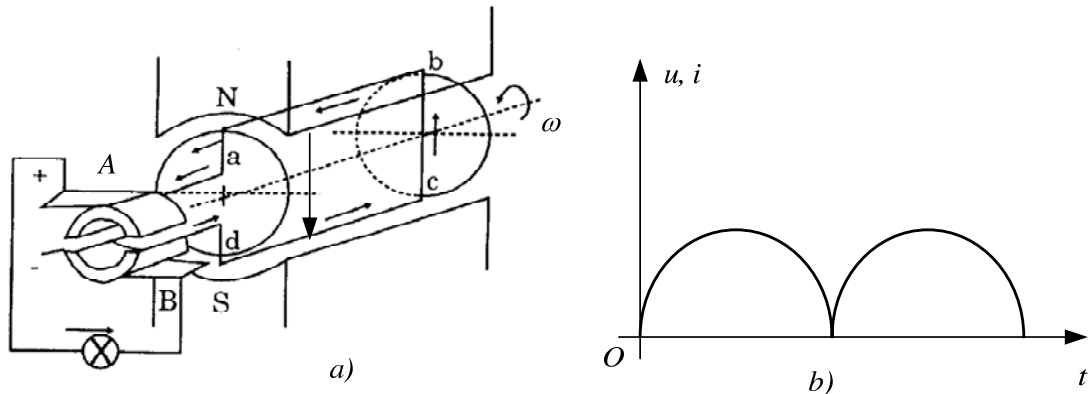


Hình 9-4. *Cổ góp (a) và chổi than (b)*

Chổi than làm bằng graphít được lắp vào trong một giá đỡ hình chữ nhật (hình 9-4, b). Chổi than khi đặt trong giá đỡ có thể di chuyển dọc theo trục của nó và được lò xo ép vào bề mặt vành đổi chiều khi gắn trên nắp ổ trục.

9.1.2. *Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.*

Để mô tả nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều ta dùng mô hình đơn giản trên hình 9-5. Trong mô hình này, dây quấn phần ứng mô tả đơn giản bằng một phần tử là khung dây abcd.



Hình 9-5. a) Mô hình máy phát điện một chiều
b) Dòng điện và điện áp đầu ra máy phát

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, khung dây quay với vận tốc không đổi. Các thanh dẫn của khung sẽ lần lượt cắt từ trường giữa 2 cực từ, trong các thanh dẫn sẽ xuất hiện các sức điện động cảm ứng, có chiều xác định theo quy tắc bàn tay phải. Trên hình vẽ chiều từ trường hướng từ trên xuống dưới, chiều quay khung ngược chiều kim đồng hồ, do đó ở thanh dẫn phía trên sđđ có chiều từ b đến a. Ở thanh dẫn phía dưới sđđ có chiều từ d đến c. Sđđ của phần tử bằng hai lần sđđ của thanh dẫn. Nếu nối 2 chổi điện A, B với tải, qua tải sẽ có dòng điện một chiều hướng từ A đến B.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh ab ở phía cực S, thanh dc ở phía cực N, sđđ trong các thanh dẫn đổi chiều. Nhờ hai chổi điện A và B tương ứng luôn từ lên phía đổi chiều của thanh dẫn dưới cực từ N và S, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài vẫn không đổi. Như vậy vành đổi chiều có tác dụng chỉnh lưu dòng điện xoay chiều trong dây quấn phần ứng thành dòng một chiều chảy qua tải. Dòng điện và điện áp có dạng đập mạch (hình 9-5, b). Để điện áp ít đập mạch dây quấn phần ứng phải có nhiều phần tử, nhiều phiến đổi chiều.

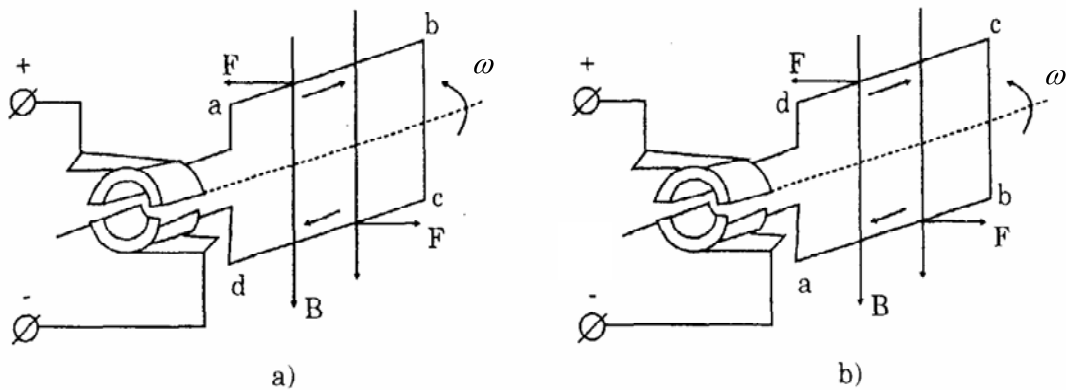
Ở chế độ máy phát, dòng điện phần ứng I_u cùng chiều với sđđ phần ứng E_u . Phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$U = E_u - I_u R_u \quad (9-1)$$

Trong đó $I_u R_u$ là điện áp rơi trong dây quấn phần ứng; R_u là điện trở của dây quấn phần ứng; U là điện áp đầu cực của máy phát; E_u là sđđ phần ứng.

9.1.3. Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

Chế độ làm việc của động cơ điện một chiều được mô tả trên sơ đồ nguyên lý hình 9-6.



Hình 9-6. Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

Khi cho điện áp một chiều vào hai đầu A,B qua chổi điện, trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện. Các thanh dẫn ab và cd có dòng nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của các lực từ F . Phương và chiều từ lực được xác định theo quy tắc bàn tay trái. Trên hình vẽ dễ thấy các lực từ F đặt vào các cạnh ab và cd có cùng độ lớn nhưng hướng ngược nhau nên sẽ tạo ra mômen làm cho rotor quay.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, và cd đổi chỗ cho nhau nhưng chiều dòng điện trong chúng được đảo lại do có phiến góp đổi chiều nên chiều từ lực tác dụng lên các cạnh khung dây vẫn không thay đổi, nhờ vậy chiều quay của động cơ là không đổi.

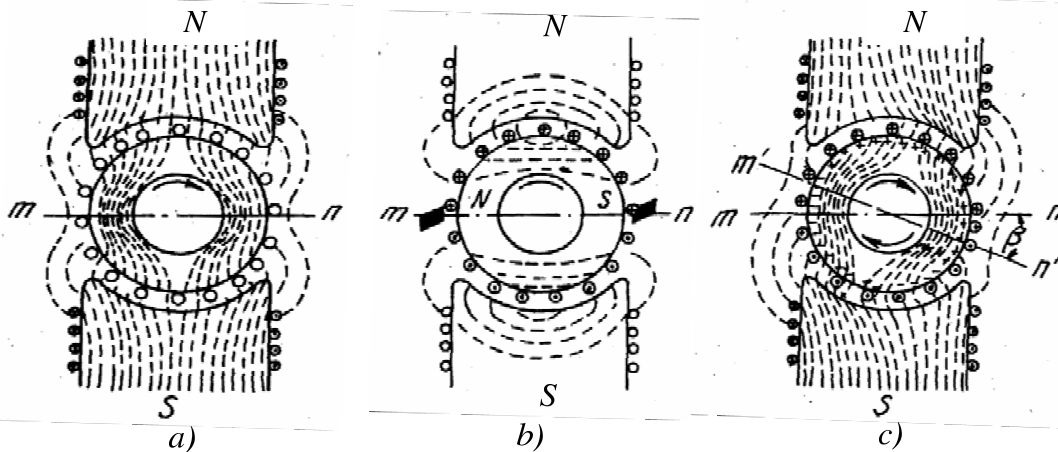
Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường làm cảm ứng trong chúng sđđ E_u có chiều xác định theo quy tắc bàn tay phải. Ở động cơ, chiều E_u ngược chiều với chiều dòng I_u , do đó E_u được gọi là sức phản điện động. Phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$U = E_u + I_u R_u \quad (9-2)$$

§ 9.2. TỪ TRƯỜNG VÀ SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.2.1. Từ trường của máy điện một chiều.

Khi chạy không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là từ trường cực từ. Từ trường cực từ phân bố đối xứng, ở trung tính hình học mn từ trường bằng 0 nên thanh dẫn khi ở vị trí này sđđ cảm ứng sẽ bằng 0 (hình 9-7, a).



Hình 9-7. Từ trường của máy điện một chiều

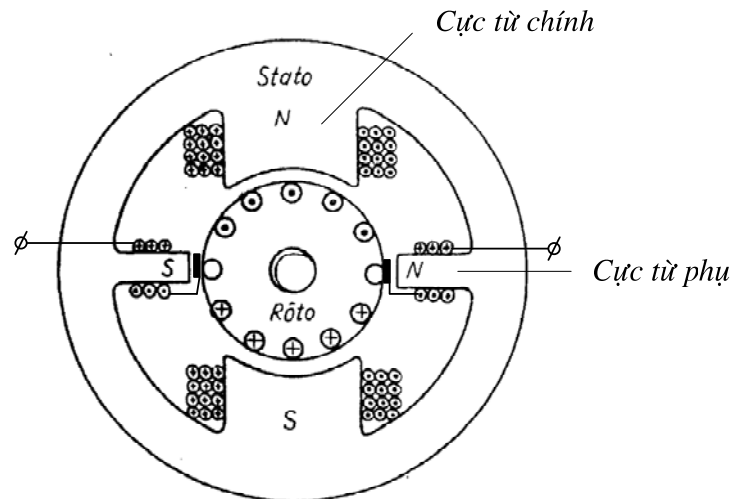
Khi máy điện chạy có tải, dòng cảm ứng I_r trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường phần ứng hướng vuông góc với từ trường cực từ (hình 9-7, b).

Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng. Từ trường tổng hợp trong máy là tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phần ứng (hình 9-7, c). Kết quả cho thấy từ trường trong máy bị biến dạng:

- Đường trung tính hình học mn dịch chuyển đến vị trí mới gọi là trung tính vật lý $m'n'$. Góc lệch β thường nhỏ và lệch theo chiều quay của rôto khi máy là máy phát điện, và ngược chiều quay của rôto khi máy là động cơ điện. Ở vị trí trung tính hình học từ trường $B \neq 0$, thanh dẫn chuyển động qua đó sẽ cảm ứng sđđ gây ảnh hưởng xấu đến việc đổi chiều.

- Khi tải lớn, dòng phần ứng lớn, từ trường phần ứng lớn, phần môm cực từ được tăng cường sẽ bị bão hòa nên từ cảm B ở đó tăng lên rất ít. Ngược lại, ở môm cực kia, từ trường giảm đi nhiều, kết quả là từ thông của máy bị giảm xuống. Từ thông giảm kéo theo sđđ phần ứng E_r giảm, dẫn đến điện áp đầu cực của máy phát U giảm. Ở chế độ động cơ, từ thông giảm làm cho mômen quay giảm nên tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục các hậu quả trên người ta đặt thêm cực từ phụ và dây quấn bù trên phần ứng stator. Từ trường cực từ phụ và dây quấn bù ngược chiều với từ trường phần ứng. Để kịp thời khắc phục từ trường phần ứng khi tải thay đổi, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù đấu nối tiếp với mạch phần ứng (hình 9-8).



Hình 9-8. Bù méo từ trường bằng cực từ phụ

9.2.2. Sức điện động phần ứng của máy điện một chiều.

a) Sức điện động thanh dẫn.

Khi phần ứng quay trong từ trường với vận tốc v , các thanh dẫn sẽ cắt đường sức từ trường sinh ra sđđ cảm ứng e :

$$e = B_{tb} l v \quad (9-3)$$

Trong đó: B_{tb} - là độ lớn cảm ứng từ trung bình dưới cực từ
 l - là chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn

b) Sức điện động phần ứng E_u .

Mật độ từ thông tại các điểm khác nhau trên chu vi phần ứng có trị số khác nhau, do đó sđđ sinh ra trên từng dây dẫn của dây quấn phần ứng cũng khác nhau. Sức điện động của máy điện bằng tổng các sđđ sinh ra trong dây dẫn của một mạch nhánh mắc song song của dây quấn phần ứng.

Nếu từ thông của một cực từ là Φ , số cực từ là $2p$, diện tích mặt ngoài phần ứng là S thì trị trung bình của mật độ từ thông dưới mỗi cực từ (hay từ cảm trung bình) sẽ là:

$$B_{tb} = \frac{\Phi \cdot 2p}{S} = \frac{\Phi \cdot 2p}{\pi D l} \quad (9-4)$$

Trong đó: D - đường kính phần ứng (m)

l - là chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn (m).

Nếu số thanh dẫn phần ứng là N , số nhánh song song là $2a$ (a là số đôi nhánh), số thanh dẫn của một nhánh sẽ là $N/2a$, và sđđ phần ứng sẽ là:

$$E_u = \frac{N}{2a} e = \frac{N}{2a} B_{tb} l v \quad (9-5)$$

Gọi n là tốc độ quay của rôtor (vg/ph) ta có:

$$v = \frac{\pi D n}{60} \quad (9-6)$$

Thay (9-4) và (9-6) vào (9-5) ta được:

$$E_u = \frac{N}{2a} \cdot \frac{\Phi \cdot 2p}{\pi D l} \cdot l \cdot \frac{\pi D n}{60} = \frac{pN}{60a} \Phi n \quad (9-7,a)$$

Ký hiệu: $k_E = \frac{pN}{60a}$ - hệ số phụ thuộc vào cấu tạo phần ứng.

$$\text{Ta được:} \quad E_u = k_E \Phi n \quad (9-7,b)$$

Như vậy: Sức điện động của máy điện tỷ lệ với từ thông và tốc độ quay phần ứng.

Ví dụ. Tính sđđ của một máy phát điện, biết từ thông dưới một cực từ $\Phi=0,0368$ Wb. Số dây dẫn phần ứng $N=500$, tốc độ quay $n = 750$ vg/ph. Máy có số đôi cực $2p=6$, số mạch nhánh song song $2a=6$.

Giải.

$$\text{Ta có: } E = \frac{pN}{60a} \Phi n = \frac{3 \cdot 500}{60 \cdot 3} \cdot 0,0368 \cdot 750 = 230V$$

§ 9.3. MÔ MEN QUAY VÀ CÔNG SUẤT CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Trong quá trình làm việc của máy điện một chiều dù ở chế độ máy phát hay chế độ động cơ ở trong máy luôn xảy ra quá trình tác dụng tương hỗ giữa dòng điện phần ứng và từ trường do dòng kích từ tạo ra.

Lực từ tác dụng là :

$$F = B_{tb} l = \frac{\Phi 2p}{\pi D l} \cdot \frac{I_u}{2a} \cdot l = \frac{p}{\pi D a} \cdot \Phi \cdot I_u$$

Mômen trung bình ở một thanh dẫn:

$$M_d = F \cdot \frac{D}{2} = \frac{p}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_u$$

Mômen do toàn bộ N dây dẫn tác dụng lên trục rôtor tổng hợp lại chính là mômen của máy điện:

$$M = N \cdot M_d = \frac{Np}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_u \quad (9-8,a)$$

Đặt $k_M = \frac{Np}{2\pi a}$ - hệ số phụ thuộc vào kết cấu dây quấn ta có:

$$M = k_M \cdot \Phi \cdot I_u \quad (9-8,b)$$

Như vậy: *Mômen của máy điện, tức mômen quay của động cơ, mômen hãm của máy phát điện, tỷ lệ với dòng điện phần ứng và từ thông.*

§ 9.4. HIỆN TƯỢNG PHÓNG TIA LỬA ĐIỆN TRÊN CỔ GÓP

Khi máy điện làm việc, thời điểm chuyển mạch trên vành đổi chiều thường gây ra tia lửa điện chỗ tiếp xúc giữa chổi than và cổ góp. Quá trình phóng điện lâu ngày sẽ phá hỏng chổi điện và cổ góp gây tổn hao năng lượng, sinh nhiệt cho các thiết bị điện tử khác.

Tia lửa điện sinh ra có thể do các nguyên nhân cơ khí và nguyên nhân điện từ:

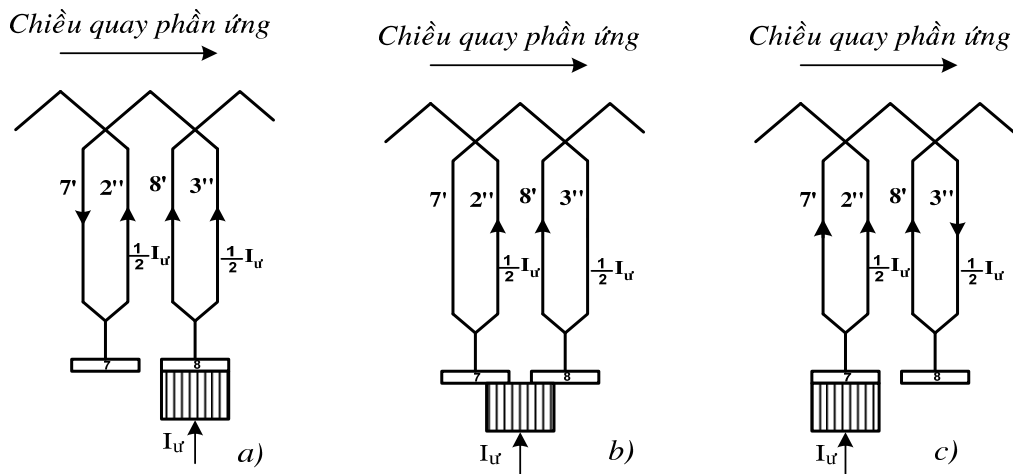
1. **Nguyên nhân cơ khí.** Hiện tượng tiếp xúc xấu giữa chổi than và các phiến đổi chiều tạo ra nguyên nhân cơ khí. Khi vận hành máy điện, tia lửa xuất hiện chỗ tiếp xúc chủ yếu do nguyên nhân cơ khí. Tiếp xúc xấu trước hết có thể do bề mặt các phiến đổi chiều bị han rỉ. Lớp oxyt trên bề mặt phiến đổi chiều ngăn trở sự tiếp xúc với chổi than. Cũng có thể do chổi than bị mòn hoặc do lò xo ép bị mất lực đàn hồi, do cổ góp không tròn nhẵn v.v... Khi vận hành xuất hiện sự phóng điện qua chỗ tiếp xúc xấu, tia lửa điện lại tiếp tục làm mòn rỗ bề mặt và càng ngày càng phá hỏng cổ góp điện và chổi than.

Trong quá trình vận hành cần chú ý giữ gìn sạch sẽ bề mặt tiếp xúc. Nếu có hiện tượng mài mòn trên vành đổi chiều phải cho sửa chữa tiện trơn láng và đều. Các khe cách điện của lớp mica giữa các phiến phải rạch thấp hơn bề mặt và không để bụi đồng hay bụi than lấp bịt các khe. Chổi than không được để gãy, vỡ, mòn vẹt và lò xo ép phải đủ độ đàn hồi và ổn định.

2. **Nguyên nhân điện từ.** Hiện tượng đổi chiều dòng điện trong các bố trí dây phần ứng gọi là nguyên nhân điện từ.

Quá trình đổi chiều xảy ra khi một bố trí dây do phần ứng quay được chuyển từ mạch nhánh này sang mạch nhánh khác. Trong quá trình đổi chiều ở bố trí dây chuyển mạch sẽ có hiện tượng đổi chiều và bị chổi than

làm ngắn mạch (hình 9-9).



Hình 9-9. Quá trình đổi chiều trong bối dây phân ứng.

a) Bắt đầu đổi chiều

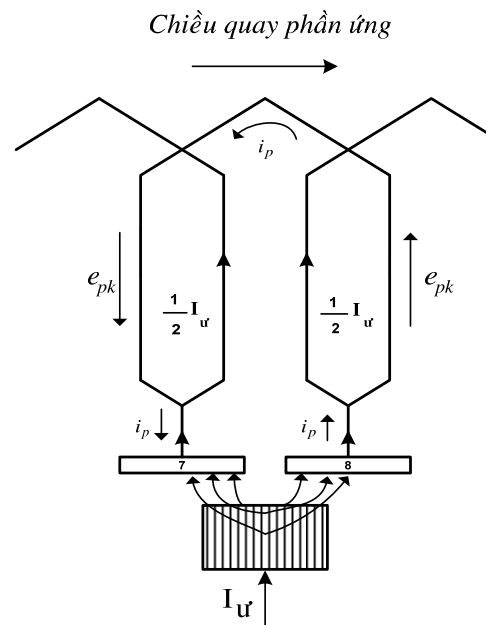
b) Giữa quá trình đổi chiều bối dây bị ngắn mạch

c) Kết thúc quá trình đổi chiều

Ở tốc độ quay bình thường, sự thay đổi nhanh dòng điện trong bối dây ngắn mạch dẫn tới sự thay đổi nhanh từ thông làm xuất hiện trong bối dây một sđđ tự cảm gọi là sđđ phản kháng (e_{pk}). Chiều của sđđ này trùng với chiều dòng điện trong bối dây khi dòng điện giảm trong nửa đầu chu kỳ đổi chiều, và ngược chiều dòng điện trong bối dây trong nửa sau chu kỳ đổi chiều.

Vì có sđđ phản kháng gây ra trong bối dây một dòng điện phụ i_p nên mật độ dòng điện ở phía đầu vào của chổi tăng và mật độ dòng điện ở phía đầu ra giảm (hình 9-10).

Khi bối dây được mở ra thì giữa bối dây và phiến đổi chiều đi ra có tia lửa điện xuất hiện vì sđđ e_{pk} có khuynh hướng duy trì dòng điện giữa chổi với phiến này.



Hình 9-10. Ảnh hưởng của sđđ phản kháng

Để khắc phục tình trạng phóng điện trong quá trình đổi chiều người ta sử dụng các điện cực phụ và cuộn dây bù (hình 9-8).

Nhờ các điện cực phụ đặt giữa các điện cực chính, ở trên đường trung tính hình học nên có thể tạo ra một từ trường phụ để khi bố trí dây ngắn mạch chuyển động trong đó sẽ sinh ra một sđđ đổi chiều e_{dc} bằng và ngược chiều với sđđ phản điện e_{pk} để khử nó đi.

Các máy điện một chiều công suất lớn đều có điện cực phụ. Dây quấn điện cực phụ đấu nối tiếp với dây quấn phần ứng (hình 9-8).

§ 9.5. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.5.1. Phân loại máy phát điện một chiều.

Máy phát điện một chiều thường phân loại theo kiểu kích từ. Dòng kích từ cho máy có thể lấy từ nguồn riêng (accu hay máy phát điện khác) gọi là *máy điện kích từ độc lập*, hoặc được lấy ngay từ bản thân máy điện gọi là *máy tự kích từ*.

Dựa vào phương pháp nối dây máy phát điện một chiều tự kích từ lại chia ra các loại sau:

- Máy phát điện kích từ song song
- Máy phát điện kích từ nối tiếp
- Máy phát điện kích từ hỗn hợp.

9.5.2. Máy phát điện kích từ độc lập.

Sơ đồ máy phát điện kích từ độc lập vẽ trên hình 9-11. Đầu cuộn dây kích từ nối vào nguồn accu, có mắc một biến trở điều chỉnh dòng kích từ và một ampemét để đo.

Đầu phần ứng nối vào tải có mắc ampemét và volmét để đo dòng và điện áp. Dòng điện phần ứng I_u bằng dòng tải I .

Phương trình dòng điện :

$$I = I_u \quad (9-9)$$

Phương trình điện áp mạch phần ứng:

$$U = e_u - I_u R_u \quad (9-10)$$

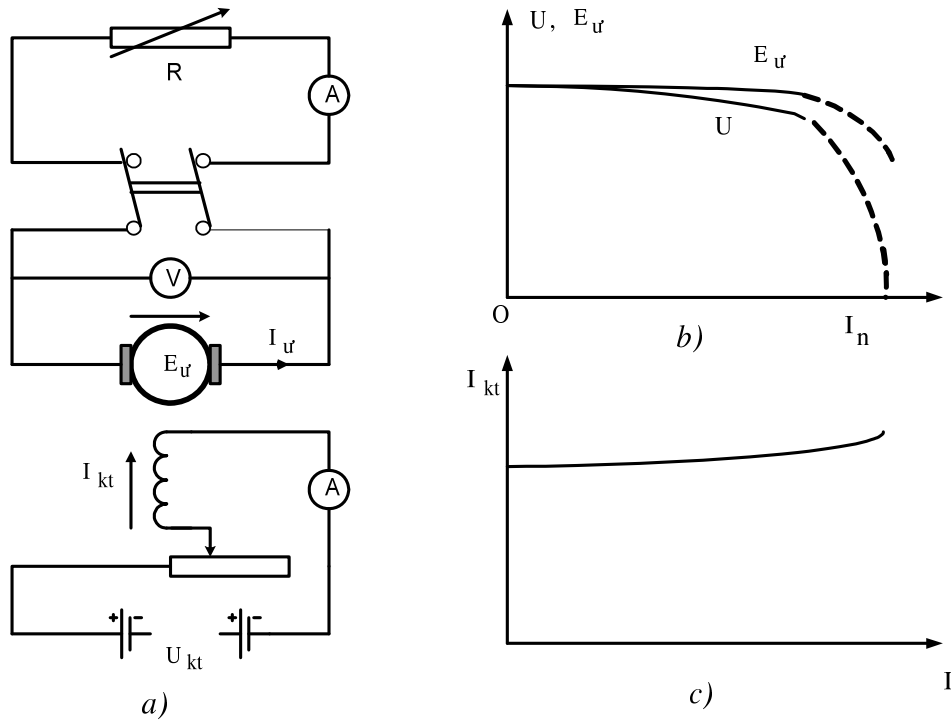
Phương trình điện áp mạch kích từ:

$$U_{kt} = I_{kt}(R_{kt} + R_{dc}) \quad (9-11)$$

Trong đó: R_u – điện trở dây quấn phần ứng

R_{kt} – điện trở dây quấn mạch kích từ

R_{dc} – điện trở điều chỉnh.



Hình 9-11. a) Sơ đồ máy phát điện kích từ độc lập
 b) Đặc tính ngoài
 c) Đặc tính điều chỉnh

Khi dòng tải tăng, dòng điện phản ứng tăng, điện áp U giảm xuống do hai nguyên nhân sau:

– Tác dụng từ trường phản ứng làm cho từ thông giảm, kéo theo sức điện động E_u giảm.

– Điện áp rơi trong mạch phản ứng $I_u R_u$ tăng.

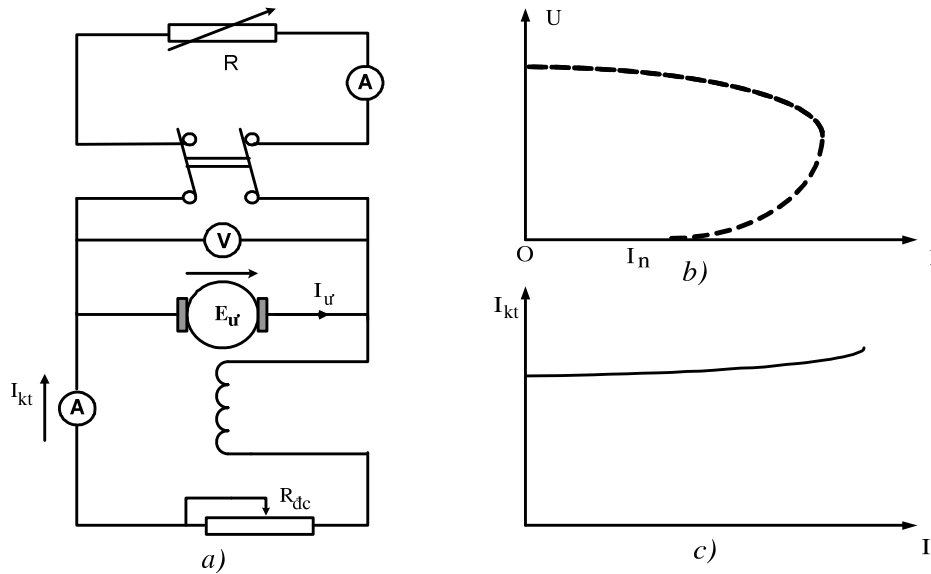
Đường đặc tính ngoài $U=f(I)$ khi tốc độ và dòng điện kích từ không đổi vẽ trên hình 9-11, b.

Để giữ cho điện áp máy phát không đổi phải tăng dòng kích từ. Đường đặc tính điều chỉnh $I_{kt} = f(I)$ vẽ trên hình 9-11, c.

Máy phát điện kích từ độc lập có ưu điểm là dễ điều chỉnh điện áp, thường được sử dụng trong các hệ thống máy phát động cơ để truyền động máy cán, máy cắt kim loại, thiết bị tự động trên tàu thủy, máy bay, v.v... Nhược điểm là cần có nguồn kích từ riêng.

9.5.3. Máy phát điện kích từ song song.

Sơ đồ nguyên tắc máy phát điện kích từ song song chỉ ra trên hình 9-12, a. Cuộn dây kích từ đấu song song với mạch phản ứng.



Hình 9-12. a) Sơ đồ máy phát điện kích từ song song
 b) Đặc tính ngoài
 c) Đặc tính điều chỉnh

Vì không có nguồn kích từ nên lúc đầu dòng kích từ bằng 0. Khi quay phần ứng, trong dây quấn phần ứng sẽ có sđđ cảm ứng do từ thông dư sinh ra. Sđđ này khép qua mạch dây quấn kích từ (điện trở điều chỉnh để ở vị trí nhỏ nhất) sinh ra dòng điện kích từ làm tăng từ trường của máy. Quá trình tiếp tục cho đến khi đạt điện áp ổn định. Để máy có thể thành lập điện áp, cần phải có từ dư và chiều từ trường dây quấn kích từ phải cùng chiều từ trường từ dư. Nếu không còn từ dư ta phải mỗi để tạo từ dư. Nếu chiều hai từ trường ngược nhau ta phải đổi cực tính dây quấn kích từ hoặc đổi chiều quay phần ứng.

Phương trình cân bằng điện áp là mạch phần ứng:

$$U = E_u - I_u R_u \tag{9-12}$$

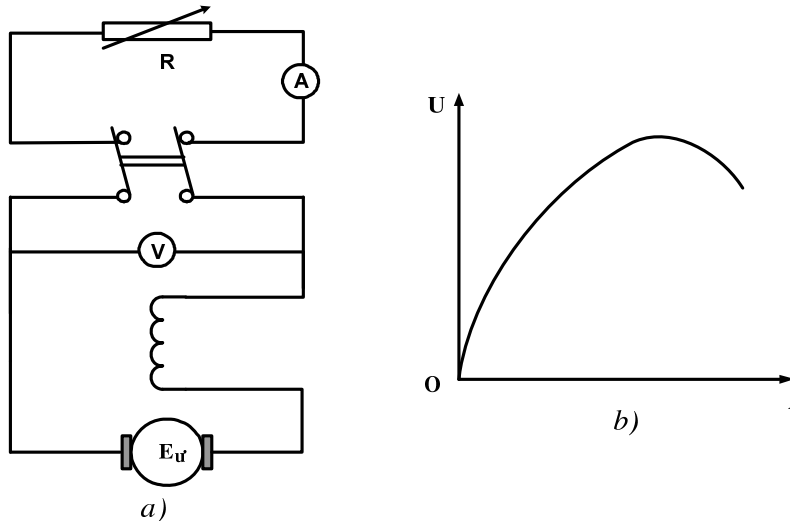
Mạch kích từ:
$$U = I_{kt} (R_{kt} + R_{dc}) \tag{9-13}$$

Phương trình dòng điện:
$$I_u = I + I_{kt} \tag{9-14}$$

Khi dòng tải tăng, dòng điện phần ứng tăng, ngoài hai nguyên nhân làm điện áp đầu cực giảm, như ở máy phát kích từ độc lập, ở máy phát kích từ song song còn có thêm một nguyên nhân nữa là khi U giảm, dòng kích từ giảm, từ thông và sđđ càng giảm, nên đường đặc tính ngoài dốc hơn so với máy phát kích từ độc lập (hình 9-12, b). Từ đường đặc tính ta thấy, khi ngắn mạch, điện áp $U = 0$ dòng kích từ bằng 0, sđđ trong máy chỉ do từ dư sinh ra, vì thế dòng điện ngắn mạch I_n nhỏ so với dòng định mức. Đường đặc tính điều chỉnh chỉ ra trên hình 9-12, c.

9.5.4. Máy phát điện kích từ nối tiếp.

Sơ đồ nối dây như trên hình 9-13. Cuộn dây kích từ có cùng cỡ với điện trở phần ứng. Tiết diện dây quấn cuộn kích từ lớn vì dòng điện kích từ chính là dòng tải. Do đó khi tải thay đổi điện áp thay đổi rất nhiều, trong thực tế không sử dụng máy phát kích từ nối tiếp.

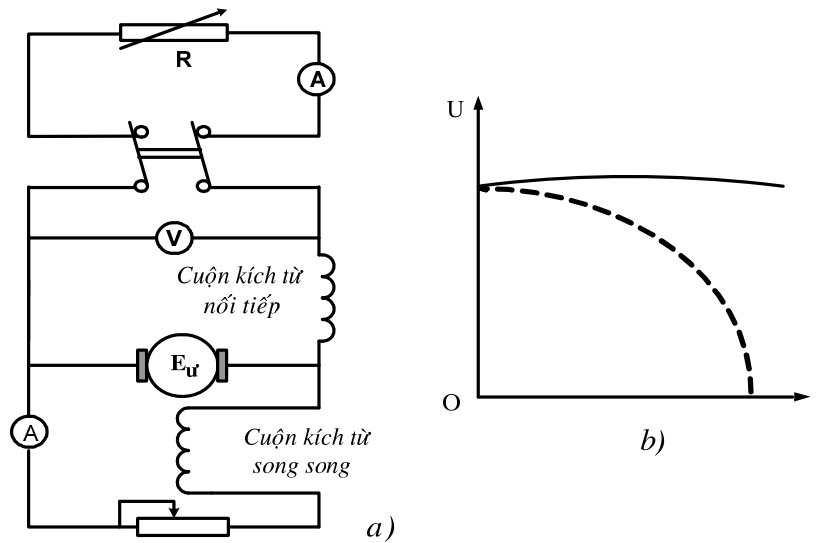


Hình 9-13. a) Sơ đồ máy phát điện kích từ nối tiếp
b) Đặc tính ngoài

Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ vẽ trên hình 9-13, b. Dạng đặc tính được giải thích như sau: Khi tải tăng, dòng ứng I_{tr} tăng, từ thông và E_{tr} tăng, do đó U tăng. Khi $I = (2 \div 2,5) I_{dm}$ máy bão hòa nên I tăng U sẽ giảm.

9.5.5. Máy phát điện kích từ hỗn hợp

Sơ đồ máy phát điện kích từ hỗn hợp trình bày trên hình 9-14. Cuộn dây kích từ cơ bản là cuộn kích từ song song. Cuộn dây kích từ phụ là cuộn nối tiếp mắc nối tiếp với tải. Cả hai cuộn dây đều quấn chung trên một lõi sắt của cực từ và được nối với phần ứng sao cho sức từ động của chúng cộng lại với nhau. Đặc tính không tải của máy phát điện kích từ hỗn hợp không khác so với máy phát điện kích từ song song vì khi không tải không có dòng kích từ chạy vào cuộn nối tiếp (hình 9-14, b). Từ đường đặc tính ta thấy điện áp ở đầu máy phát hầu như không thay đổi khi tải thay đổi từ không tới định mức. Đó là do khi phụ tải tăng, do tính chất của máy phát điện kích từ song song, điện áp giảm được bù bằng sự tăng sđđ nhờ sự tăng từ thông trong cuộn dây nối tiếp. Đó là ưu điểm rất lớn của máy phát điện kích từ hỗn hợp.



Hình 9-14 . a) Sơ đồ máy phát điện kích từ hỗn hợp
 b) Đặc tính ngoài

Khi nối ngược chiều cuộn dây kích từ nối tiếp, từ trường trong 2 cuộn dây quấn ngược nhau, khi tăng tải, điện áp giảm rất nhanh, đường đặc tuyến có dạng rất dốc (đường đứt nét trên hình 9-14). Người ta lợi dụng tính chất này để làm các máy phát điện hàn.

§ 9.6. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ta đã xét đến tính chất của máy điện một chiều ở chế độ động cơ. Khi cho dòng điện một chiều vào cuộn kích từ và dòng điện vào phần ứng thì sẽ có mômen quay tác dụng lên trục máy điện theo (9-8):

$$M = \frac{Np}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_u = k_M \Phi I_u \tag{9-15}$$

Mômen này là mômen quay của động cơ cùng chiều với tốc độ quay n . Để xác định chiều quay của động cơ ta có thể sử dụng quy tắc bàn tay trái để xác định chiều của từ lực. Dễ thấy muốn thay đổi chiều quay ta chỉ cần thay đổi chiều dòng điện đi vào phần ứng, hay dòng điện vào cuộn kích từ.

Phương trình điện áp đặt vào động cơ là:

$$U = E_u + I_u R_u \tag{9-16}$$

Trong đó E_u là sđđ ở phần ứng của động cơ điện theo (9-7) có giá trị:

$$E_u = \frac{pN}{60a} n \Phi = k_E n \Phi \tag{9-17}$$

Đối với động cơ, dòng điện I_u ngược chiều với sđđ, nên E_u còn gọi là sức phản điện.

9.6.1. Mở máy động cơ điện một chiều.

Từ phương trình (9-16) ta có :

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \quad (9-18)$$

Khi mở máy, tốc độ động cơ $n = 0$, sức phản điện $E_u = K_E \Phi n = 0$, dòng điện phần ứng lúc mở máy sẽ là :

$$I_u = \frac{U}{R_u} \quad (9-19)$$

Vì R_u rất nhỏ, nên dòng phần ứng lúc mở máy rất lớn, khoảng $(20 \div 30)I_{dm}$ làm hỏng cổ góp và chổi than. Dòng điện phần ứng lớn kéo theo dòng điện mở máy $I_{mở}$ lớn, làm ảnh hưởng đến lưới điện.

Để giảm dòng mở máy đạt $(1,5 \div 2)I_{dm}$ người ta dùng các biện pháp sau :

1) Dùng biến trở mở máy $R_{mở}$.

Mắc biến trở mở máy vào mạch phần ứng (hình 9-15). Dòng mở máy lúc có biến trở sẽ là :

$$I_{u\ m\ở} = \frac{U}{R_u + R_{m\ở}} \quad (9-20)$$

Ban đầu để biến trở $R_{m\ở}$ có giá trị lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, E_u tăng, ta giảm dần điện trở mở máy về 0, lúc đó động cơ sẽ làm việc đúng điện áp định mức.

2) Giảm điện áp đặt vào phần ứng.

Phương pháp này được áp dụng khi có nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp, ví dụ trong hệ thống máy phát – động cơ, hoặc nguồn một chiều chỉnh lưu.

Chú ý rằng để có mômen mở máy lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất, vì thế phải điều chỉnh các thông số mạch kích từ sao cho dòng kích từ lúc mở máy là lớn nhất.

9.6.2. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều.

Từ phương trình (9-16) ta có : $E_u = U - I_u R_u$

Thay $E_u = K_E \Phi n$ ta có phương trình tốc độ:

$$n = \frac{U - I_u R_u}{k_E \Phi} \quad (9-21)$$

Từ (9-21) ta thấy muốn điều chỉnh tốc độ động cơ có thể áp dụng các biện pháp sau :

1) *Mắc điện trở điều chỉnh vào phần mạch ứng.*

Khi mắc thêm điện trở vào phần mạch ứng tốc độ giảm. Vì dòng toàn phần lớn nên tổn hao công suất lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng cho các động cơ công suất nhỏ.

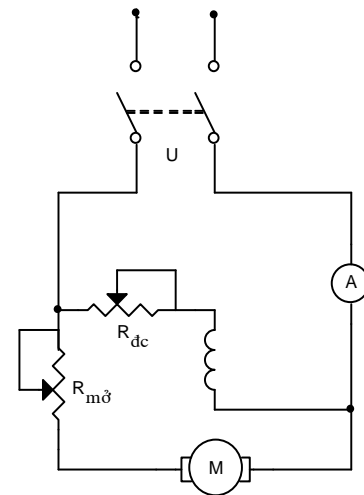
2) *Thay đổi điện áp U*

Dùng nguồn điện áp điều chỉnh được để cấp điện cho động cơ. Phương pháp này được sử dụng nhiều

3) *Thay đổi từ thông.*

Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng kích từ.

Khi điều chỉnh tốc độ động cơ ta kết hợp các phương pháp trên, chẳng hạn phương pháp thay đổi từ thông kết hợp với phương pháp thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh rất rộng. Đây là ưu điểm lớn của động cơ điện một chiều.



Hình 9-15. Mở máy động cơ điện một chiều

9.6.3. Động cơ điện một chiều kích từ song song.

Sơ đồ nối dây động cơ điện một chiều kích từ song song như hình (9-16,a). Để mở máy ta dùng biến trở mở máy $R_{mở}$. Để điều chỉnh tốc độ động cơ ta dùng biến trở điều chỉnh $R_{đc}$ điều chỉnh dòng kích từ I_{kt} .

1) *Đường đặc tính cơ $n = f(M)$.*

Biểu diễn quan hệ giữa tốc độ quay n và mômen quay M khi điện áp $U=const$, điện trở mạch phần ứng $R_u=const$, điện trở mạch kích từ $R_{kt}=const$.

Từ phương trình (9-21) ta có :

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u}{k_E \Phi} I_u \tag{9-22}$$

Từ biểu thức mômen điện từ (9-8b) ta có :

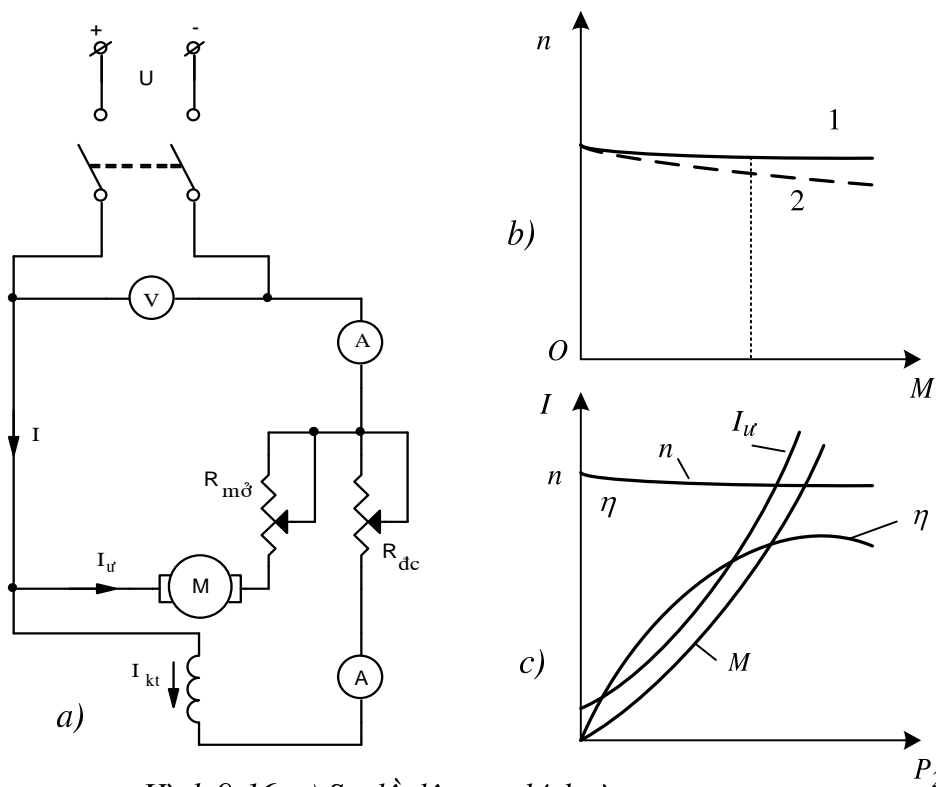
$$I_u = \frac{M}{k_M \Phi}$$

Do đó :
$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u}{k_E k_M \Phi^2} M \quad (9-23,a)$$

Nếu có mắc điện trở R_p vào mạch phần ứng ta có

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u + R_p}{k_E k_M \Phi^2} M \quad (9-23,b)$$

Quan hệ $n = f(M)$ vẽ trên hình (9-16,b) trong đó đường 1 là đường đặc tính cơ tự nhiên ($R_p=0$) ứng với (9-23,a) còn đường 2 với $R_p \neq 0$ ứng với (9-23,b).



Hình 9-16. a) Sơ đồ động cơ kích từ song song

b) Đặc tính cơ

c) Đặc tính làm việc

2) Đặc tính làm việc.

Đường đặc tính làm việc được xác định khi điện áp và dòng điện kích từ không đổi. Đó là các đường biểu diễn quan hệ giữa tốc độ n , mômen M , dòng điện phần ứng I_u , và hiệu suất η theo công suất cơ trên trục P_2 (hình 9-16,c).

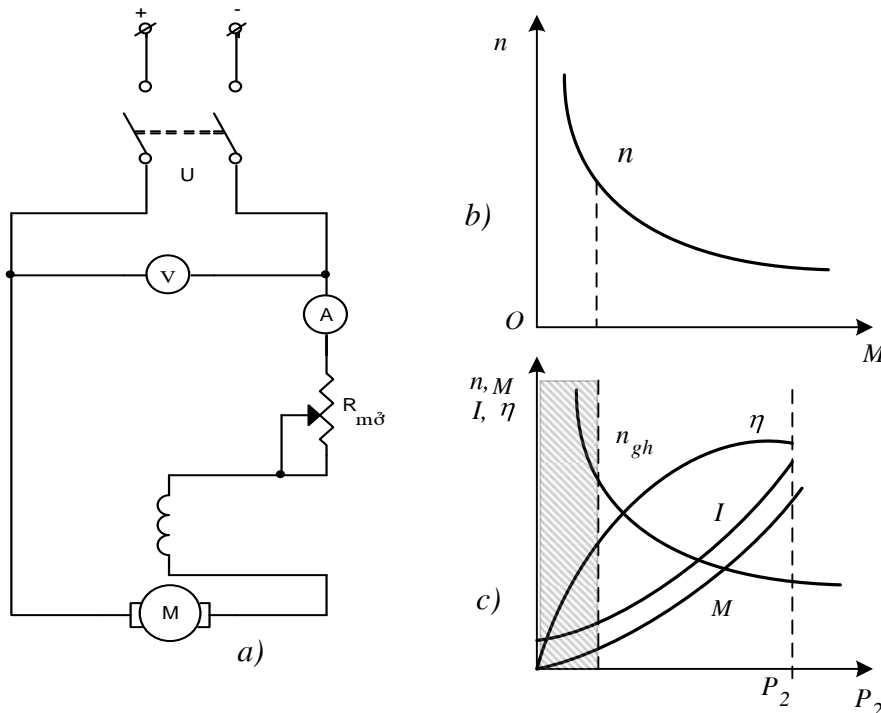
Ta nhận thấy rằng động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng, và tốc độ hầu như không thay đổi khi công suất trên trục P_2 thay

đổi. Chúng được sử dụng nhiều trong các máy cắt kim loại, các máy công cụ, v.v... Khi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ người ta sử dụng máy điện kích từ nối tiếp.

9.6.4. Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp.

Sơ đồ nối dây động cơ điện kích từ nối tiếp trên hình 9-17,a.

Để mở máy ta dùng biến trở $R_{mở}$. Để điều chỉnh tốc độ ta dùng các phương pháp đã trình bày ở trên, song cần chú ý rằng để điều chỉnh từ thông, ta mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.



Hình 9-17. a) Sơ đồ động cơ kích từ nối tiếp
 b) Đặc tính cơ
 c) Đặc tính làm việc

1) Đường đặc tính cơ.

Khi máy không bão hòa, dòng điện phần ứng I_u và từ thông Φ tỷ lệ với nhau, nghĩa là :

$$I_u = k_I \Phi \tag{9-24}$$

Do đó :
$$M = k_M I_u \Phi = k_M k_I \Phi^2 = k^2 \Phi^2$$

Hay :
$$\Phi = \frac{\sqrt{M}}{k} \tag{9-25}$$

Trong đó :
$$k = \sqrt{k_M k_I}$$

Thay (9-24) và (9-25) vào (9-21) ta có :

$$n = \frac{kU}{k_E \sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E} = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u \quad (9-26)$$

Trong đó $a = k/k_E$ và $b = k_I/k_E$.

Từ (9-26) ta thấy rằng đường đặc tính cơ có dạng hypecbol (hình 9-17,b). Đường đặc tính cơ mềm, mômen tăng thì tốc độ động cơ giảm. Khi không tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng có thể gây hỏng động cơ về mặt cơ khí, vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp chạy không tải hoặc tải nhỏ.

2) Đường đặc tính làm việc.

Trên hình (9-17,c) vẽ các đường đặc tính làm việc. Động cơ cho phép làm việc với tốc độ nhỏ hơn tốc độ giới hạn n_{gh} (miền gạch chéo).

Vì khi chưa bão hòa mômen quay của động cơ tỷ lệ với bình phương dòng điện, tốc độ giảm theo tải, động cơ kích từ nối tiếp thích hợp cho các trường hợp tải nặng được dùng nhiều trong giao thông vận tải hoặc trong các thiết bị cần trục, cầu nâng, v.v...

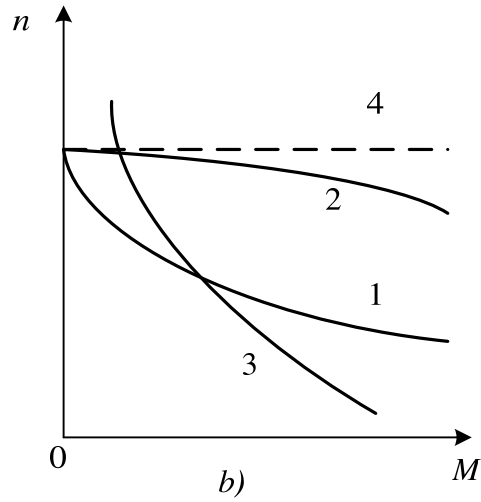
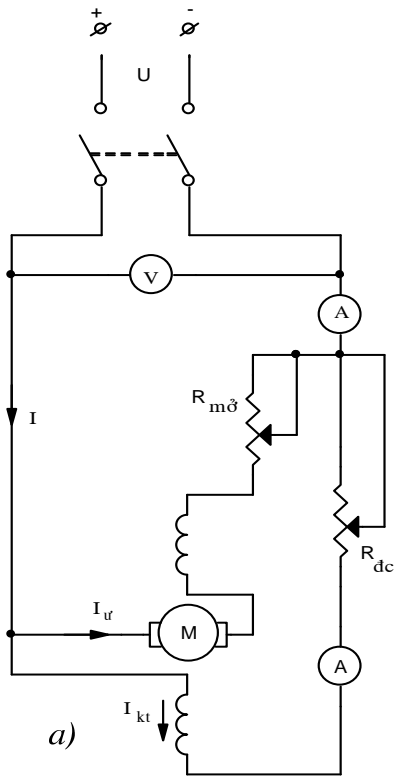
9.6.5. Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp.

Sơ đồ nối dây trên hình (9-18,a). Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường hai dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược (từ trường 2 dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.

Đặc tính cơ động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (đường 1) sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ động cơ kích từ song song (đường 2) và nối tiếp (đường 3) (hình 9-18,b).

Các động cơ thường xuyên làm việc trong chế độ tải nặng nề có dây quấn kích từ nối tiếp là dây quấn kích từ chính, còn dây song song là dây quấn kích từ phụ và 2 cuộn nối thuận. Dây quấn kích từ song song đảm bảo cho tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi mômen nhỏ.

Động cơ kích từ hỗn hợp có dây quấn kích từ nối tiếp là kích từ phụ và nối ngược có đặc tính cơ rất cứng (đường 4 trên hình 9-18,b), nghĩa là tốc độ quay hầu như không đổi khi mômen thay đổi. Thật vậy, khi mômen quay tăng, dòng phần ứng tăng, dây kích từ song song làm tốc độ giảm đi một chút, nhưng vì dây quấn kích từ nối tiếp mắc ngược làm giảm từ thông trong máy nên làm tăng tốc độ động cơ lên như cũ. Ngược lại khi nối thuận, sẽ làm cho đặc tính cơ của động cơ mềm hơn, mômen mở máy lớn hơn, thích hợp trong các máy công cụ dùng để ép, bơm, nghiền, cán, v.v...



Hình 9-18. a) Sơ đồ động cơ kích từ hỗn hợp
b) Đặc tính cơ

9.6.5. Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp.

Sơ đồ nối dây trên hình (9-18,a). Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường hai dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược (từ trường 2 dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.

Đặc tính cơ động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (đường 1) sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ động cơ kích từ song song (đường 2) và nối tiếp (đường 3).

MỤC LỤC

Mở đầu

<i>Phần thứ 1</i>	CỞ SỞ LÝ THUYẾT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MẠCH ĐIỆN	3
<i>Chương 1.</i>	Những khái niệm cơ bản về mạch điện	4
	§ 1.1. Mạch điện và các phần tử mạch.	4
	§ 1.2. Mô hình mạch điện	6
	§ 1.3. Phân loại và các chế độ làm việc của mạch điện	10
<i>Chương 2.</i>	Dòng điện xoay chiều hình sin	12
	§ 2.1. các đại lượng đặc trưng của dòng điện hình sin	13
	§ 2.2. Trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin	13
	§ 2.3. Biểu diễn dòng điện xoay chiều hình sin	14
	§ 2.4. Phản ứng của các phần tử mạch R,L,C đối với dòng	19
	§ 2.5. Công suất của dòng xoay chiều	26
<i>Chương 3.</i>	Các phương pháp phân tích và giải mạch điện	30
	§ 3.1. Các phép biến đổi tương đương	31
	§ 3.2. Phương pháp dòng điện nhánh	37
	§ 3.3. Phương pháp dòng điện vòng	38
	§ 3.4. Phương pháp điện áp nút	39
	§ 3.5. Phương pháp xếp chồng	41
<i>Chương 4.</i>	Mạch điện 3 pha	44
	§ 4.1. Hệ thống điện 3 pha	45
	§ 4.2. Phương pháp nối hình sao	47
	§ 4.3. Phương pháp nối hình tam giác.	49
	§ 4.4. Công suất điện ba pha	50
	§ 4.5. Giải mạch điện 3 pha đối xứng	51
	§ 4.6. Giải mạch điện 3 pha không đối xứng	54
<i>Phần thứ 2.</i>	MÁY ĐIỆN	59
<i>Chương 5</i>	Khái niệm chung về máy điện	59
	§ 5.1. Định nghĩa và phân loại	60
	§ 5.2. Các định luật điện từ cơ bản dùng trong máy điện	62
	§ 5.3. Nguyên lý và tính thuận nghịch của máy điện	63
	§ 5.4. Tính toán mạch từ	64
<i>Chương 6</i>	Máy biến áp	67
	§ 6.1. Nguyên lý cấu tạo của máy biến áp	68

	§ 6.2. Nguyên lý hoạt động	70
	§ 6.3. Mô hình toán học của máy biến áp	71
	§ 6.4. Sơ đồ thay thế của máy biến áp	74
	§ 6.5. Chế độ không tải của máy biến áp	77
	§ 6.6. Chế độ ngắn mạch của máy biến áp	78
	§ 6.7. Chế độ có tải của máy biến áp	82
	§ 6.8. Máy biến áp ba pha.	88
	§ 6.9. Chế độ làm việc song song của các máy biến áp	92
	§ 6.10. Các máy biến áp đặc biệt	93
<i>Chương 7.</i>	Máy điện không đồng bộ	99
	§ 7.1. Khái niệm chung	99
	§ 7.2. Cấu tạo của máy điện không đồng bộ	100
	§ 7.3. Dây quấn của máy điện không đồng bộ	102
	§ 7.4. Từ trường của máy điện không đồng bộ	104
	§ 7.5. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ	109
	§ 7.6. Các phương trình cân bằng điện từ của máy điện không đồng bộ	111
	§ 7.7. Sơ đồ thay thế của động cơ không đồng bộ	115
	§ 7.8. Mômen quay của động cơ không đồng bộ	117
	§ 7.9. Mở máy động cơ không đồng bộ 3 pha	120
	§ 7.10. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ 3 pha	123
	§ 7.7. Các đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ 3	125
	§ 7.8. Động cơ không đồng bộ 1 pha	127
	§ 7.9. Đấu vận hành động cơ 3 pha làm việc trong lưới điện	134
<i>Chương 8.</i>	Máy điện đồng bộ	136
	§ 8.1. Các khái niệm chung	136
	§ 8.2. Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ	139
	§ 8.3. Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ	140
	§ 8.4. Mô hình toán học của máy phát điện đồng bộ	141
	§ 8.5. Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ	143
	§ 8.6. Các đặc tính của máy phát điện đồng bộ	145
	§ 8.7. Hòa mạng các máy phát điện đồng bộ	147
	§ 8.8. Động cơ điện đồng bộ	148
<i>Chương 9.</i>	Máy điện một chiều	151

§ 9.1. Cấu tạo và nguyên lý máy điện một chiều	151
§ 9.2. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều	155
§ 9.3. Mômen quay và công suất của máy điện một chiều	158
§ 9.4. Hiện tượng phóng điện trên cổ góp	159
§ 9.5. Máy phát điện một chiều	161
§ 9.6. Động cơ điện một chiều	165
Mục lục	172
Tài liệu tham khảo	174

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *A.T. Блажкин.* Общая Электротехника. Ленинград – Энергоатомиздат-1986.
2. *Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh.* Kỹ thuật điện. Nxb. Giáo dục 1997
3. *Trương Trí Ngô, Lê Nho Bội, ...* Kỹ thuật điện. Nxb, Khoa học kỹ thuật 2001
4. *Hoàng Hữu Thận.* Cơ sở kỹ thuật điện . Nxb. Giao thông vận tải 2000.
5. *Nguyễn Văn Tuệ.* Kỹ thuật điện cơ. Nxb Đà Nẵng 2003