

ĐẶNG VĂN ĐÀO
LÊ VĂN DOANH

Kĩ thuật điện



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

ĐẶNG VĂN ĐÀO (chủ biên) - LÊ VĂN DOANH

KĨ THUẬT ĐIỆN

*Đã được Hội đồng môn học Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua
dùng làm tài liệu giảng dạy trong các trường đại học kĩ thuật*

(Tái bản lần thứ chín)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:

Phó Tổng Giám đốc kiêm Giám đốc NXBGD tại TP Hà Nội
NGUYỄN XUÂN HOÀ

Biên tập lần đầu :

TRẦN CAO QUANG

Biên tập tái bản :

TRẦN VĂN THẮNG

TRẦN TRỌNG TIẾN

Biên tập kĩ thuật :

BÙI CHÍ HIẾU

Chế bản :

PHÒNG CHẾ BẢN (NXB GIÁO DỤC)

LỜI NÓI ĐẦU

Kĩ thuật điện là ngành khoa học ứng dụng các hiện tượng điện từ để biến đổi năng lượng, gia công vật liệu, truyền tải thông tin v.v... bao gồm việc tạo ra, biến đổi và sử dụng điện năng trong các hoạt động thực tiễn của con người.

Ngày nay điện năng được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp, giao thông vận tải, nông lâm nghiệp, thông tin liên lạc và dịch vụ v.v... vì có ưu điểm hơn các dạng năng lượng khác : sản xuất điện năng tập trung với những nguồn công suất lớn, truyền tải điện năng đi xa và phân phối đến tận nơi tiêu thụ với tổn hao nhỏ, tương đối dễ dàng biến đổi sang các dạng năng lượng khác. Điện năng rất quan trọng cho cơ khí hóa và tự động hóa là nguồn năng lượng "cao cấp" tác động lên các tài nguyên khoáng sản không kim loại (các loại đá, cát, muối v.v...), kim loại (bô xít, thiếc, đồng, sắt, đất hiếm v.v...) để tạo ra của cải vật chất cho xã hội, cho sự phát triển nền kinh tế quốc dân.

Hiện tượng điện từ đã biết từ xa xưa, song mãi đến năm 1600 mới bắt đầu nghiên cứu : Năm 1831 M. Faraday phát minh định luật cảm ứng điện từ, năm 1837 D.K. Maxwell đưa ra lý thuyết về các hiện tượng điện từ. Sau đó hàng loạt các thiết bị điện ra đời : đầu thế kỉ 19 nguồn điện hóa học, năm 1870 máy phát điện một chiều, có kết cấu gần giống như hiện nay ; năm 1876 máy phát điện đồng bộ một pha, máy biến áp một pha ; năm 1882 máy phát điện đồng bộ hai pha công suất 115kVA ; năm 1888 động cơ không đồng bộ hai pha 3 kW ; năm 1889 máy biến áp 3 pha, động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc ; năm 1890 động cơ không đồng bộ rôto dây quấn, mạch điện 3 pha 4 dây ; năm 1891 máy phát thủy điện 3 pha 230 kVA, 150 v/ph, 40 Hz, $U_d = 95$ V, đường dây tải điện pha ba dài 175 km ; năm 1899 máy phát tuabin hơi 1000 kVA. Thời gian đầu điện năng được sử dụng chủ yếu để thắp sáng, sau đó dần dần phục vụ cho các ngành kinh tế quốc dân. Kĩ thuật điện đã phát triển nhanh chóng, ngày nay các máy phát điện công suất đạt đến hàng nghìn MVA, đường dây tải điện hàng nghìn km với điện áp 600 kV mức độ tự động hóa cao. Nhiều loại máy và thiết bị khác nhau, rất đa dạng đã thâm nhập vào mọi ngành sản xuất và đời sống.

Trong những năm vừa qua ngành điện Việt Nam đã đạt được những thành tựu to lớn, cơ bản đáp ứng được nhu cầu điện năng của nền kinh tế quốc dân với tốc độ tăng trưởng bình quân 15% một năm. Sản lượng điện năng năm 2001 đạt tới 30 tỉ kWh, bình quân đầu người 370 kWh/ng.năm. Theo dự báo sản lượng điện sẽ đạt tới 50 tỉ kWh vào năm 2005 vào 80 tỉ kWh vào năm 2010 với bình quân đầu người khoảng 900 kWh/ng.năm. Chúng ta đã chế tạo được các máy biến áp 110 kV và chuẩn bị chế tạo máy biến áp 220 kV, 125 MVA. Các động cơ không đồng bộ đang được chế tạo hàng loạt.

Giáo trình kĩ thuật điện được biên soạn theo kế hoạch đào tạo và chương trình môn học giai đoạn I của các trường Đại học khối Kĩ thuật công nghiệp do Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành năm 1990.

Giáo trình được soạn trên cơ sở người đã học môn Kỹ thuật điện, môn Vật lý ở phổ thông, và phần điện môn Vật lý đại cương ở đại học, nên không đi sâu vào mặt lý luận các hiện tượng vật lý mà chú ý nhiều đến tính toán và ứng dụng kỹ thuật, phục vụ cho các môn chuyên ngành ở giai đoạn II và các hoạt động khoa học kỹ thuật liên quan đến kỹ thuật điện.

Giáo trình kỹ thuật điện gồm 3 phần : Phần I cung cấp các kiến thức cơ bản về mạch điện (thông số, mô hình, các định luật), các tính toán mạch điện, đặc biệt đối với dòng điện hình sin một pha và 3 pha. Phần II cung cấp các nguyên lý, cấu tạo, tính năng và ứng dụng các loại máy điện cơ bản, trên cơ sở đó có thể hiểu được các máy điện đa dạng gặp trong sản xuất và đời sống. Phần III cung cấp khái quát về đo lường và điều khiển máy điện, dẫn ra một số phương pháp đo các đại lượng điện và không điện, một số sơ đồ điều khiển cơ bản, trên cơ sở đó có thể vận dụng để giải quyết các vấn đề có thể gặp trong thực tế.

Giáo trình gồm 12 chương : Lời nói đầu, chương 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 bài 3 (phần tự chọn) do PGS. TS. Đặng Văn Đào viết ; Chương 10, 11, 12 bài 1, 2, 4 (phần tự chọn) do PGS. TS. Lê Văn Doanh viết. PGS. TS. Đặng Văn Đào chủ biên.

Các tác giả chân thành cảm ơn Bộ môn Kỹ thuật điện trường ĐH GTVT ; Bộ môn Thiết bị điện - điện tử trường ĐHBK Hà Nội, GS. TS Nguyễn Mạnh Duy chủ nhiệm bộ môn Thiết bị điện - điện tử trường ĐHBK Hà Nội, PGS. TS Hoàng Ngọc Thái chủ nhiệm Bộ môn KTD Viện Kỹ thuật Quân sự đã có nhiều đóng góp quý báu về nội dung giáo trình này.

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Nhà xuất bản Giáo dục đã có nhiều đóng góp công sức trong việc xuất bản giáo trình này.

Các ý kiến đóng góp cho giáo trình xin gửi về Nhà xuất bản Giáo dục.

Các tác giả

PHẦN I

MẠCH ĐIỆN

Chương I

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

§1 - 1. MẠCH ĐIỆN, KẾT CẤU HÌNH HỌC CỦA MẠCH ĐIỆN

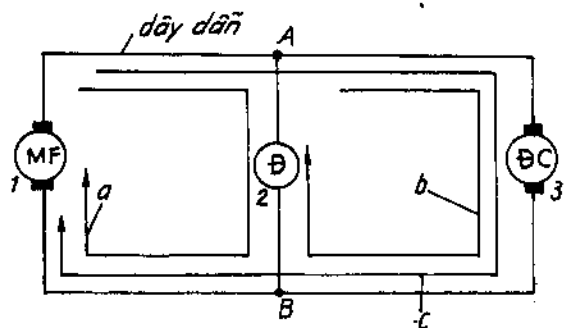
1. Mạch điện

Mạch điện là tập hợp các thiết bị điện nối với nhau bằng các dây dẫn tạo thành những vòng kín trong đó dòng điện có thể chạy qua. Mạch điện thường gồm các loại phần tử sau : nguồn điện, phụ tải (tải), dây dẫn. Hình 1 - 1 là một ví dụ về mạch điện, trong đó : nguồn điện là máy phát điện MF, tải gồm động cơ điện ĐC và bóng đèn Đ, các dây dẫn truyền tải điện năng từ nguồn đến tải.

a) *Nguồn điện.* Nguồn điện là thiết bị phát ra điện năng. Về nguyên lý, nguồn điện là thiết bị biến đổi các dạng năng lượng như cơ năng, hóa năng, nhiệt năng v. v... thành điện năng. Ví dụ : pin, acquy biến đổi hóa năng thành điện năng, máy phát điện biến đổi cơ năng thành điện năng, pin mặt trời biến đổi năng lượng bức xạ mặt trời thành điện năng v.v...

b) *Tải.* Tải là các thiết bị tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác như cơ năng, nhiệt năng, quang năng v.v... Ví dụ : động cơ điện tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng thành cơ năng, bàn là, bếp điện biến đổi điện năng thành nhiệt năng, bóng điện biến đổi điện năng thành quang năng v.v...

c) *Dây dẫn.* Dây dẫn làm bằng kim loại (đồng, nhôm v.v...) dùng để truyền tải điện năng từ nguồn đến tải.



Hình 1-1

2. Kết cấu hình học của mạch điện

a) *Nhánh.* Nhánh là một đoạn mạch gồm các phần tử ghép nối tiếp nhau, trong đó có cùng một dòng điện chạy từ đầu này đến đầu kia.

b) *Nút*. Nút là điểm gặp nhau của từ ba nhánh trở lên.

c) *Vòng*. Vòng là lối đi khép kín qua các nhánh.

Mạch điện trên hình 1 - 1 có 3 nhánh 1, 2, 3 ; 2 nút A, B và 3 vòng a, b, c.

§1 - 2. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG TRONG MẠCH ĐIỆN

Để đặc trưng cho quá trình năng lượng trong một nhánh hoặc một phần tử của mạch điện ta dùng hai đại lượng : dòng điện i và điện áp u . Công suất của nhánh (hoặc của phần tử) (hình 1 - 2) là : $p = ui$

1. Dòng điện

Dòng điện i về trị số bằng tốc độ biến thiên của lượng điện tích q qua tiết diện ngang một vật dẫn.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$



Chiều dòng điện quy ước là chiều chuyển động của điện tích dương trong điện trường.

Hình 1 - 2

2. Điện áp

Tại mỗi điểm trong mạch điện có một điện thế. Hiệu điện thế (hiệu thế) giữa hai điểm gọi là điện áp. Như vậy điện áp giữa hai điểm A và B là :

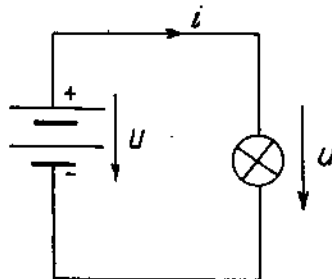
$$u_{AB} = u_A - u_B \quad (1 - 2)$$

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

3. Chiều dương dòng điện và điện áp

Đối với các mạch điện đơn giản, theo quy ước trên ta dễ dàng xác định được chiều dòng điện và điện áp trong một nhánh. Ví dụ mạch điện gồm một nguồn điện một chiều và một tải (hình 1 - 3).

Trên hình 1 - 3 đã vẽ chiều điện áp đầu cực nguồn điện, chiều điện áp trên nhánh tải, và chiều dòng điện trong mạch.



Hình 1-3

Tuy nhiên khi tính toán phân tích mạch điện phức tạp, ta không thể dễ dàng xác định ngay được chiều dòng điện và điện áp các nhánh, đặc biệt đối với dòng điện xoay chiều, chiều của chúng thay đổi theo thời gian. Vì thế khi giải mạch điện, ta tùy ý vẽ chiều dòng điện và điện áp trong các nhánh gọi là chiều dương. Trên cơ sở các chiều đã vẽ, thiết lập hệ phương trình giải mạch điện. Kết quả tính toán : dòng điện (điện áp) ở một thời điểm nào đó có trị số dương, chiều dòng điện (điện áp) trong nhánh ấy trùng với chiều đã vẽ, ngược lại, nếu dòng điện (điện áp) có trị số âm, chiều của chúng ngược với chiều đã vẽ.

4. Công suất

Trong mạch điện, một nhánh, một phần tử có thể nhận năng lượng hoặc phát năng lượng. Khi chọn chiều dòng điện và điện áp trên nhánh trùng nhau (hình 1 - 2), sau khi tính toán công suất p của nhánh ta có kết luận sau về quá trình năng lượng của nhánh. Ở một thời điểm nào đó nếu :

$$p = u_i > 0 \text{ nhánh nhận năng lượng} \quad (1 - 3)$$

$$p = u_i < 0 \text{ nhánh phát năng lượng} \quad (1 - 4)$$

Nếu chọn chiều dòng điện và điện áp trên nhánh ngược nhau ta sẽ có kết luận ngược lại. Trong hệ đơn vị SI đơn vị dòng điện là A (ampe), đơn vị điện áp là V (vôn), đơn vị công suất là W (oát)

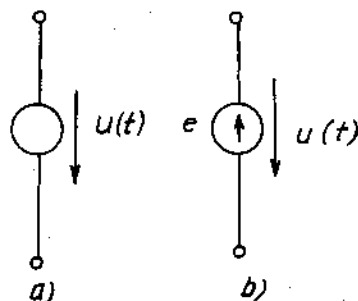
§1 - 3. MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN. CÁC THÔNG SỐ

Mạch điện gồm nhiều thiết bị điện. Khi làm việc, nhiều hiện tượng điện từ xảy ra trong các thiết bị và mạch điện. Khi tính toán người ta thay thế mạch điện thực bằng mô hình mạch. Mô hình mạch gồm các thông số sau : nguồn điện áp $u(t)$, nguồn dòng điện $j(t)$, điện trở R , điện cảm L và điện dung C . Đó là những phần tử lí tưởng đặc trưng cho một quá trình điện từ nào đó trong mạch điện. Ta sẽ xét dưới đây.

1. Nguồn điện áp $u(t)$

Nguồn điện áp đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một điện áp trên hai cực của nguồn. Nguồn điện áp được kí hiệu như hình 1 - 4a. Nguồn điện áp còn được biểu diễn bằng một sức điện động $e(t)$ (hình 1 - 4b). Chiều $e(t)$ từ điểm điện thế thấp đến điểm điện thế cao. Chiều điện áp theo quy ước từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp, vì thế chiều điện áp đấu cực nguồn ngược với chiều sức điện động (hình 1 - 4b). Điện áp đầu cực $u(t)$ sẽ bằng sức điện động :

$$u(t) = e(t) \quad (1 - 5)$$



Hình 1-4

2. Nguồn dòng điện $j(t)$

Nguồn dòng điện $j(t)$ đặc trưng cho khả năng của nguồn điện tạo nên và duy trì một dòng điện cung cấp cho mạch ngoài. Nguồn dòng điện được kí hiệu như hình 1 - 5.

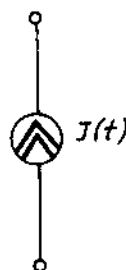
3. Điện trở R

Điện trở R đặc trưng cho quá trình tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng sang dạng năng lượng khác như nhiệt năng, quang năng, cơ năng v.v...

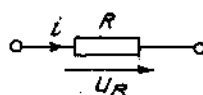
Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên điện trở là :

$$u_R = R.i \quad (1 - 6)$$

u_R - được gọi là điện áp rơi trên điện trở



Hình 1-5



Hình 1-6

Điện trở đo bằng đơn vị Ω (ôm) và được ký hiệu như hình 1 - 6.

Công suất điện trở tiêu thụ :

$$p = Ri^2 \quad (1 - 7)$$

4. Điện cảm L

Khi có dòng điện i chạy trong cuộn dây W vòng sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cuộn dây $\psi = W\phi$, ϕ là từ thông.

Điện cảm của cuộn dây được định nghĩa là

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{W\phi}{i} \quad (1 - 8)$$

$$\text{Sức điện động tự cảm là : } e_L = -\frac{Ldi}{dt} \quad (1 - 9a)$$

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên điện cảm

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

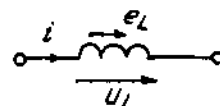
u_L còn được gọi là điện áp rơi trên điện cảm.

Năng lượng từ trường của cuộn dây :

$$W_M = L \frac{i^2}{2} \quad (1 - 10)$$

Như vậy, điện cảm L đặc trưng cho hiện tượng tạo ra từ trường và quá trình trao đổi, tích lũy năng lượng từ trường của cuộn dây.

Đơn vị của điện cảm là H (henry). Điện cảm L được ký hiệu như hình 1 - 7.



Hình 1-7

5. Điện dung C

Khi đặt điện áp u_C lên một tụ điện, sẽ có điện tích q tích lũy trên bản tụ điện.

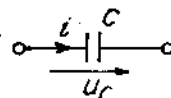
Điện dung C của tụ điện được định nghĩa là :

$$C = \frac{q}{u_C} \quad (1 - 11)$$

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên điện dung C là :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{dCu_C}{dt} = C \frac{du_C}{dt} \quad (1 - 12)$$

$$\text{hoặc viết là } u_C = \frac{1}{C} \int idt \quad (1 - 13a)$$



Hình 1-8

Nếu tại thời điểm $t = 0$ mà tụ điện đã có tích điện thì điện áp trên tụ là :

$$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t idt + u_C(0) \quad (1 - 13b)$$

u_C được gọi là điện áp rơi trên điện dung C .

Năng lượng điện trường của tụ điện

$$W_E = \frac{U_c^2 \cdot C}{2} \quad (1-14)$$

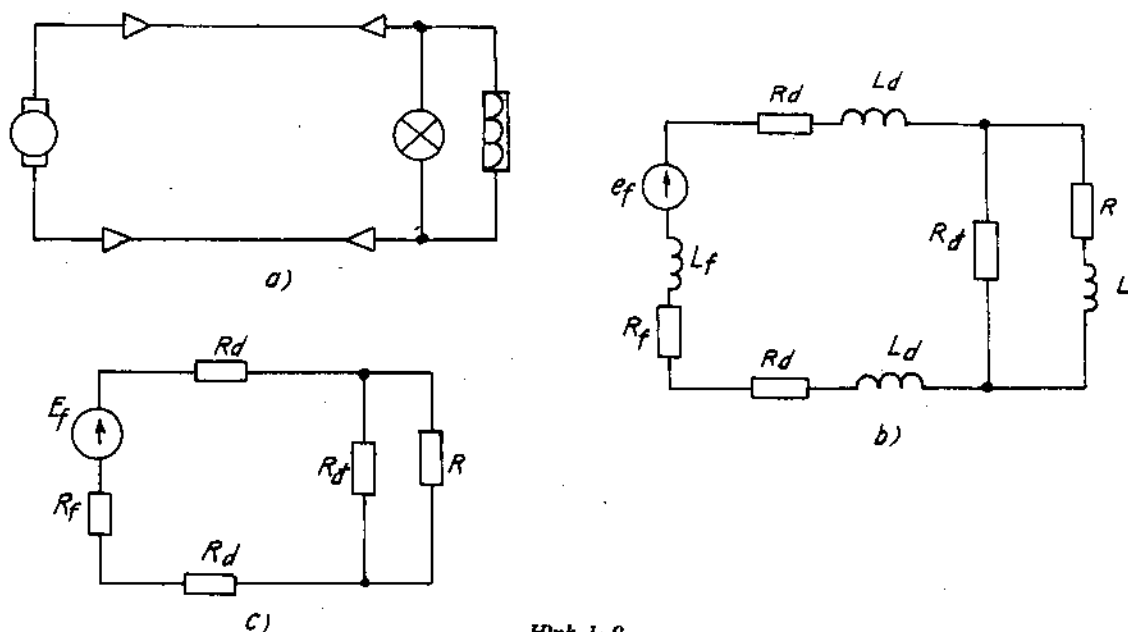
Đơn vị của điện dung là F (fara). Điện dung được kí hiệu như hình 1 - 8.

6. Mô hình mạch điện

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

Hình 1 - 9b là sơ đồ thay thế của mạch điện thực (hình 1 - 9a), trong đó máy phát điện được thay thế bằng e_f nối tiếp với L_f và R_f , đường dây được thay thế bằng R_d và L_d , bóng đèn được thay bằng R_d , cuộn dây được thay thế bằng R, L.

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



Hình 1-9

Cần chú ý rằng, phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu và điều kiện làm việc của mạch điện (tần số, dòng điện, điện áp), một mạch điện có thể có nhiều sơ đồ thay thế khác nhau. Hình 1 - 9b là sơ đồ thay thế đối với dòng điện xoay chiều, hình 1-9c là sơ đồ thay thế đối với dòng điện không đổi.

§1 - 4. PHÂN LOẠI VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MẠCH ĐIỆN

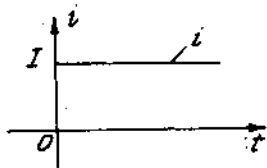
1. Phụ thuộc vào loại dòng điện trong mạch người ta phân ra

a) *Mạch điện một chiều.* Dòng điện một chiều là dòng điện có chiều không thay đổi theo thời gian. Mạch điện có dòng điện một chiều gọi là mạch điện một chiều. Dòng điện có trị số và chiều không thay đổi theo thời gian gọi là dòng điện không đổi (hình 1 - 10)

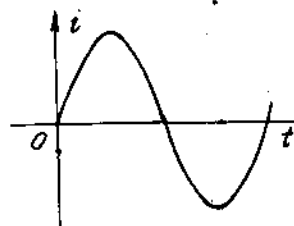
b) *Mạch điện xoay chiều.* Dòng điện xoay chiều là dòng điện có chiều biến đổi theo thời gian.

Dòng điện xoay chiều được sử dụng nhiều nhất là dòng điện hình sin, biến đổi theo hàm số sin của thời gian (hình 1 - 11)

Mạch điện có dòng điện xoay chiều gọi là mạch điện xoay chiều.



Hình 1-10



Hình 1-11

2. Phụ thuộc vào các thông số R, L, C của mạch, người ta phân ra mạch điện tuyến tính và mạch điện phi tuyến

a) *Mạch điện tuyến tính.* Tất cả các phần tử của mạch điện là phần tử tuyến tính, nghĩa là các thông số R, L, C là hằng số, không phụ thuộc vào dòng điện i và điện áp u trên chúng.

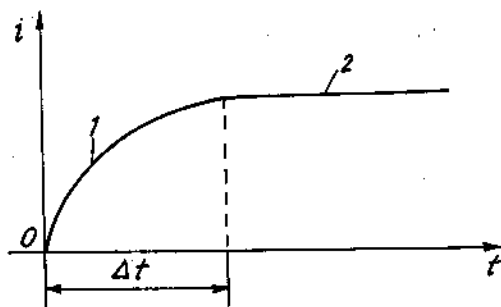
b) *Mạch điện phi tuyến.* Mạch điện có chứa phần tử phi tuyến gọi là mạch điện phi tuyến. Thông số R, L, C của phần tử phi tuyến thay đổi phụ thuộc vào dòng điện i và điện áp u trên chúng.

Trong giáo trình này chủ yếu nghiên cứu mạch điện tuyến tính.

3. Phụ thuộc vào quá trình năng lượng trong mạch người ta phân ra chế độ xác lập và chế độ quá độ

a) *Chế độ xác lập.* Chế độ xác lập là quá trình, trong đó dưới tác động của các nguồn, dòng điện và điện áp trên các nhánh đạt trạng thái ổn định. Ở chế độ xác lập, dòng điện, điện áp trên các nhánh biến thiên theo một quy luật giống với quy luật biến thiên của nguồn điện: đối với mạch điện một chiều, dòng điện, điện áp một chiều; đối với mạch điện xoay chiều, dòng điện, điện áp biến thiên theo quy luật sin với thời gian.

b) *Chế độ quá độ.* Chế độ quá độ là quá trình chuyển tiếp từ chế độ xác lập này sang chế độ xác lập khác. Chế độ quá độ xảy ra sau khi đóng cắt hoặc thay đổi thông số của mạch có chứa L, C. Thời gian quá độ thường rất ngắn. Ở chế độ quá độ, dòng điện và điện áp biến thiên theo các quy luật khác với quy luật biến thiên ở chế độ xác lập. Trên hình 1 - 12 vẽ quy luật biến thiên của dòng điện. Sau khi đóng mạch R - L vào nguồn điện áp không đổi xảy ra quá trình quá độ; dòng điện i biến thiên như đường cong 1. Sau thời gian Δt , quá trình quá độ kết thúc, và thiết lập chế độ xác lập, đường 2 vẽ dòng điện i ở chế độ xác lập.



Hình 1-12

4. Phân loại bài toán về mạch điện

Việc nghiên cứu mạch điện được phân thành 2 loại bài toán: phân tích mạch và tổng hợp mạch. Nội dung bài toán phân tích mạch là cho biết các thông số và kết cấu mạch điện, cần tính dòng, áp và công suất các nhánh. Tổng hợp mạch là bài toán

ngược lại, cần phải thành lập một mạch điện với các thông số và kết cấu thích hợp, để đạt các yêu cầu định trước về dòng, áp và năng lượng.

Trong giáo trình này chủ yếu xét bài toán phân tích mạch điện tuyến tính ở chế độ xác lập.

Cơ sở lý thuyết để nghiên cứu mạch điện là hai định luật Kiếchốp 1 và 2.

§1-5. HAI ĐỊNH LUẬT KIẾCHỐP.

Định luật Kiếchốp 1 và 2 là hai định luật cơ bản để nghiên cứu, tính toán mạch điện.

1. Định luật Kiếchốp 1.

Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không.

$$\sum i = 0 \quad (1 - 15)$$

trong đó nếu quy ước các dòng điện đi tới nút mang dấu dương, thì các dòng điện rời khỏi nút mang dấu âm, hoặc ngược lại.

Ví dụ : Tại nút K hình 1 - 13, định luật Kiếchốp 1 được viết :

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

2. Định luật Kiếchốp 2

Đi theo một vòng kín với chiều tùy ý, tổng đại số các điện áp rơi trên các phần tử bằng không.

$$\sum u = 0 \quad (1 - 16)$$

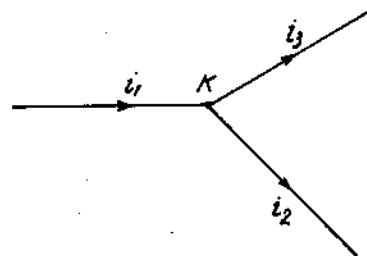
Thay thế điện áp rơi u trên các phần tử bằng các biểu thức (1 - 5), (1 - 6), (1 - 9b), (1 - 13) vào (1 - 16) và chuyển các sức điện động sang về phải, định luật Kiếchốp 2 được phát biểu như sau :

Đi theo một vòng khép kín, theo một chiều tùy ý, tổng đại số các điện áp rơi trên các phần tử R , L , C bằng tổng đại số các sức điện động trong vòng; trong đó những sức điện động và dòng điện có chiều trùng với chiều đi vòng sẽ lấy dấu dương, ngược lại mang dấu âm.

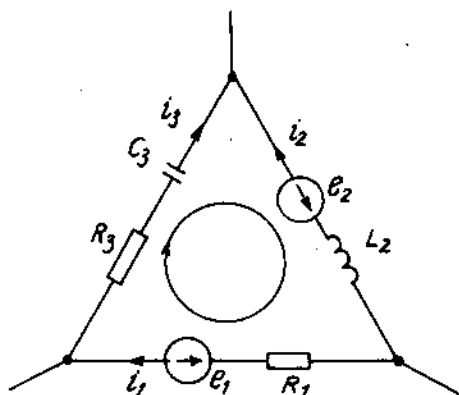
Ví dụ : Đối với vòng kín trong hình 1 - 14, định luật Kiếchốp 2 viết :

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

Cần chú ý rằng hai định luật Kiếchốp viết cho giá trị tức thời của dòng điện và điện áp. Khi nghiên cứu mạch điện ở chế độ quá độ, hai định luật Kiếchốp sẽ được viết dưới dạng này. Khi nghiên cứu mạch điện hình sin ở chế độ xác lập, dòng điện và điện áp được biểu diễn bằng vectơ và số phức, vì thế 2 định luật Kiếchốp sẽ viết dưới dạng vectơ hoặc số phức (chương 2).



Hình 1-13



Hình 1-14

Chương 2

DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Dòng điện hình sin là dòng điện xoay chiều biến đổi theo hàm sin của thời gian.

Dòng điện hình sin đang được dùng rất rộng rãi vì những ưu điểm về kĩ thuật và kinh tế.

§2-1. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CHO DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Trị số của dòng điện, điện áp hình sin ở một thời điểm t gọi là trị số tức thời và được biểu diễn là :

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2-1)$$

$$u = U_{\max} \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2-2)$$

trong đó : i, u : là trị số tức thời của dòng điện, điện áp,

$I_{\max}, U_{\max}$: là trị số cực đại (biên độ) của dòng điện, điện áp.

Để phân biệt, trị số tức thời viết bằng chữ in thường : i, u, e, p . Trị số cực đại viết bằng chữ in hoa : $I_{\max}, U_{\max}, E_{\max}$; $(\omega t + \psi_i), (\omega t + \psi_u)$: là góc pha (gọi tắt là pha) của dòng điện, điện áp. Pha xác định trị số và chiều của dòng điện, điện áp ở thời điểm t .

ψ_i, ψ_u : là pha đầu của dòng điện, điện áp. Pha đầu là pha ở thời điểm $t = 0$. Phụ thuộc vào chọn tọa độ thời gian, pha đầu có thể bằng không, âm hoặc dương. Trên hình 2-1 vẽ cho trường hợp $\psi_u > 0$ và $\psi_i < 0$.

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

Chu kỳ T của dòng điện hình sin 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 kì của dòng điện trong một giây gọi là tần số f .

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2-3)$$

Đơn vị của tần số là Hz (héc).

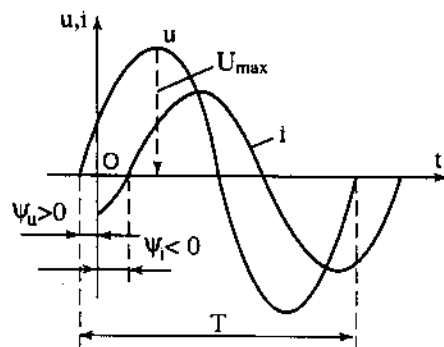
Giữa tần số f và tần số góc ω có quan hệ sau :

$$\omega = 2\pi f \quad (2-4)$$

Tần số của dòng điện xoay chiều trong công nghiệp :

$$f = 50 \text{ Hz}, \omega = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}$$

Do đặc tính các thông số của mạch, các đại lượng dòng điện, điện áp thường có sự lệch pha với nhau. Góc lệch pha giữa các đại lượng là hiệu số pha đầu của chúng. Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện thường kí hiệu là φ , được định nghĩa như sau :



Hình 2-1

$$\varphi = \psi_u - \psi_i \quad (2-5)$$

Góc φ phụ thuộc vào các thông số của mạch

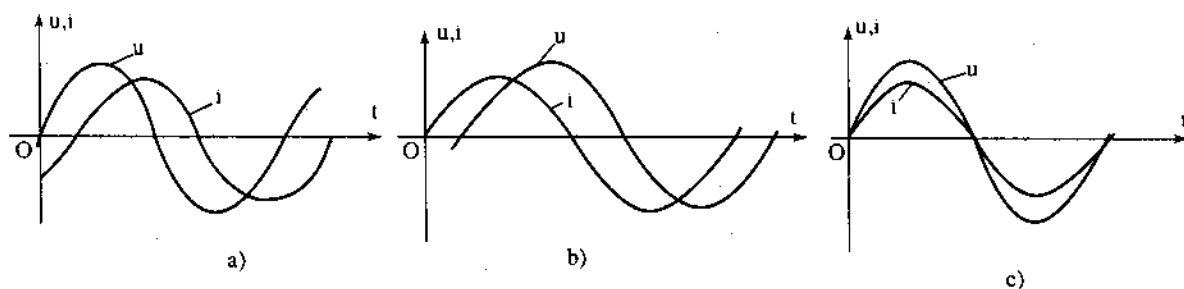
$\varphi > 0$ điện áp vượt trước dòng điện (hình 2-2a)

$\varphi < 0$ điện áp chậm sau dòng điện (hình 2-2b)

$\varphi = 0$ điện áp trùng pha dòng điện (hình 2-2c)

Nếu biểu thức tức thời của điện áp u là :

$$u = U_{\max} \sin \omega t \quad (2-6)$$



Hình 2-2

thì dòng điện tức thời là :

$$i = I_{\max} \sin(\omega t - \varphi) \quad (2-7)$$

§2-2. TRỊ SỐ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Chúng ta đã biết tác dụng nhiệt, lực của dòng điện tỉ lệ với bình phương dòng điện. Đối với dòng điện biến đổi chu kì để tính các tác dụng, cần tính trị số trung bình bình phương dòng điện trong một chu kì. Ví dụ khi tính công suất tác dụng P của dòng điện qua điện trở R , ta phải tính trị số trung bình công suất điện trở tiêu thụ trong thời gian một chu kì T . Công suất tác dụng được tính như sau :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2 dt = R \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = RI^2 \quad (2-8)$$

trong đó

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (2-9)$$

Trị số I tính theo biểu thức (2-9) được gọi là trị số hiệu dụng của dòng điện biến đổi. Nó được dùng để đánh giá, tính toán hiệu quả tác động của dòng điện biến thiên theo chu kỳ.

Đối với dòng điện hình sin, thay $i = I_{\max} \sin \omega t$ vào (2-9), sau khi lấy tích phân, ta được quan hệ giữa các trị số hiệu dụng và trị số cực đại là :

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2-10)$$

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

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2-11)$$

$$E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2-12)$$

Thay thế trị số $I_{\max}$, $U_{\max}$ theo (2-10) và (2-11) vào biểu thức (2-1) và (2-2), ta được biểu thức trị số tức thời viết theo trị số hiệu dụng như sau :

$$i = I \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2-13)$$

$$u = U \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2-14)$$

Trị số hiệu dụng được dùng rất nhiều. Trong thực tế, khi nói trị số dòng điện 10A, điện áp 220V ta hiểu đó là trị số hiệu dụng của chúng. Các số ghi trên các dụng cụ và thiết bị, thường là trị số hiệu dụng. Trị số hiệu dụng thường được dùng trong các công thức tính toán và đồ thị vectơ.

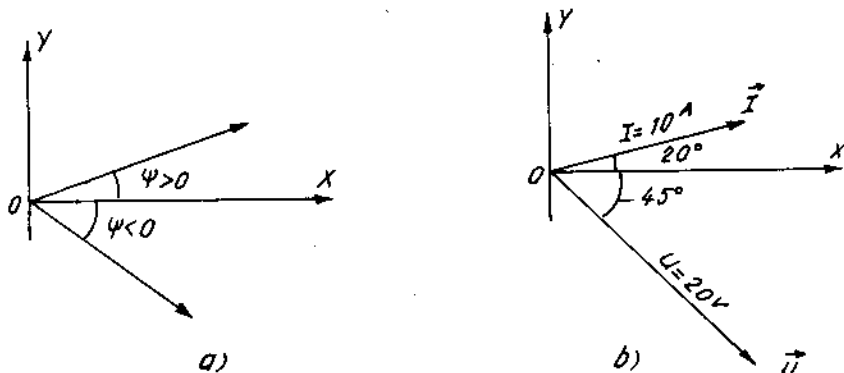
Trị số hiệu dụng viết bằng chữ in hoa I, U, E, P.

§2-3. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG VECTO

Trong tiết §2-1, §2-2 ta đã biểu diễn dòng điện hình sin bằng biểu thức tức thời (2-1), (2-2), hoặc đường cong trị số tức thời (hình 2-1).

Việc biểu diễn như vậy không thuận tiện khi cần so sánh hoặc thực hiện các phép tính cộng, trừ dòng điện, điện áp. Từ toán học ta đã biết việc cộng, trừ các đại lượng hình sin cùng tần số, tương ứng với việc cộng, trừ các vectơ biểu diễn chúng trên đồ thị, vì thế trong kĩ thuật điện thường hay biểu diễn các đại lượng hình sin bằng vectơ có độ lớn (môđun) bằng trị số hiệu dụng và góc tạo với trục Ox bằng pha đầu của các đại lượng ấy. Bằng cách biểu diễn đó mỗi đại lượng hình sin được biểu diễn bằng một vectơ, ngược lại mỗi vectơ biểu diễn một đại lượng hình sin tương ứng.

Trên hình 2-3a vẽ các vectơ ứng với góc pha $\psi > 0$ và $\psi < 0$. Để ví dụ, trong hình 2-3b, vẽ vectơ dòng điện $\vec{I}$ biểu diễn dòng điện $i = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 20^\circ)$, và vectơ điện áp $\vec{U}$ biểu diễn điện áp $u = 20\sqrt{2} \sin(\omega t - 45^\circ)$.



Hình 2-3

Sau khi đã biểu diễn các đại lượng dòng điện và điện áp bằng vectơ, hai định luật Kiếchốp sẽ được viết dưới dạng sau :

Định luật Kiếchốp 1 : $\sum \vec{I} = 0 \quad (2-15)$

Định luật Kiếchốp 2 : $\sum \vec{U} = 0 \quad (2-16)$

Dựa vào cách biểu diễn các đại lượng và 2 định luật Kiếchốp bằng vectơ, ta có thể giải mạch điện trên đồ thị, gọi là phương pháp đồ thị vectơ.

§2-4. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN TRỞ

Khi có dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua điện trở R hình 2-4a, điện áp trên điện trở sẽ là :

$$u_R = Ri = RI_{\max} \sin \omega t = U_{R\max} \sin \omega t$$

trong đó :

$$U_{R\max} = RI_{\max}$$

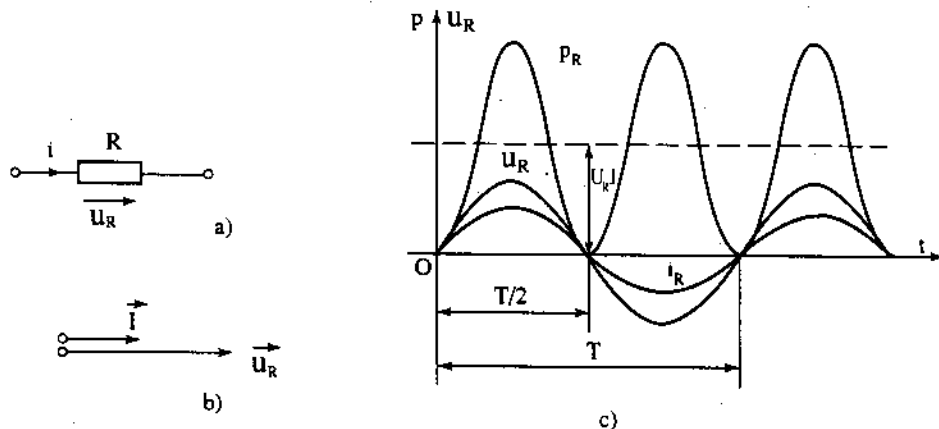
$$U_R = \frac{U_{R\max}}{\sqrt{2}} = RI$$

Từ đó rút ra :

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

$$U_R = RI \text{ hoặc } I = \frac{U_R}{R} \quad (2-17)$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số và trùng pha nhau. Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 2-4b.



Hình 2-4

Công suất tức thời của điện trở là :

$$p_R(t) = u_R i = U_{\max} I_{\max} \sin^2 \omega t = U_R I (1 - \cos 2\omega t) \quad (2-18)$$

Trên hình 2-4c vẽ đường cong u_R , i và p_R . Ta thấy $p_R(t) \geq 0$, 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 đưa ra khái niệm công suất tác dụng P , là trị số trung bình của công suất tức thời p_R trong một chu kỳ.

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

Sau khi lấy tích phân ta có :

$$P = U_R I = RI^2 \quad (2-19)$$

Đơn vị của công suất tác dụng là W (oát) hoặc kW (kilôoát) = 10^3 W.

§2-5. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN CẢM

Khi có dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua điện cảm L hình 2-5a điện áp trên điện cảm sẽ là :

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_{\max} \sin \omega t)}{dt} = \omega L I_{\max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \\ = U_{L\max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

trong đó $U_{L\max} = \omega L I_{\max} = X_L I_{\max}$

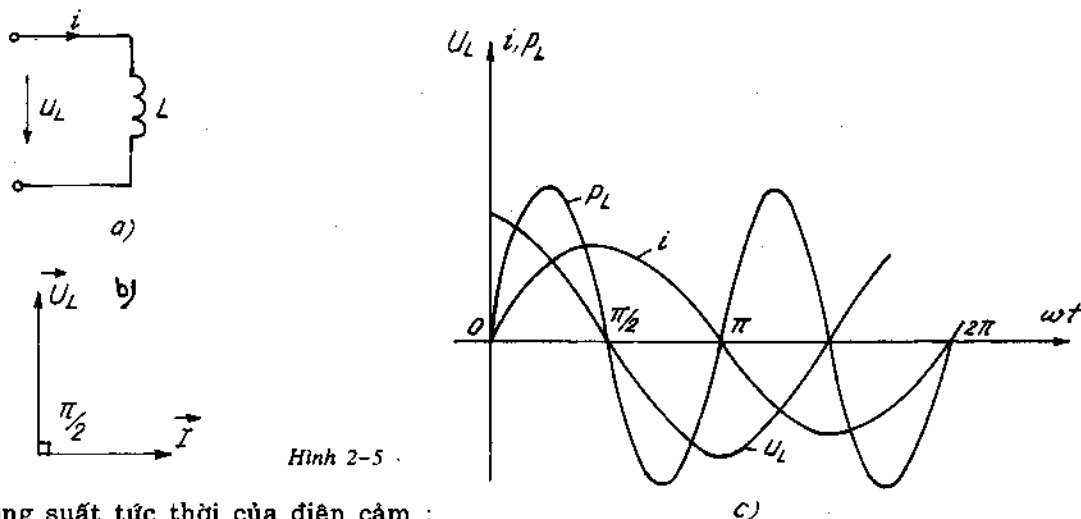
$$U_L = \frac{U_{L\max}}{\sqrt{2}} = X_L I$$

$X_L = \omega L$ có thứ nguyên của điện trở, đo bằng Ω gọi là cảm kháng.

Từ đó rút ra quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng và áp là :

$$U_L = X_L I \text{ hoặc } I = \frac{U_L}{X_L} \quad (2-20)$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số song lệch pha nhau một góc $\pi/2$. Dòng điện chậm sau điện áp một góc $\pi/2$. Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 2-5b



Hình 2-5 .

Công suất tức thời của điện cảm :

$$p_L(t) = u_L i = U_{L\max} I_{\max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \sin \omega t = \\ = \frac{U_{L\max} I_{\max}}{2} \sin 2\omega t = U_L I \sin 2\omega t \quad (2-21)$$

Trên hình 2-5c vẽ đường cong u_L , i và p_L . Ta thấy có hiện tượng trao đổi năng lượng. Trong khoảng $\omega t = 0$ 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 cho nguồn và mạch ngoài. Quá trình cứ tiếp diễn tương tự, vì thế trị số trung bình của công suất $p_L(t)$ trong một chu kì sẽ bằng không.

Công suất tác dụng của điện cảm bằng không.

$$P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L(t) dt = 0$$

Để biểu thị cường độ quá trình trao đổi năng lượng của điện cảm ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q_L của điện cảm. Theo công thức 2-21 ta có :

$$Q_L = U_L I = X_L I^2 \quad (2-22)$$

Đơn vị của công suất phản kháng là var hoặc kvar = 10^3 var.

§2-6. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN DUNG

Khi có dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua điện dung (hình 2-6a) điện áp trên điện dung là :

$$\begin{aligned} u_C(t) &= \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int I_{\max} \sin \omega t dt = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= U_{C\max} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned}$$

trong đó : $U_{C\max} = \frac{1}{\omega C} I_{\max} = X_C I_{\max}$

$$U_C = \frac{U_{C\max}}{\sqrt{2}} = X_C I$$

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ có thứ nguyên của điện trở, đo bằng Ω được gọi là dung kháng.

Từ đó rút ra :

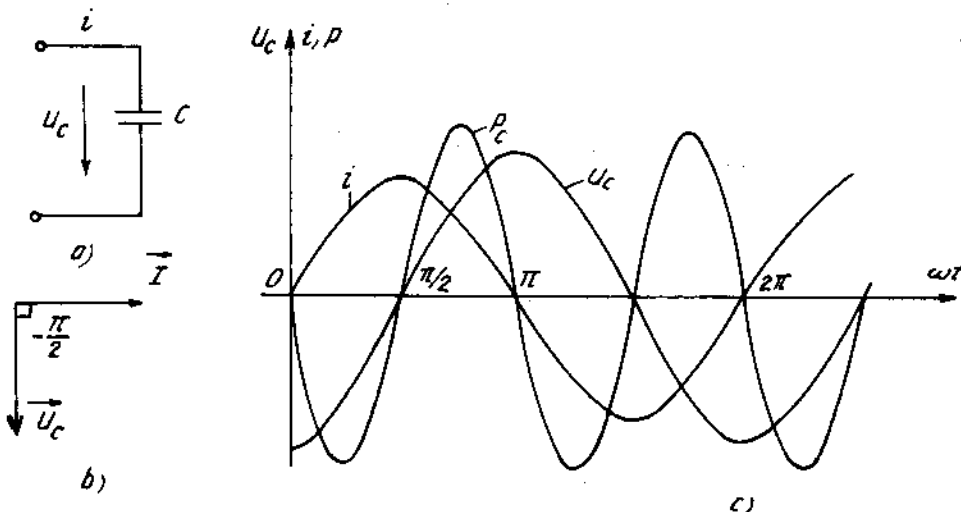
Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng điện và điện áp là :

$$U_C = X_C I ; \text{ hoặc } I = \frac{U_C}{X_C} \quad (2-23)$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số song lệch pha nhau một góc $\pi/2$. Dòng điện vượt trước điện áp một góc $\pi/2$. Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 2-6b.

Công suất tức thời của điện dung :

$$p_C(t) = u_C i = U_{C\max} \cdot I_{\max} \sin \omega t \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = - U_C I \sin 2\omega t \quad (2-24)$$



Hình 2-6

Trên hình 2-6c vẽ đường cong u_C , i và p_C . Ta nhận thấy có hiện tượng trao đổi năng lượng giữa điện dung với phần mạch còn lại. Công suất tác dụng điện dung tiêu thụ :

$$P_C = \frac{1}{T} \int_0^T p_C(t) dt = 0$$

Để biểu thị cường độ quá trình trao đổi năng lượng của điện dung, ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q_C của điện dung.

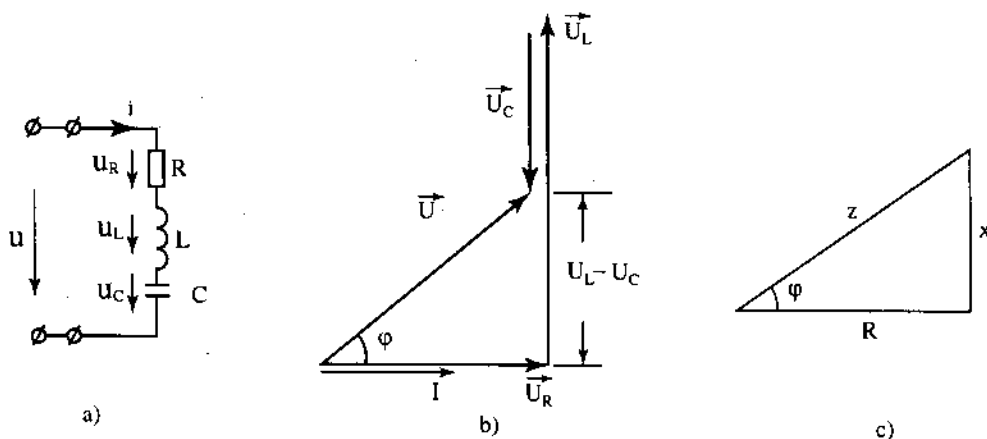
Theo công thức (2-24) ta có :

$$Q_C = -U_C I = -X_C I^2 \quad (2-25)$$

Đơn vị công suất phản kháng là var hoặc kvar (kilô var) = 10^3 var.

§2-7. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH R - L - C NỐI TIẾP

Khi có dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua nhánh R - L - C nối tiếp (hình 2-7a) sẽ gây ra những điện áp u_R , u_L , u_C trên các phần tử R, L, C. Như đã xét ở tiết §2-4, §2-5, §2-6, các đại lượng dòng và áp đều biến thiên hình sin với cùng tần số, do đó có thể biểu diễn trên cùng một đồ thị vectơ. Dòng điện i chung cho các phần tử, vì thế trước hết ta vẽ vectơ dòng điện $\vec{I}$, sau đó dựa vào các kết luận về góc lệch pha (đã xét ở trên) vẽ các vectơ điện áp trên điện trở $\vec{U}_R$, điện áp trên điện cảm $\vec{U}_L$, điện áp trên điện dung $\vec{U}_C$. (hình 2-7b)



Hình 2-7

Điện áp nguồn U bằng :

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

Từ đồ thị vectơ ta tính được trị số hiệu dụng của điện áp

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = Iz.$$

trong đó :

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2-26)$$

z có thứ nguyên là Ω , gọi là tổng trở của nhánh R - L - C nối tiếp.

$$\text{Đặt} \quad X = X_L - X_C \quad (2-27)$$

X được gọi là điện kháng của nhánh. Từ công thức (2-26) chúng ta thấy điện trở R , điện kháng X và tổng trở z là 3 cạnh của một tam giác vuông trong đó đường huyền là tổng trở z , còn hai cạnh góc vuông là điện trở R và điện kháng X (hình 2-7c). Tam giác tổng trở giúp ta dễ dàng nhớ các quan hệ giữa các thông số R , X , z và tính góc lệch pha φ . Nghiên cứu nhánh $R - L - C$ nối tiếp ta rút ra :

Quan hệ giữa trị số hiệu dụng dòng và áp trên nhánh $R - L - C$ nối tiếp là :

$$U = Iz \text{ hoặc } I = \frac{U}{z} \quad (2-28)$$

Điện áp lệch pha với dòng điện một góc $\varphi = \psi_u - \psi_i$ được tính như sau :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{I(X_L - X_C)}{IR} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R} \quad (2-29)$$

Khi $X_L - X_C = 0$, góc $\varphi = 0$ dòng điện trùng pha với điện áp, lúc này ta có hiện tượng cộng hưởng điện áp, dòng điện trong nhánh $I = \frac{U}{R}$ đạt trị số lớn nhất.

Nếu $X_L > X_C$, $\varphi > 0$ mạch có tính chất điện cảm, dòng điện chậm sau điện áp một góc φ .

Nếu $X_L < X_C$, $\varphi < 0$, mạch có tính chất điện dung, dòng điện vượt trước điện áp một góc φ .

§2-8. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Ta xét trường hợp tổng quát, mạch điện có thể chỉ có một nhánh, một phần tử, một thiết bị như đã xét ở trên, hoặc gồm nhiều nhánh có các thông số R , L , C như kí hiệu ở hình 2-8.

Khi biết dòng điện I , điện áp U , góc lệch pha φ giữa điện áp và dòng điện ở đầu vào, hoặc biết các thông số R , L , C của các nhánh, ta tính công suất như sau : Đối với dòng điện xoay chiều có ba loại công suất :

1. Công suất tác dụng P

Công suất tác dụng P là công suất trung bình trong một chu kỳ :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T ui dt \quad (2-30)$$

Thay giá trị của u và i vào (2-30) ta có

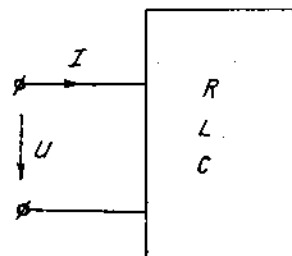
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U\sqrt{2}\sin\omega t \cdot I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi) dt$$

Sau khi lấy tích phân ta có :

$$P = UI\cos\varphi \quad (2-31)$$

Công suất tác dụng P có thể được tính bằng tổng công suất tác dụng trên các điện trở của các nhánh của mạch điện

$$P = \sum R_n I_n^2 \quad (2-32)$$



Hình 2-8

trong đó : R_n , I_n là điện trở, dòng điện của mỗi nhánh.

Công suất tác dụng P đặc trưng cho hiện tượng biến đổi điện năng sang các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, cơ năng v.v...

2. Công suất phản kháng Q

Để đặc trưng cho cường độ quá trình trao đổi năng lượng điện từ trường, trong tính toán người ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q .

$$Q = UI \sin \varphi \quad (2-33a)$$

Công suất phản kháng có thể được tính bằng tổng công suất phản kháng của điện cảm và điện dung của mạch điện.

$$Q = Q_L + Q_C = \sum X_{Ln} I_n^2 - \sum X_{Cn} I_n^2 \quad (2-33b)$$

trong đó : X_{Ln} , X_{Cn} , I_n lần lượt là cảm kháng, dung kháng, dòng điện của mỗi nhánh.

3. Công suất biểu kiến S

Ngoài công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q người ta còn đưa ra khái niệm công suất biểu kiến được định nghĩa là :

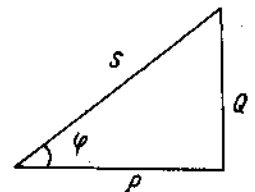
$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-34)$$

Công suất biểu kiến còn được gọi là công suất toàn phần.

So sánh biểu thức của P và S ta thấy cực đại của công suất tác dụng P (khi $\cos \varphi = 1$) bằng công suất biểu kiến S . Vậy S nói lên khả năng của thiết bị. Trên biển máy của các máy phát điện, máy biến áp người ta ghi công suất biểu kiến định mức của chúng.

Quan hệ giữa S , P , Q được mô tả bằng một tam giác vuông, trong đó S là cạnh huyền, P , Q là 2 cạnh góc vuông (hình 2-9).

P , S , Q có cùng một thứ nguyên, song để phân biệt ta cho các đơn vị khác nhau. Đơn vị của P là W của Q là var và của S là V.A.



Hình 2-9

§2-9. 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. Hệ số $\cos \varphi$ là chỉ tiêu kĩ thuật quan trọng, nó có ý nghĩa rất lớn về kinh tế.

Nâng cao hệ số $\cos \varphi$ sẽ tăng được khả năng sử dụng công suất nguồn. Ví dụ một máy phát điện có $S_{dm} = 10000$ kVA nếu $\cos \varphi = 0,7$, công suất định mức phát ra $P_{dm} = S_{dm} \cos \varphi = 10000.0,7 = 7000$ kW, nếu nâng $\cos \varphi = 0,9$, $P_{dm} = 10000.0,9 = 9000$ kW.

Như vậy rõ ràng là sử dụng thiết bị có lợi hơn rất nhiều.

Mặt khác nếu cần một công suất P nhất định trên đường dây một pha thì dòng điện chạy trên đường dây là :

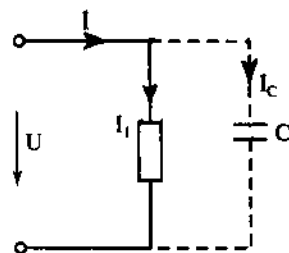
$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

Nếu $\cos\varphi$ lớn thì I sẽ nhỏ dẫn đến tiết diện dây nhỏ hơn, và tổn hao điện năng trên đường dây sẽ bé.

Trong sinh hoạt và trong công nghiệp tải thường có tính chất điện cảm nên $\cos\varphi$ thấp. Để nâng cao $\cos\varphi$ ta dùng tụ điện nối song song với tải (hình 2-10a)

Khi chưa bù (chưa có nhánh tụ điện) dòng điện trên đường dây I bằng dòng điện qua tải I_1 , hệ số công suất của mạch là $\cos\varphi_1$ của tải. Khi có bù (có nhánh tụ điện), dòng điện trên đường dây I là :

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



Hình 2-10 a

Từ đồ thị hình 2-10b ta thấy dòng điện I trên đường dây giảm, và $\cos\varphi$ tăng lên :

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

Vì rằng công suất P của tải không đổi, nên công suất phản kháng của mạch là :

Lúc chưa bù chỉ có công suất Q_1 của tải :

$$Q_1 = P \tan\varphi_1 \quad (2-35)$$

Lúc có bù, hệ số công suất là $\cos\varphi$, công suất phản kháng của mạch là :

$$Q = P \tan\varphi$$

Khi ấy công suất phản kháng của mạch gồm Q_1 của tải và Q_C của tụ điện :

$$\text{Do đó : } Q_1 + Q_C = P \tan\varphi_1 + Q_C = P \tan\varphi$$

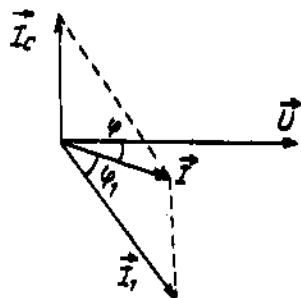
$$\text{Rút ra } Q_C = -P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi) \quad (2-36)$$

Mặt khác công suất Q_C của tụ được tính là :

$$Q_C = -U_C I_C = -U \cdot U \omega C = -U^2 \omega C \quad (2-37)$$

Từ (2-37) và (2-36) ta tính được giá trị điện dung C cần thiết để nâng hệ số công suất mạch điện từ $\cos\varphi_1$ lên $\cos\varphi$ là :

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi) \quad (2-38)$$



Hình 2-10b

§2-10. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG SỐ PHỨC

Phương pháp đồ thị véctơ được ứng dụng rộng rãi khi nghiên cứu mạch điện hình sin. Nó giúp ta biểu diễn rõ ràng trị số hiệu dụng, góc pha, góc lệch pha, rất thuận tiện khi cần minh họa, so sánh và giải các mạch điện đơn giản. Tuy nhiên cách biểu diễn véctơ gặp nhiều khó khăn khi giải mạch điện phức tạp. Khi giải mạch điện hình sin ở chế độ xác lập một công cụ rất hiệu lực là biểu diễn các đại lượng hình sin bằng số phức.

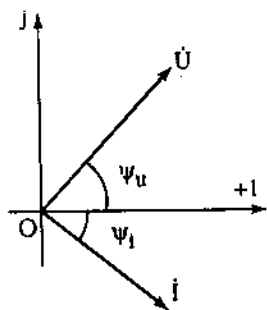
Ở tiết §2-3 ta đã biểu diễn dòng điện hình sin bằng véctơ trong tọa độ vuông góc xOy .

Thay trục Ox bằng trục số thực $+1$, và thay trục Oy bằng trục số ảo $+j$, ta đã thực hiện việc biểu diễn đại lượng hình sin bằng số phức trong tọa độ phức (hình 2-11).

Số phức biểu diễn các đại lượng hình sin ký hiệu bằng các chữ in hoa, có dấu chấm ở trên. Số phức có 2 dạng ;

Dạng số mũ $\dot{I} = Ie^{j\psi_i}$, $\dot{U} = Ue^{j\psi_u}$ có môđun I , U (độ lớn) bằng trị số hiệu dụng và argumen ψ_i , ψ_u bằng pha đầu các đại lượng sin. Dạng mũ còn được kí hiệu $\dot{I} = I \angle \psi_i$; $\dot{U} = U \angle \psi_u$.

Ví dụ : Dòng điện $i = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ)$ được biểu diễn bằng số phức $\dot{I} = 10e^{-j30^\circ}$. Ngược lại số phức $\dot{U} = 200e^{j60^\circ}$ biểu diễn điện áp $u = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ)$.



Hình 2-11

Dạng đại số của số phức dòng điện và điện áp là :

$$\dot{I} = I \cos \psi_i + j I \sin \psi_i = 10 \cos(-30^\circ) + j 10 \sin(-30^\circ) = 5\sqrt{3} - j5.$$

$$\dot{U} = U \cos \psi_u + j U \sin \psi_u = 200 \cos 60^\circ + j 200 \sin 60^\circ = 100 + j 100 \sqrt{3}.$$

trong đó

$I \cos \psi_i$, $U \cos \psi_u$ là phần thực của số phức

$j I \sin \psi_i$, $j U \sin \psi_u$ là phần ảo của số phức

$j = \sqrt{-1}$ là đơn vị ảo. (trong toán học kí hiệu đơn vị ảo là i , ở đây để không nhầm lẫn với dòng điện nên kí hiệu là j).

1. Nhắc lại một số phép tính đối với số phức

a) Cộng, trừ. Gặp trường hợp phải cộng (trừ) các số phức, ta biến đổi chúng về dạng đại số, rồi cộng (trừ) phần thực với phần thực, phần ảo với phần ảo

$$(4 + j3) + (5 + j6) = (4 + 5) + j(3 + 6) = 9 + j9$$

$$(4 - j3) - (5 + j6) = (4 - 5) + j(-3 - 6) = -1 - j9.$$

b) Nhân, chia. Khi phải nhân, chia ta nên đưa về dạng mũ :

Nhân (chia) hai số với nhau, ta nhân (chia) môđun, còn argumen thì cộng (trừ) cho nhau

$$5e^{j120^\circ} \cdot 2e^{j40^\circ} = 5 \cdot 2e^{j(20^\circ + 40^\circ)} = 10e^{j60^\circ}$$

$$\frac{255e^{j35^\circ}}{5e^{j15^\circ}} = \frac{255}{5} e^{j(35^\circ - 15^\circ)} = 51e^{j20^\circ}$$

Nhân (chia) cũng có thể thực hiện dưới dạng đại số như bình thường

$$(a + jb)(c + jd) = ac + jbc + jad + j^2bd = (ac - bd) + j(bc + ad)$$

trong đó $j = \sqrt{-1}$ do đó $j^2 = -1$

Khi chia (ta) nhân tử và mẫu số với số phức liên hợp của mẫu số

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{(a + jb)(c - jd)}{(c + jd)(c - jd)} = \frac{(ac + bd) + j(bc - ad)}{c^2 + d^2}$$

c) Nhân số phức với $e^{\pm j\alpha}$

$$Ae^{j\psi} \cdot e^{\pm j\alpha} = Ae^{j(\psi \pm \alpha)}$$

nghĩa là khi nhân một số phức với $e^{j\alpha}$ ta quay véc-tơ biểu diễn số phức ấy đi một góc α ngược chiều quay kim đồng hồ. Khi nhân số phức với $e^{-j\alpha}$ ta quay véc-tơ biểu diễn số phức ấy một góc α cùng chiều quay kim đồng hồ. (hình 2-12)

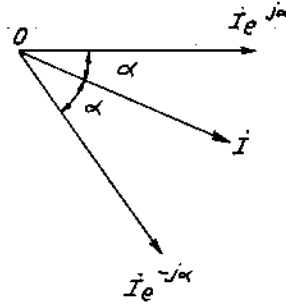
d) Nhân số phức với $\pm j$

Theo công thức Ôle

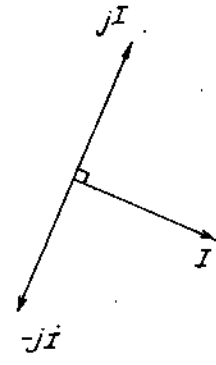
$$e^{j\pi/2} = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + j\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = j$$

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

Như vậy khi nhân một số với j , ta quay vectơ biểu diễn số phức đó đi một góc $\pi/2$ ngược chiều quay kim đồng hồ. Khi nhân với $(-j)$ ta quay đi một góc $\pi/2$ cùng chiều quay kim đồng hồ (hình 2-13).



Hình 2-12



Hình 2-13

Bây giờ chúng ta sẽ viết các thông số tổng trở, các định luật dưới dạng số phức.

2. Tổng trở phức

Tổng trở phức được định nghĩa là :

$$\bar{Z} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}} = \frac{Ue^{j\psi_u}}{Ie^{j\psi_i}} = \frac{U}{I} e^{j(\psi_u - \psi_i)} = ze^{j\varphi} \quad (2-39)$$

Đây là dạng mũ của tổng trở phức

Theo tam giác tổng trở thì

$$z \cos \varphi = R ; z \sin \varphi = X$$

Tổng trở phức được viết dưới dạng đại số như sau :

$$\bar{Z} = ze^{j\varphi} = z \cos \varphi + jz \sin \varphi = R + jX \quad (2-40)$$

trong đó phần thực là điện trở R , phần ảo là điện kháng X . Tổng trở phức được ký hiệu bằng chữ in hoa có gạch ngang ở trên $\bar{Z}$. Môđun của tổng trở phức $z = |\bar{Z}|$ (viết bằng chữ in thường).

* **Tổng dẫn phức.** Tổng dẫn phức được định nghĩa là :

$$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = \frac{1}{z} e^{-j\varphi} = ye^{-j\psi} \quad (2-41)$$

$$\text{hoặc} \quad \bar{Y} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} = g - jb \quad (2-42)$$

$$\text{trong đó} \quad g = \frac{R}{R^2 + X^2} ; b = \frac{X}{R^2 + X^2} ; y = \frac{1}{z}$$

Tổng dẫn phức ký hiệu bằng chữ in hoa có gạch ngang ở trên $\bar{Y}$. Môđun của tổng dẫn phức $y = |\bar{Y}|$, ký hiệu bằng chữ in thường y .

3. Định luật Kiếchốp

a) Định luật Kiếchốp 1 dưới dạng phức

$$\sum \bar{I} = 0 \quad (2-43)$$

b) Định luật Kiếchốp 2 dưới dạng phức

$$\sum \bar{I}\bar{Z} = \sum \bar{E} \quad (2-44)$$

Quy ước và dấu của $\bar{I}$, $\bar{E}$ như đã nói ở chương 1.

Nhờ cách biểu diễn các đại lượng hình sin bằng số phức, ta viết được các phương trình mạch điện, thiết bị điện dưới dạng đại số, và giải mạch điện phức tạp ở chế độ xác lập hình sin một cách thuận tiện.

Chương 3

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

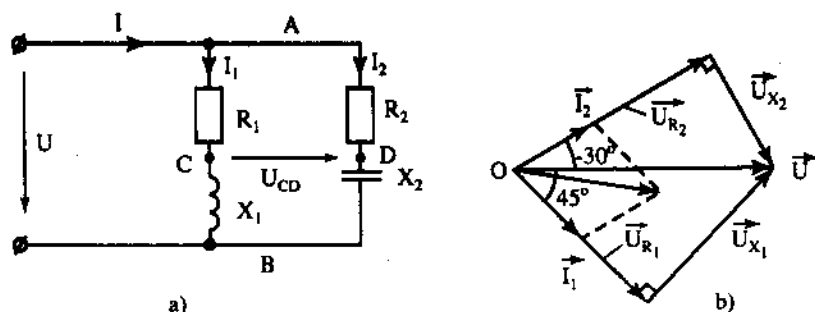
Hai định luật Kiếchốp là cơ sở để giải mạch điện.

Khi giải mạch điện ở chế độ quá độ, các định luật viết theo giá trị tức thời của dòng điện và điện áp (công thức 1-5 ; 1-6 ; 1-9 ; 1-12 ; 1-13a ; 1-13b ; 1-15 ; 1-16). Khi nghiên cứu mạch điện hình sin ở chế độ xác lập, ta biểu diễn dòng điện, điện áp dưới dạng vectơ, số phức, viết các định luật Kiếchốp dưới dạng vectơ (2-15, 2-16) hoặc số phức (2-43, 2-44), đặc biệt khi cần lập hệ phương trình để giải mạch điện phức tạp, ta sử dụng phương pháp biểu diễn số phức. Đối với mạch dòng điện không đổi ở chế độ xác lập, ta có thể xem là một trường hợp riêng của dòng điện hình sin. Khi đó tần số $\omega = 0$, do đó nhánh có điện dung coi như hở mạch (vì $\frac{1}{\omega C} = \infty$), và điện cảm coi như bị nối tắt (vì $\omega L = 0$), mạch chỉ còn điện trở, việc giải sẽ đơn giản rất nhiều. Dưới đây ta sẽ nghiên cứu giải mạch điện hình sin ở chế độ xác lập.

§3-1. ỨNG DỤNG BIỂU DIỄN VECTƠ GIẢI MẠCH ĐIỆN

Đối với các mạch điện đơn giản, khi biết được điện áp trên các nhánh, sử dụng định luật Ôm, tính dòng điện các nhánh (tính trị số hiệu dụng và góc lệch pha theo các công thức ở chương 2). Biểu diễn dòng điện, điện áp lên đồ thị vectơ. Dựa vào các định luật Kiếchốp, định luật Ôm, tính toán bằng đồ thị các đại lượng cần tìm.

Ví dụ : Tính dòng điện I_1 , I_2 , I , và điện áp U_{CD} (hình 3-1a). Cho $U = 100V$; $R_1 = 5\Omega$; $X_1 = 5\Omega$. $R_2 = 5\sqrt{3}\Omega$; $X_2 = 5\Omega$.



Hình 3-1

Dòng điện
$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = 10\sqrt{2}A$$

Góc lệch pha
$$\varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{R_1} = 45^\circ$$

Dòng điện
$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = 10A$$

Góc lệch pha $\varphi_2 = \arctg \frac{-X_2}{R_2} = -30^\circ$

vẽ đồ thị vectơ điện áp và dòng điện trên hình 3-1b. Trước hết vẽ vectơ điện áp $\vec{U}$, căn cứ vào $\varphi_1, I_1; \varphi_2, I_2$ vẽ vectơ $\vec{I}_1, \vec{I}_2$. Dựa vào định luật Kiếchốp 1, cộng vectơ dòng điện $\vec{I}_1, \vec{I}_2$, ta được vectơ $\vec{I}$.

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$

Để tính I, ta chiếu các vectơ lên hai trục Ox, Oy. Nếu chọn trục Ox trùng với điện áp $\vec{U}$ thì :

Hình chiếu vectơ $\vec{I}$ lên trục Ox là :

$$I_x = I_1 \cos(-45^\circ) + I_2 \cos(30^\circ) = 10 + 5\sqrt{3}$$

Hình chiếu trên trục Oy

$$I_y = I_1 \sin(-45^\circ) + I_2 \sin(30^\circ) = -10 + 5 = -5$$

Trị số hiệu dụng dòng điện I

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = 19,32A$$

Góc $\psi = \arctg \frac{I_y}{I_x} = -15^\circ$

Bằng hình học $I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2I_1I_2\cos(\vec{I}_1, \vec{I}_2)} =$
 $= \sqrt{(10\sqrt{2})^2 + 10^2 + 2 \cdot 10\sqrt{2} \cdot 10 \cdot \cos 75^\circ} = 19,32A$

Để tính U_{CD} , ta vẽ vectơ điện áp các phần tử của các nhánh :

Đối với nhánh 1. $\vec{U}_{R1} + \vec{U}_{L1} = \vec{U}$

trong đó vectơ $\vec{U}_{R1}$ trùng pha với $\vec{I}_1$, vectơ $\vec{U}_{L1}$ vượt trước $\vec{I}_1$ góc pha $\pi/2$.

Đối với nhánh 2. $\vec{U}_{R2} + \vec{U}_{C2} = \vec{U}$

Vectơ $\vec{U}_{R2}$ trùng pha với $\vec{I}_2$, vectơ $\vec{U}_{C2}$ chậm pha so với $\vec{I}_2$ góc pha $\pi/2$.

Điện áp $\vec{U}_{CD} = \vec{U}_{L1} - \vec{U}_{C2}$

hoặc $\vec{U}_{CD} = -\vec{U}_{R1} + \vec{U}_{R2}$

Bằng hình học tính được :

$$U_{CD} = \sqrt{U_{R1}^2 + U_{R2}^2 - 2U_{R1} \cdot U_{R2} \cos(75^\circ)} = 96,59V$$

§3-2. ỨNG DỤNG BIỂU DIỄN SỐ PHỨC GIẢI MẠCH ĐIỆN

Số phức được ứng dụng rất nhiều khi cần lập hệ phương trình giải mạch điện phức tạp. Ta sẽ thấy rõ ở §3-3 ; §3-4 ; §3-5. v.v...

Tuy nhiên ngay cả đối với mạch đơn giản, bằng cách biểu diễn số phức, ta có thể tính toán giải tích mà không phải giải bằng hình học trên đồ thị.

Ta giải mạch hình 3-1a bằng biểu diễn số phức như sau :

Tổng trở phức nhánh 1 : $\vec{Z}_1 = R_1 + jX_{L1} = 5 + j5$

Dòng điện phức nhánh 1 : $\vec{I}_1 = \frac{\vec{U}}{\vec{Z}_1} = \frac{100}{5 + j5} = 10 - j10$

Trị số hiệu dụng

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

Tổng trở phức nhánh 2.

$$\bar{Z}_2 = R_2 - jX_{C2} = 5\sqrt{3} - j5$$

Dòng điện phức nhánh 2.

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}_2} = \frac{100}{5\sqrt{3} - j5} = 5\sqrt{3} + j5$$

Trị số hiệu dụng I_2 :

$$I_2 = \sqrt{(5\sqrt{3})^2 + 5^2} = 10A$$

Dòng điện phức $\dot{I}$ tính theo định luật Kiếchốp 1

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (10 + 5\sqrt{3}) - j5$$

Trị số hiệu dụng I :

$$I = \sqrt{(10 + 5\sqrt{3})^2 + 5^2} = 19,32A$$

Điện áp phức $\dot{U}_{CD}$ là :

$$\begin{aligned}\dot{U}_{CD} &= \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{AD} = -R_1\dot{I}_1 + R_2\dot{I}_2 = -5(10 - j10) + \\ &\quad 5\sqrt{3}(5\sqrt{3} + j5) = 25 + j(50 + 25\sqrt{3})\end{aligned}$$

$$\text{hoặc } \dot{U}_{CD} = \dot{U}_{CB} + \dot{U}_{BD} = jX_{L1}\dot{I}_1 - (-jX_{C2}\dot{I}_2) = 25 + j(50 + 25\sqrt{3})$$

Trị số hiệu dụng :

$$U_{CD} = \sqrt{25^2 + (50 + 25\sqrt{3})^2} = 96,59V$$

Dưới đây ta sẽ nghiên cứu ứng dụng số phức để thực hiện các phép biến đổi tương đương và viết hệ phương trình để giải mạch điện phức tạp.

§3-3. PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG

Khi giải mạch điện phức tạp trước hết nên tìm cách biến đổi đưa mạch điện về đơn giản.

Dưới đây dẫn ra một số biến đổi thường gặp :

1. Các tổng trở nối tiếp

Tổng trở tương đương $\bar{Z}_{td}$ của các tổng trở nối tiếp (hình 3-2) là :

$$\bar{Z}_{td} = R_{td} + jX_{td} \quad (3-1)$$

trong đó :

$$R_{td} = \sum R \quad (3-2)$$

$$X_{td} = \sum X_L - \sum X_C \quad (3-3)$$

Ví dụ : Mạch điện như hình 3-2

Tổng trở tương đương :

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

2. Các tổng trở song song

Tổng trở tương đương $\bar{Z}_{td}$ của các nhánh song song (hình 3-3)

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

Đối với trường hợp 2 nhánh

$$\bar{Z}_{td} = \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} \quad (3.5a)$$

Khi $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}$

thì $\bar{Z}_{td} = \frac{\bar{Z}}{2} \quad (3-5b)$

Ví dụ : Mạch điện hình 3-3 trong đó :

$$\bar{Z}_1 = 1 + j1$$

$$\bar{Z}_2 = 1 - j1$$

$$\bar{Z}_{td} = \frac{(1 + j1)(1 - j1)}{1 + j1 + 1 - j1} = 1\Omega$$

Tổng trở tương đương chỉ có phần thực $R_{td} = 1\Omega$

3. Biến đổi tương đương tam giác - sao và sao - tam giác (hình 3-4)

a) Tam giác sang hình sao

$\bar{Z}_{12}, \bar{Z}_{23}, \bar{Z}_{31}$ tổng trở của các nhánh hình tam giác.

$\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3$ tổng trở các nhánh hình sao tương đương.

$$\bar{Z}_1 = \frac{\bar{Z}_{12} \bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (3-6a)$$

$$\bar{Z}_2 = \frac{\bar{Z}_{23} \cdot \bar{Z}_{12}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (3-6b)$$

$$\bar{Z}_3 = \frac{\bar{Z}_{31} \cdot \bar{Z}_{23}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (3-6c)$$

Khi các tổng trở nhánh tam giác $\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{31} = \bar{Z}$ thì tổng trở các nhánh hình sao tương đương :

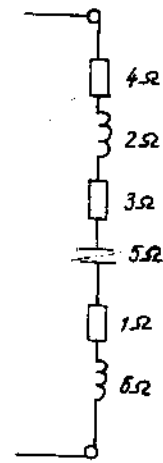
$$\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = \frac{\bar{Z}}{3} \quad (3-7)$$

b) Sao sang tam giác

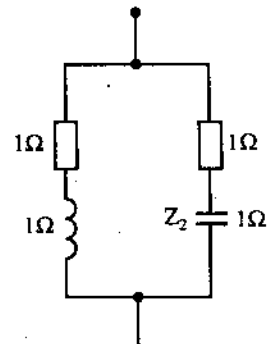
Ngược lại, biến đổi từ sao sang tam giác ta có tổng trở các nhánh tam giác tương đương :

$$\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2}{\bar{Z}_3} \quad (3-8a)$$

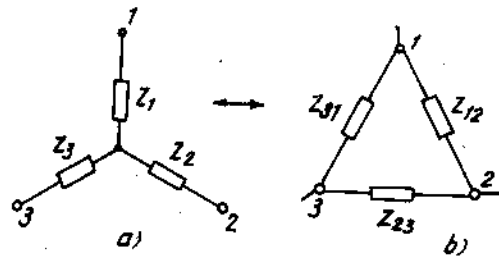
$$\bar{Z}_{23} = \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 + \frac{\bar{Z}_2 \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1} \quad (3-8b)$$



Hình 3-2



Hình 3-3



Hình 3-4

$$\bar{Z}_{31} = \bar{Z}_3 + \bar{Z}_1 + \frac{\bar{Z}_3 \bar{Z}_1}{\bar{Z}_2}$$

Khi tổng trở các nhánh hình sao $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = \bar{Z}$ thì tổng trở các nhánh tam giác tương đương là :

$$\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{31} = 3\bar{Z} \quad (3-9)$$

§3-4. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN NHÁNH

Đây là phương pháp cơ bản để giải mạch điện. Ấn số là dòng điện nhánh. Trước hết xác định số nhánh. Tùy ý vẽ chiều dòng điện trong các nhánh. Xác định số nút và số vòng độc lập (vòng độc lập thường chọn là các mắt lưới hình 3-5).

Nếu mạch có m nhánh, số phương trình cần phải viết để giải mạch là m phương trình, trong đó :

1. Nếu mạch có n nút, ta viết $(n-1)$ phương trình Kiếchốp 1 cho $(n-1)$ nút. Không cần viết cho nút thứ n , vì có thể suy ra từ $(n-1)$ phương trình đã viết.

2. Số phương trình Kiếchốp 2 cần phải viết là $m - (n-1) = (m - n + 1)$. Vậy phải chọn $(m - n + 1)$ vòng độc lập, cụ thể là chọn $(m - n + 1)$ mắt lưới, vẽ chiều đi vòng của các mắt lưới và viết phương trình Kiếchốp 2 cho $(m - n + 1)$ mắt lưới đã chọn.

Giải hệ phương trình đã viết, ta được dòng điện các nhánh

Ví dụ : Giải mạch điện hình 3-6 theo phương pháp dòng điện nhánh.

Cho $e_1 = e_3 = 120\sqrt{2} \sin \omega t$.

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

Mạch có $n = 2$ nút : A, B và $m = 3$ nhánh : 1, 2, 3. Số phương trình cần viết là $m = 3$.

Trong đó số phương trình viết theo định luật Kiếchốp 1 là $n - 1 = 2 - 1 = 1$

Tại nút A : $\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \quad (3-10)$

Số phương trình viết theo định luật Kiếchốp 2 là :

$$m - n + 1 = 3 - 2 + 1 = 2.$$

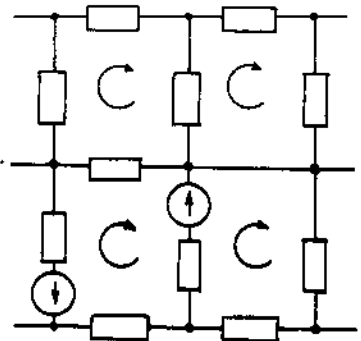
Ta có 2 vòng a, b. Phương trình Kiếchốp 2 viết cho 2 vòng này là :

Vòng a : $\bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_1 \quad (3-11)$

Vòng b : $-\bar{Z}_2 \dot{I}_2 + \bar{Z}_3 \dot{I}_3 = -\dot{E}_3 \quad (3-12)$

Quy ước về dấu của $\dot{I}$, $\dot{E}$ đã nói ở §1-5 :

(Nếu I và E có chiều trùng với chiều đi vòng sẽ mang dấu dương ngược lại mang dấu âm).



Hình 3-5

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

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

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

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

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

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

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

Dùng phương pháp dòng điện nhánh, số phương trình lớn (m phương trình). Để giảm số phương trình ta sử dụng phương pháp dòng điện vòng.

§3-5. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN VÒNG

Ấn số của hệ phương trình là dòng điện vòng.

Ta sẽ minh họa phương pháp này bằng ví dụ hình 3-6.

Các bước giải theo phương pháp dòng điện vòng như sau :

Gọi m là số nhánh, n là số nút, vậy số vòng độc lập phải chọn là $m - n + 1$. Vòng độc lập thường chọn là các mắt lưới. Ta coi rằng mỗi vòng có một dòng điện vòng chạy khép kín trong vòng ấy. Trên hình 3-7 có 2 dòng điện vòng. Dòng điện chạy khép kín trong vòng a được gọi là dòng điện vòng $\dot{I}_a$, dòng điện chạy khép kín trong vòng b được gọi là dòng điện vòng $\dot{I}_b$. Các dòng điện vòng $\dot{I}_a$, $\dot{I}_b$ sẽ là ấn số trong hệ phương trình.

Vẽ chiều các dòng điện vòng $\dot{I}_a$, $\dot{I}_b$, viết hệ phương trình Kiếchốp 2 theo dòng điện vòng cho $(m - n + 1)$ vòng.

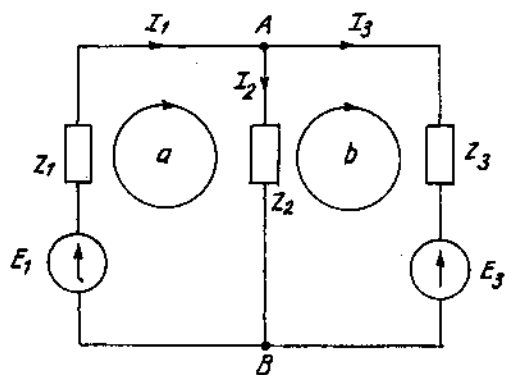
Khi viết hệ phương trình ta vận dụng định luật Kiếchốp 2 viết cho 1 vòng như sau :

Tổng đại số điện áp rơi trên các tổng trở của vòng do các dòng điện vòng gây ra bằng tổng đại số các sức điện động của vòng. Trong đó các dòng điện vòng, các sức điện động có chiều trùng với chiều đi vòng lấy dấu dương, ngược lại lấy dấu âm.

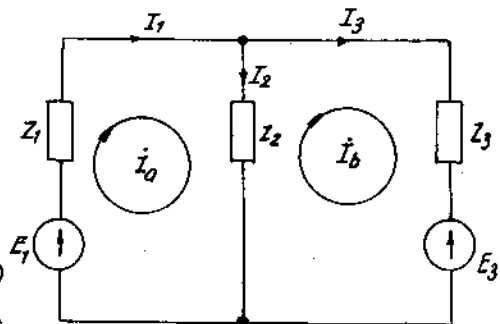
Hệ phương trình Kiếchốp 2 viết theo dòng điện vòng ở hình 3-7 là

$$\text{Vòng a : } (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2) \dot{I}_a - \bar{Z}_2 \dot{I}_b = \dot{E}_1 \quad (3-13)$$

$$\text{Vòng b : } (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3) \dot{I}_b - \bar{Z}_2 \dot{I}_a = -\dot{E}_2 \quad (3-14)$$



Hình 3-6



Hình 3-7

Giải hệ phương trình dòng điện vòng (3-13), (3-14) ta được các giá trị dòng điện vòng $\dot{I}_a, \dot{I}_b$.

Sau đó tính dòng điện nhánh như sau : dòng điện của một nhánh bằng tổng đại số các dòng điện vòng qua nhánh ấy, trong đó dòng điện vòng nào có chiều trùng với chiều dòng điện nhánh sẽ lấy dấu dương, ngược lại lấy dấu âm.

Trên hình 3-7 dòng điện các nhánh là :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_a ; \dot{I}_2 = \dot{I}_a - \dot{I}_b ; \dot{I}_3 = \dot{I}_b \quad (3-15)$$

Để giải mạch điện, thay giá trị $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3, \dot{E}_1, \dot{E}_3$ vào hệ phương trình (3-13), (3-14) ta có :

$$(4 + j4)\dot{I}_a - (2 + j2)\dot{I}_b = 120 e^{j0^\circ}$$

$$(4 + j4)\dot{I}_b - (2 + j2)\dot{I}_a = -120 e^{j0^\circ}$$

Giải hệ ta có : $\dot{I}_a = 10 - j10$

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

Từ đó tính được dòng điện nhánh :

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

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

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

Để chứng minh việc đưa ra khái niệm dòng điện vòng, ta hãy biến đổi hệ phương trình Kiếchốp 1, 2 [(3-10), (3-11), (3-12)] như sau :

Từ (3-10) ta có : $\dot{I}_2 = \dot{I}_1 - \dot{I}_3 \quad (3-16)$

Thay $\dot{I}_2$ vào hệ phương trình (3-11), (3-12) ta có :

Vòng a : $(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)\dot{I}_1 - \bar{Z}_2\dot{I}_3 = \dot{E}_1 \quad (3-17)$

Vòng b : $(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3)\dot{I}_3 - \bar{Z}_2\dot{I}_1 = -\dot{E}_3 \quad (3-18)$

Quan sát số hạng $(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)\dot{I}_1$; $(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3)\dot{I}_3$, trong phương trình Kiếchốp 2 của vòng a, b cho ta thấy, hình như dòng điện $\dot{I}_1$ chạy khép kín trong vòng a, dòng điện $\dot{I}_3$ chạy khép kín trong vòng b. Ta gọi dòng điện chạy khép kín trong vòng a là dòng điện vòng $\dot{I}_a$ (3-15). Dòng điện chạy khép kín trong vòng b là dòng điện vòng $\dot{I}_b$ (3-15).

Như vậy hệ (3-17), (3-18) đã được biến đổi sang hệ (3-13), (3-14) viết theo dòng điện vòng.

§3-6. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN ÁP 2 NÚT

Phương pháp này áp dụng cho mạch điện có nhiều nhánh, nhưng chỉ có 2 nút (hình (3-8)). Các bước giải như sau :

1. Trước hết vẽ chiều điện áp giữa 2 nút và tính điện áp giữa hai nút A, B theo công thức :

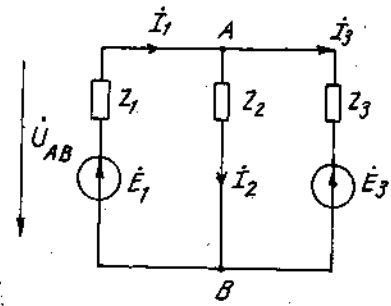
$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum \dot{E}_n \bar{Y}_n}{\sum \bar{Y}_n} \quad (3-19)$$

trong đó $\bar{Y}_n$ là tổng dẫn phức của nhánh n.

Đối với mạch hình 3-8

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{\bar{Z}_1} ; \bar{Y}_2 = \frac{1}{\bar{Z}_2} ; \bar{Y}_3 = \frac{1}{\bar{Z}_3} \quad (3-20)$$

$\dot{E}_n$ là sức điện động nhánh n.



Hình 3-8

Trong công thức trên những sức điện động có chiều ngược với chiều điện áp sẽ lấy dấu dương (1-5). Sức điện động có chiều trùng với chiều điện áp lấy dấu âm.

Đối với mạch điện hình 3-8 ta có :

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 \bar{Y}_1 + \dot{E}_3 \bar{Y}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3} \quad (3-21)$$

2. Vẽ chiều dòng điện các nhánh, áp dụng định luật Ôm, tính dòng điện các nhánh như sau :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_1} \quad (3-22)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_2} \quad (3-23)$$

$$\dot{I}_3 = \frac{-\dot{E}_3 + \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_3} \quad (3-24)$$

Công thức (3-19) được chứng minh như sau :

Theo định luật Kiếchốp 1 tại nút A :

$$\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \quad (3-25)$$

Thay giá trị dòng điện ở phương trình (3-22), (3-23), (3-24) vào phương trình (3-25) ta có :

$$\frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_1} - \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_2} - \frac{(-\dot{E}_3 + \dot{U}_{AB})}{\bar{Z}_3} = 0$$

Rút ra :

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

§3-7. PHƯƠNG PHÁP XẾP CHỒNG

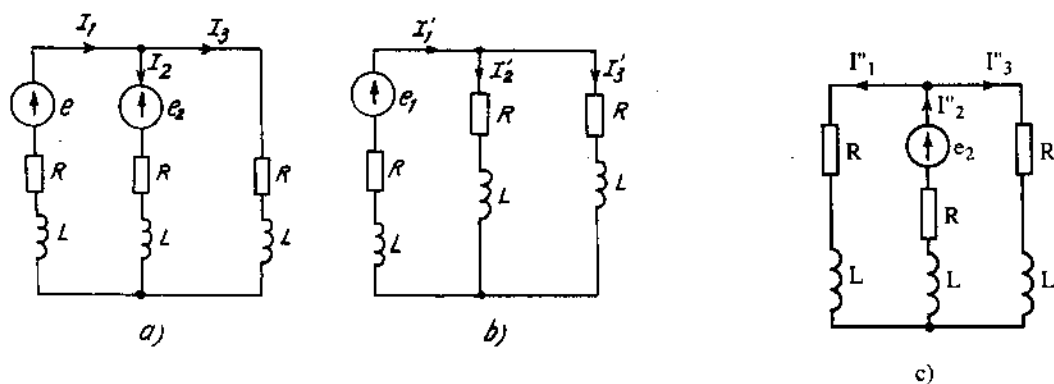
Phương pháp này rút ra từ tính chất cơ bản của hệ phương trình tuyến tính : Trong mạch điện tuyến tính nhiều nguồn, dòng điện qua mỗi nhánh bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh do tác dụng riêng rẽ của từng sức điện động (lúc đó các sức điện động khác được coi bằng không) ; Điện áp trên mỗi nhánh cũng bằng tổng đại số các điện áp gây nên trên nhánh do tác dụng riêng rẽ từng sức điện động.

Ví dụ : Cho mạch điện hình 3-9a : $R = 2\Omega$, $L = \frac{2}{314}$ H cần tính dòng điện trong các nhánh đối với 2 trường hợp :

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

b) $E_1 = E_2 = 60V$ dòng điện không đổi

Áp dụng phương pháp xếp chồng, ở đây cần giải mạch điện hình 3-9a, ta sẽ giải 2 mạch 3-9b, c, trong mỗi mạch chỉ có một sức điện động tác dụng riêng rẽ và sau đó xếp chồng (cộng đại số) các kết quả của mỗi sơ đồ b và c.



Hình 3-9

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

Cảm kháng $X_L = \omega L = 314 \frac{2}{314} = 2\Omega$

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

Giải mạch điện hình 3-9b

Dùng biến đổi tương đương :

Tổng trở tương đương hai nhánh 2 và 3 :

Vì $\bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j2$ nên

$$\bar{Z}_{td23} = \frac{2 + j2}{2} = 1 + j1\Omega$$

Dòng điện $\dot{I}'_1 = \frac{\dot{E}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{td23}} = \frac{120}{(2 + j2) + (1 + j1)} = 20 - j20A$

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}'_3 = \frac{\dot{I}'_1}{2} = 10 - j10A$$

Mạch điện 3-9c hoàn toàn giống mạch điện 3-9b vì thế không cần giải mà ta có thể suy ngay ra kết quả :

$$\dot{I}''_2 = 20 - j20A$$

$$\dot{I}''_1 = \dot{I}''_3 = 10 - j10A$$

Xếp chồng các kết quả :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}'_1 - \dot{I}''_2 = 20 - j20 - (10 - j10) = 10 - j10$$

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

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

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

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

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

b) Trường hợp sức điện động $E_1 = E_2 = 60\text{V}$ dòng điện không đổi. Khi giải mạch dòng điện không đổi ở chế độ xác lập ta có thể dùng tất cả các phương pháp đối với dòng điện xoay chiều đã nói ở trên, chỉ cần chú ý rằng, trong trường hợp dòng điện không đổi, không biểu diễn dòng điện bằng số phức và vectơ, tổng trở một nhánh chỉ xét thành phần R (hình 3-10a).

Đối với sơ đồ hình 3-10b, $R = 2\Omega$ điện trở tương đương hai nhánh 2 và 3 là :

$$R_{td23} = \frac{R}{2} = 1\Omega$$

Dòng điện

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + R_{td23}} = \frac{60}{2 + 1} = 20\text{A}$$

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

Sơ đồ hình 3-10c giống 3-10b, không cần giải ta có :

$$I''_2 = 20\text{A} ; I''_1 = I''_3 = 10\text{A}$$

Xếp chồng các kết quả ta có :

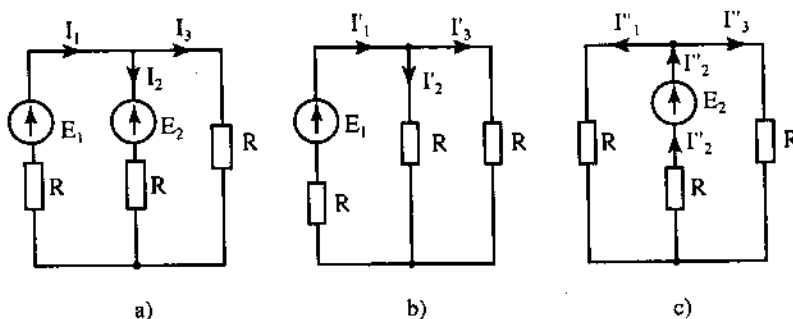
$$I_1 = I'_1 - I''_1 = 20 - 10 = 10\text{A}$$

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

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

Dòng điện I_2 âm, chiều dòng điện I_2 ngược với chiều đã chọn ở hình 3-10a.

Phương pháp xếp chồng được sử dụng khi giải các mạch điện được tách ra dễ dàng như đã thấy trong ví dụ trên. Ngoài ra phương pháp xếp chồng được sử dụng khi giải mạch điện chu kỳ không sin (phụ lục III).



Hình 3-10

Chương 4

MẠCH ĐIỆN BA PHA

§4-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Ngày nay trong công nghiệp dùng rất rộng rãi điện năng dòng điện hình sin ba pha. Động cơ điện ba pha có cấu tạo đơn giản và đặc tính tốt hơn động cơ một pha. Việc truyền tải điện năng bằng mạch điện ba pha tiết kiệm được dây dẫn hơn việc truyền tải điện năng bằng dòng điện một pha.

Mạch điện ba pha bao gồm nguồn điện ba pha, đường dây truyền tải và các phụ tải ba pha.

Để tạo ra nguồn điện ba pha, ta dùng máy phát điện đồng bộ ba pha (sẽ học ở phần II giáo trình này). Cấu tạo của máy phát điện đồng bộ gồm :

Phần tĩnh (còn gọi là xtato) gồm có các rãnh, trong các rãnh đặt ba dây quấn AX, BY, CZ có cùng số vòng dây và lệch nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$ trong không gian. Mỗi dây quấn được gọi là một pha. Dây quấn AX gọi là pha A, dây quấn BY gọi là pha B, dây quấn CZ là pha C.

Phần quay (còn gọi là rôto) là nam châm điện N-S (hình 4-1).

Nguyên lý làm việc như sau : Khi quay rôto, từ trường lần lượt quét các dây quấn xtato và cảm ứng vào trong dây quấn xtato các sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số và lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$.

Nếu chọn pha đầu của sức điện động e_A của dây quấn AX bằng không, thì biểu thức tức thời sức điện động ba pha là :

Sức điện động pha A :

$$e_A = E\sqrt{2}\sin\omega t \quad (4-1a)$$

Sức điện động pha B :

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

Sức điện động pha C :

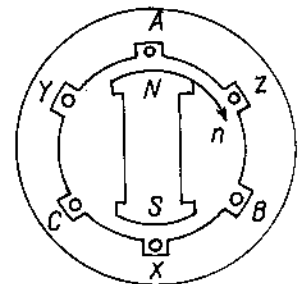
$$e_C = E\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4-1c)$$

hoặc biểu diễn bằng số phức :

$$\dot{E}_A = Ee^{j0^\circ} \quad (4-2a)$$

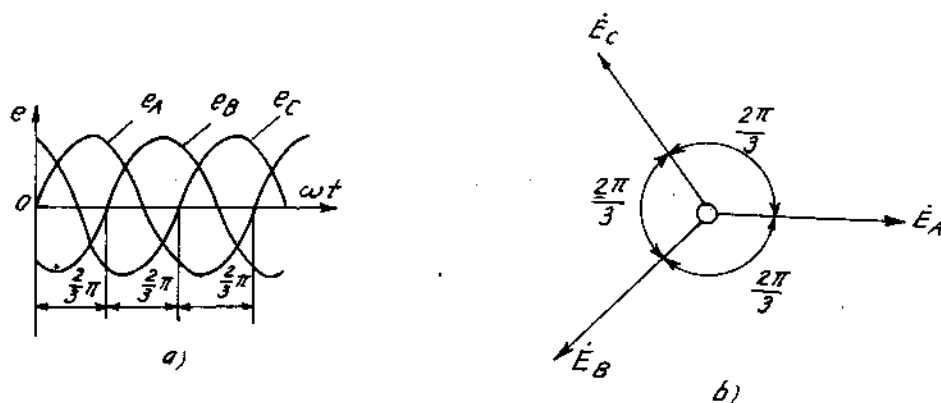
$$\dot{E}_B = Ee^{-j(2\pi/3)} \quad (4-2b)$$

$$\dot{E}_C = Ee^{j(2\pi/3)} \quad (4-2c)$$



Hình 4-1

Hình 4-2a vẽ trị số tức thời sức điện động ba pha, và đồ thị vectơ của chúng trên hình 4-2b.



Hình 4-2

Nguồn điện gồm ba sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số, lệch nhau về pha $\frac{2\pi}{3}$ gọi là nguồn ba pha đối xứng.

Đối với nguồn đối xứng ta có :

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

hoặc :

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

Nếu các dây quấn AX, BY, CZ của nguồn điện nối riêng rẽ với các tải có tổng trở pha Z_A, Z_B, Z_C , ta có hệ thống ba pha gồm ba mạch một pha không liên hệ nhau (hình 4-3). Mỗi mạch điện gọi là một pha của mạch điện ba pha.

Sức điện động, điện áp, dòng điện mỗi pha của nguồn (tải) gọi là sức điện động pha ký hiệu là E_p ; điện áp pha ký hiệu là U_p ; dòng điện pha ký hiệu là I_p .

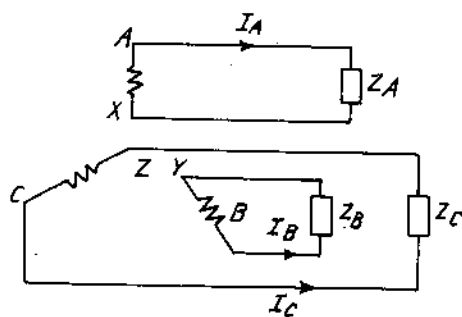
Mỗi pha có đầu và cuối. Thường quen ký hiệu đầu pha là A, B, C cuối pha là X, Y, Z.

Nếu tổng trở phức của các pha tải bằng nhau $\bar{Z}_A = \bar{Z}_B = \bar{Z}_C$, thì ta có tải đối xứng. Mạch điện ba pha gồm nguồn, tải và đường dây đối xứng gọi là mạch điện ba pha đối xứng.

Nếu không thỏa mãn điều kiện đã nêu gọi là mạch ba pha không đối xứng.

Mạch ba pha không liên hệ (hình 4-3) thực tế ít dùng, vì cần tới 6 dây dẫn không kinh tế.

Thường ba pha của nguồn được nối với nhau, ba pha của tải cũng được nối với nhau và có đường dây ba pha nối liền giữa nguồn với tải, dẫn điện năng từ nguồn đến tải. Dòng điện chạy trên đường dây pha từ nguồn đến tải gọi là dòng điện dây ký hiệu là I_d , điện áp giữa các đường dây pha ấy gọi là điện áp dây, ký hiệu là U_d .



Hình 4-3

Thông thường dùng 2 cách nối : nối hình sao (Y) và nối hình tam giác (Δ).

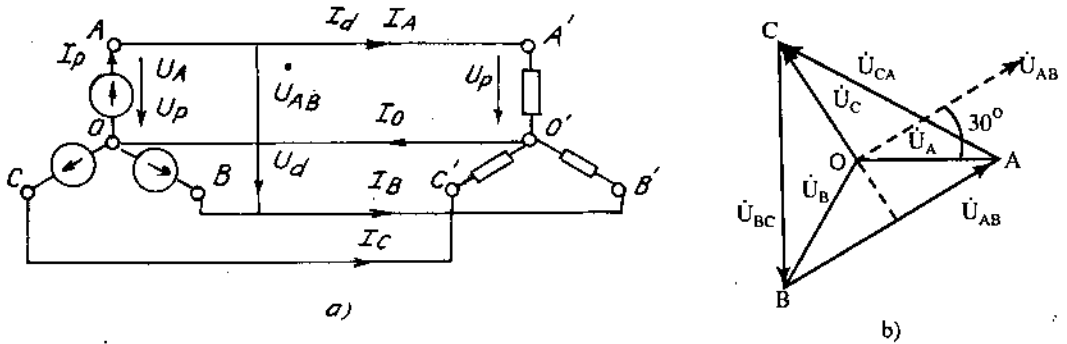
§4-2. CÁCH NỐI HÌNH SAO

1. Cách nối

Muốn nối hình sao ta nối ba điểm cuối của pha với nhau tạo thành điểm trung tính (hình 4-4a).

Đối với nguồn, ba điểm cuối X, Y, Z nối với nhau thành điểm trung tính O của nguồn.

Đối với tải, ba điểm cuối X', Y', Z' nối với nhau tạo thành trung tính của tải O'.



Hình 4-4

2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha trong cách nối hình sao đối xứng

Các đại lượng dây và pha như định nghĩa ở §4-1 được ký hiệu trên hình 4-4a.

a) Quan hệ giữa dòng điện dây và pha. Căn cứ vào mạch điện ta thấy quan hệ giữa dòng điện dây I_d và dòng điện pha I_p như sau :

$$I_d = I_p \quad (4-4)$$

b) Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha. Từ hình 4-4a ta thấy điện áp dây U_{AB} (giữa pha A và pha B), U_{BC} (giữa pha B và pha C), U_{CA} (giữa pha C và pha A) quan hệ với điện áp pha U_A , U_B , U_C như sau :

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \quad (4-5)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \quad (4-6)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (4-7)$$

Từ đồ thị véctơ điện áp (hình 4-4b) ta thấy rõ :

- 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 :

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

$$AB \text{ là } U_d ; OA \text{ là } U_p.$$

$$\text{Vậy} \quad U_d = \sqrt{3} U_p \quad (4-8)$$

- Về pha, điện áp dây $\dot{U}_{AB}$, $\dot{U}_{BC}$, $\dot{U}_{CA}$ lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$ và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 30° (ví dụ : $\dot{U}_{AB}$ vượt trước $\dot{U}_A$ một góc 30° v.v...).

§4-3. CÁCH NỐI HÌNH TAM GIÁC

1. Cách nối

Muốn nối hình tam giác ta lấy đầu pha này nối với cuối pha kia. Ví dụ : A nối với Z ; B nối với X ; C với Y (hình 4-5a).

2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha trong cách nối hình tam giác đối xứng

Các đại lượng dây và pha được ký hiệu trên hình 4-5a.

Quan hệ giữa dòng điện dây và pha như sau.

Áp dụng định luật Kiechốp 1 tại các nút ta có :

$$\text{Tại nút A : } \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \quad (4-9)$$

$$\text{Tại nút B : } \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \quad (4-10)$$

$$\text{Tại nút C : } \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \quad (4-11)$$

Đồ thị véctơ dòng điện dây $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ và dòng điện pha $\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$ vẽ trên hình 4-5b. Từ đồ thị thấy rõ :

- Về trị số dòng điện dây I_d lớn gấp $\sqrt{3}$ lần dòng điện pha I_p .

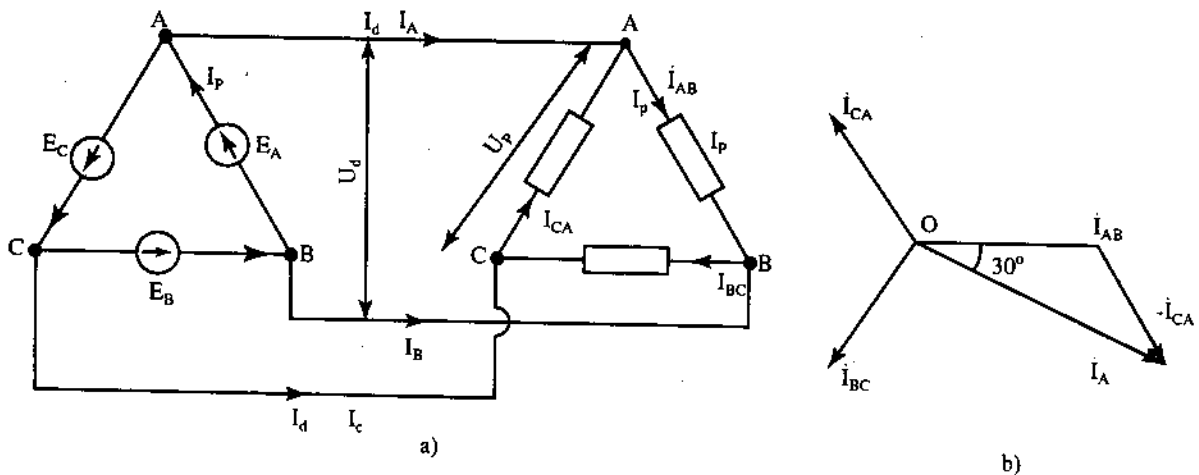
Thật vậy xét tam giác OEF :

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

độ dài EF là dòng điện dây I_d , độ dài OE là dòng điện pha I_p . Vậy ta có quan hệ :

$$I_d = \sqrt{3}.I_p \quad (4-12)$$

- Về pha, dòng điện dây $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$ và chậm sau dòng điện pha tương ứng một góc 30° (ví dụ : $\dot{I}_{AB}$ chậm sau $\dot{I}_A$ một góc 30° v.v...).



Hình 4 - 5

§4-4. CÔNG SUẤT MẠCH ĐIỆN BA PHA

1. Công suất tác dụng

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

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (4-13)$$

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

Khi mạch ba pha đối xứng :

$$\text{Điện áp pha :} \quad U_A = U_B = U_C = U_p$$

$$\text{Dòng điện ba pha :} \quad I_A = I_B = I_C = I_p$$

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

$$\text{Ta có :} \quad P = 3U_p I_p \cos \varphi \quad (4-14a)$$

$$\text{hoặc} \quad P = 3R_p I_p^2 \quad (4-14b)$$

trong đó : R_p là điện trở pha.

Thay đại lượng pha bằng đại lượng dây :

$$\text{đối với cách nối sao :} \quad I_p = I_d ; U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

$$\text{đối với cách nối tam giác :} \quad I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}} ; U_p = U_d$$

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

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (4-15)$$

trong đó φ là góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng.

2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng Q của 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 đối xứng ta có :

$$Q = 3U_p I_p \sin \varphi \quad (4-16a)$$

$$\text{hoặc} \quad Q = 3X_p I_p^2 \quad (4-16b)$$

trong đó X_p là điện kháng pha

$$\text{hoặc} \quad Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (4-17)$$

3. Công suất biểu kiến

Khi đối xứng, công suất biểu kiến ba pha :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4-18a)$$

$$S = 3U_p I_p \quad (4-18b)$$

$$\text{hoặc} \quad S = \sqrt{3} U_d I_d \quad (4-19)$$

§4-5. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với mạch ba pha đối xứng, dòng điện (điện áp) các pha có trị số bằng nhau và lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$. Vì vậy khi giải mạch đối xứng ta tách ra một pha để tính.

Trước hết ta xét nguồn điện :

1. Nguồn nối sao đối xứng

Đây là trường hợp thường gặp nhất.

Theo hình vẽ ta có O là điểm trung tính của nguồn, nếu tải nối sao, O' là điểm trung tính của tải. Các dây từ nguồn đến tải AA', BB', CC' gọi là dây pha. Dây OO' gọi là dây trung tính. Mạch điện có dây trung tính gọi là mạch điện ba pha 4 dây (hình 4-4a) mạch điện không có dây trung tính gọi là mạch điện ba pha ba dây (hình 4-4b). Đối với mạch đối xứng ta luôn luôn có quan hệ :

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

vì thế dây trung tính không có tác dụng, có thể bỏ dây trung tính. Điện thế điểm trung tính của tải đối xứng luôn luôn trùng với điện thế của trung tính nguồn.

Nếu gọi sức điện động pha nguồn là E_p thì :

Điện áp dây U_d và điện áp pha U_p của mạch điện ba pha là :

Điện áp pha phía đầu nguồn là : $U_p = E_p$

Điện áp dây phía đầu nguồn là : $U_d = \sqrt{3} E_p$

2. Nguồn nối tam giác đối xứng

Điện áp pha phía đầu nguồn là : $U_p = E_p$

Điện áp dây phía đầu nguồn là : $U_d = U_p = E_p$

Từ giá trị điện áp dây (hoặc điện áp pha) của mạch điện ba pha, ta xác định điện áp pha của tải. Dưới đây ta xét các trường hợp cụ thể :

3. Giải mạch điện ba pha tải nối hình sao đối xứng

a) Khi không xét tổng trở đường dây pha (hình 4-6a). Điện áp đặt lên mỗi pha tải là :

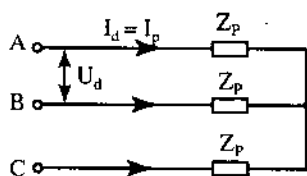
$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

Tổng trở pha tải

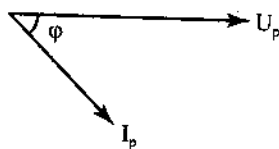
$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$$

R_p, X_p - là điện trở, điện kháng mỗi pha tải

U_d - điện áp dây của mạch điện ba pha



a)



b)

Hình 4-6

Dòng điện pha của tải

$$I_p = \frac{U_p}{z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

Góc lệch pha φ giữa điện áp pha và dòng điện pha là

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

Vì tải nối hình sao nên dòng điện dây bằng dòng điện pha

$$I_d = I_p$$

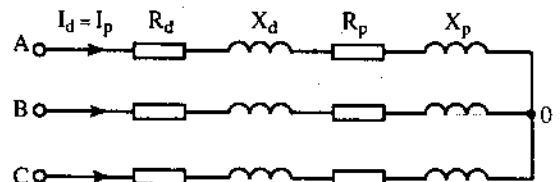
Đồ thị vectơ vẽ trên hình 4-6b.

b) Khi có xét tổng trở đường dây pha.

Cách tính toán cũng tương tự, nhưng phải gộp tổng trở đường dây với tổng trở pha tải để tính dòng điện pha và dây :

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

trong đó R_d , X_d điện trở, điện kháng đường dây (hình 4-7)



Hình 4-7

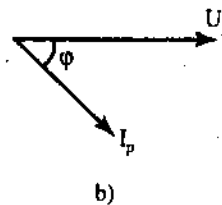
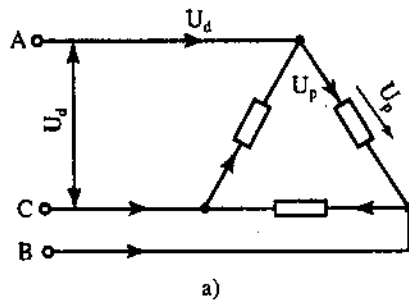
4. Giải mạch điện ba pha tải nối tam giác đối xứng

a) Khi không xét tổng trở đường dây. Điện áp pha tải bằng điện áp dây (hình 4-8a).

$$U_p = U_d$$

Dòng điện pha tải là

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



Góc lệch pha φ giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng. Đồ thị vectơ vẽ trên hình 4-8b.

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

Dòng điện dây :

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

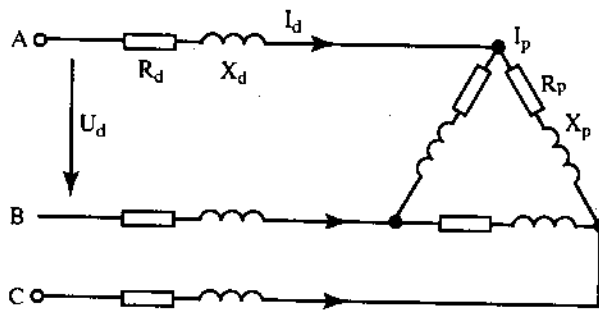
Hình 4-8

b) Khi có xét tổng trở đường dây. Trên hình 4-9, ta biến đổi tương đương tam giác thành hình sao như sau :

Tổng trở mỗi pha lúc đầu tam giác

$$\bar{Z}_\Delta = R_p + jX_p$$

Biến đổi sang hình sao



Hình 4-9

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

Sau đó giải như đã xét ở trên.

Dòng điện dây là :

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

Dòng điện pha của tải khi nối tam giác

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

§4-6. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA TẢI NỐI HÌNH SAO KHÔNG ĐỐI XỨNG

Khi tải ba pha không đối xứng ($\bar{Z}_A \neq \bar{Z}_B \neq \bar{Z}_C$) thì dòng điện và điện áp trên các pha tải sẽ không đối xứng. Lúc đó ta coi mạch điện như một mạch phức tạp có nhiều nguồn sức điện động và giải theo các phương pháp đã trình bày ở chương 3.

Ta xét một số trường hợp sau ;

1. Tải nối hình sao có dây trung tính tổng trở $\bar{Z}_0$ (hình 4-10)

Để giải mạch điện trên, ta nên dùng phương pháp điện áp hai nút. Ta có điện áp giữa hai điểm trung tính O' và O .

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \bar{Y}_A + \dot{U}_B \bar{Y}_B + \dot{U}_C \bar{Y}_C}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_O} \quad (4-20)$$

$$\text{trong đó } \bar{Y}_A = \frac{1}{\bar{Z}_A}; \bar{Y}_B = \frac{1}{\bar{Z}_B}; \bar{Y}_C = \frac{1}{\bar{Z}_C}; \bar{Y}_O = \frac{1}{\bar{Z}_O}$$

là tổng dẫn phức các pha của tải và dây trung tính.

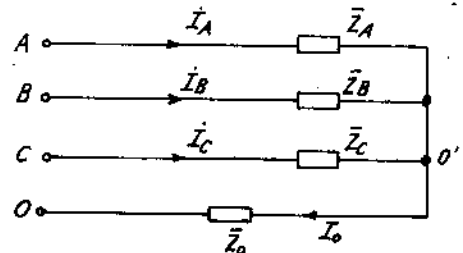
Trường hợp nguồn đối xứng thì $\dot{U}_A = \dot{U}_p$; $\dot{U}_B = \dot{U}_p \cdot e^{-j120^\circ}$; $\dot{U}_C = \dot{U}_p \cdot e^{-j240^\circ}$, thay vào công thức (4-20) ta có :

$$\dot{U}_{O'O} = \dot{U}_p \frac{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B \cdot e^{-j120^\circ} + \bar{Y}_C \cdot e^{-j240^\circ}}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_O} \quad (4-21)$$

Sau khi tính được $\dot{U}_{O'O}$ theo công thức (4-21) ta tính điện áp trên các pha tải

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

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



Hình 4-10

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

và dòng điện

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

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

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

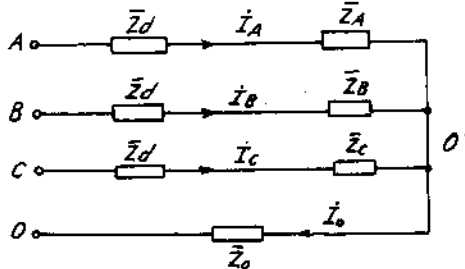
$$\dot{I}_O = \frac{\dot{U}_{O'O}}{\bar{Z}_O} = \dot{U}_{O'O} \cdot \bar{Y}_O$$

hoặc

$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

2. Nếu xét đến tổng trở $\bar{Z}_d$ của các dây dẫn pha (hình 4-11)

Phương pháp tính toán vẫn như trên, nhưng lúc đó tổng trở các pha phải gồm cả tổng trở dây dẫn $\bar{Z}_d$.



Hình 4-11

$$\text{Vì vậy : } \bar{Y}_A = \frac{1}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_d}$$

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

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

3. Khi tổng trở dây trung tính $\bar{Z}_O = 0$.

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

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

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

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

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

4. Khi dây trung tính bị đứt hoặc không có dây trung tính ($\bar{Z}_O = \infty$; $\bar{Y}_O = 0$)

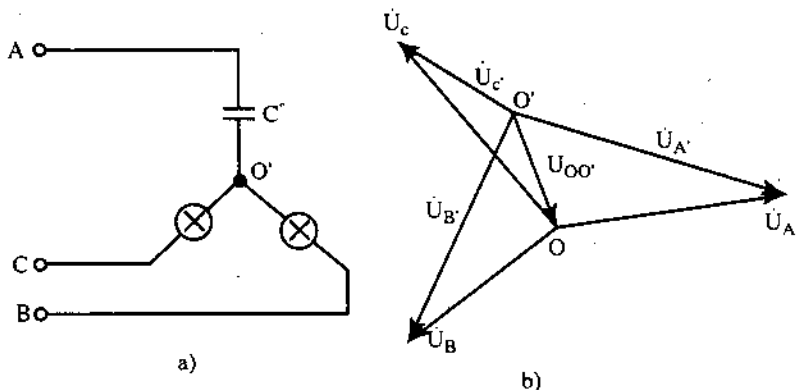
Điện áp $\dot{U}_{O'O}$ có thể lớn, do đó điện áp trên các pha tải khác điện áp pha nguồn rất nhiều có thể gây nên quá điện áp ở một pha nào đó.

Ví dụ : Giả thiết có tải ba pha không đối xứng. Pha A là một tụ điện thuần điện dung, tổng dẫn phức của pha A là :

$$\bar{Y}_A = \frac{1}{-jX_C} = jb.$$

Hai pha B và C là hai bóng đèn có tổng dẫn

$$\bar{Y}_B = \bar{Y}_C = \frac{1}{R} = g.$$



Hình 4-12

Nguồn điện ba pha đối xứng, có điện áp pha là U_p (hình 4-12a). Tính điện áp đặt lên mỗi bóng đèn.

Dùng phương pháp điện áp hai nút để giải. Ta thấy điện áp nguồn đối xứng, nên theo công thức (4-21) thì :

$$\dot{U}_{O'O} = U_p \frac{jb + g \cdot e^{-j120^\circ} + g \cdot e^{j120^\circ}}{jb + g + g}$$

trong đó

$$e^{-j120^\circ} = \cos(-120^\circ) + j\sin(-120^\circ) = -0,5 - j0,866$$

$$e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + j\sin 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$\dot{U}_A = U_p$$

$$\dot{U}_B = U_p \cdot e^{-j120^\circ} = U_p(-0,5 - j0,866)$$

$$\dot{U}_C = U_p \cdot e^{j120^\circ} = U_p(-0,5 + j0,866)$$

Thay vào công thức trên ta có :

$$\dot{U}_{O'O} = U_p \frac{jb + g(-0,5 - j0,866) + g(-0,5 + j0,866)}{jb + g + g}$$

Nếu chọn $g = b$ thì : $\dot{U}_{O'O} = U_p(-0,2 + j0,6)$

Ta suy ra điện áp đặt lên bóng đèn ở pha B :

$$\begin{aligned} \dot{U}_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = U_p(-0,5 - j0,866) - U_p(-0,2 + j0,6) \\ &= U_p(-0,3 - j1,466) \end{aligned}$$

về trị số thì : $U_B = U_p \sqrt{0,3^2 + 1,466^2} \approx 1,5U_p$

Tương tự, ta có điện áp đặt lên bóng đèn ở pha C :

$$\begin{aligned} \dot{U}_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = U_p(-0,5 + j0,866) - U_p(-0,2 + j0,6) \\ &= U_p(-0,3 + j0,266) \end{aligned}$$

và trị số của U'_C là :

$$U'_C = U_p \sqrt{0,3^2 + 0,266^2} \approx 0,4U_p$$

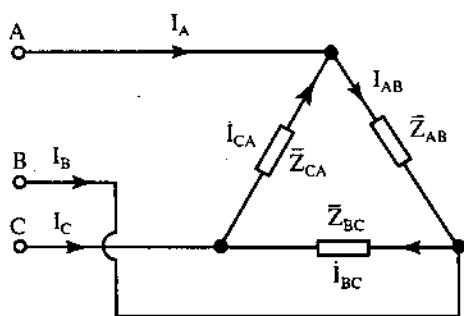
Đồ thị vectơ điện áp các pha tải vẽ ở hình 4-12b.

Ta nhận thấy điện áp đặt lên bóng đèn pha B lớn hơn điện áp đặt lên bóng đèn pha C, cho nên bóng đèn ở pha B sáng hơn bóng đèn ở pha C. Ta có thể dùng thiết bị đó để làm cái chỉ thứ tự pha. Muốn biết thứ tự pha của một hệ thống nào đó, đem cái chỉ thứ tự pha nối vào hệ thống điện áp ấy. Nếu gọi pha nối vào nhánh điện dung là pha A thì pha nối vào bóng đèn sáng rõ sẽ là pha B và pha nối vào bóng đèn tối sẽ là pha C.

§4-7. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA TẢI NỐI HÌNH TAM GIÁC KHÔNG ĐỐI XỨNG

Trường hợp tải không đối xứng nối hình tam giác, nguồn điện có điện áp dây là $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ (hình 4-13).

Nếu không xét tổng trở các dây dẫn pha (hình 4-13), điện áp đặt lên các pha tải là điện áp dây nguồn do đó ta tính ngay được dòng điện trong các pha tải.



Hình 4-13

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_{AB}} ; I_{AB} = \frac{U_{AB}}{z_{AB}}$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\bar{Z}_{BC}} ; I_{BC} = \frac{U_{BC}}{z_{BC}}$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\bar{Z}_{CA}} ; I_{CA} = \frac{U_{CA}}{z_{CA}}$$

Áp dụng định luật Kiếchốp 1 tại các nút ta có dòng điện dây :

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

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

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

Nếu trường hợp có xét tổng trở $\bar{Z}_d$ của các dây dẫn pha ta nên biến đổi tương đương tải nối tam giác thành hình sao.

§4-8. CÁCH NỐI NGUỒN VÀ TẢI TRONG MẠCH BA PHA

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

1. Cách nối nguồn điện

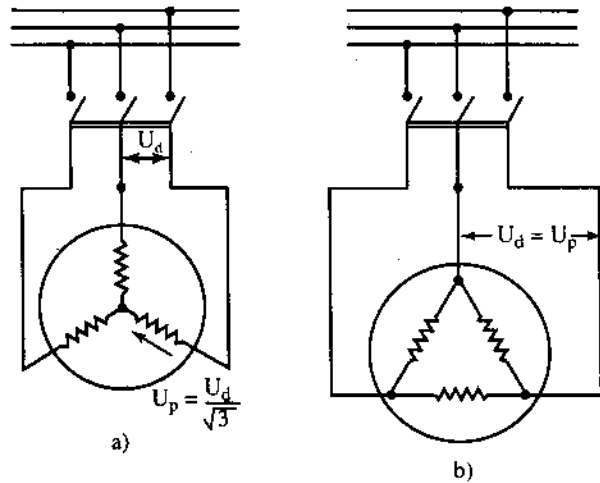
Các nguồn điện dùng trong sinh hoạt thường nối thành hình sao có dây trung tính. Nối như vậy có ưu điểm là có thể cung cấp hai điện áp khác nhau : điện áp pha và điện áp dây. Hiện tại ở nước ta vẫn còn tồn tại hai loại mạng điện : mạng điện 380V/220V ($U_d = 380V, U_p = 220V$), và mạng điện 220V/127V ($U_d = 220V, U_p = 127V$).

2. Cách nối động cơ điện ba pha

Mỗi động cơ ba pha gồm có ba dây quấn pha. Khi thiết kế người ta đã quy định điện áp cho mỗi dây quấn. Lúc động cơ làm việc, yêu cầu phải đúng với điện áp quy định ấy. Ví dụ động cơ ba pha có điện áp quy định cho mỗi dây quấn là 220V (nghĩa là $U_p = 220V$), do đó trên nhãn hiệu của động cơ ghi là:

$\Delta/Y - 220/380V$. Nếu như ta nối động cơ vào làm việc ở mạng điện có điện áp dây là 380V thì động cơ phải được nối hình sao (hình 4-14a) vì lúc đó điện áp đặt lên mỗi dây

quấn pha của động cơ sẽ là $U_p = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$, bằng đúng điện áp quy định. Nếu động cơ ấy làm việc 220/127V có điện áp dây là 220V thì động cơ phải được nối hình tam giác, lúc đó điện áp đặt lên mỗi dây quấn bằng điện áp dây 220V, đúng bằng điện áp quy định (hình 4-14b).

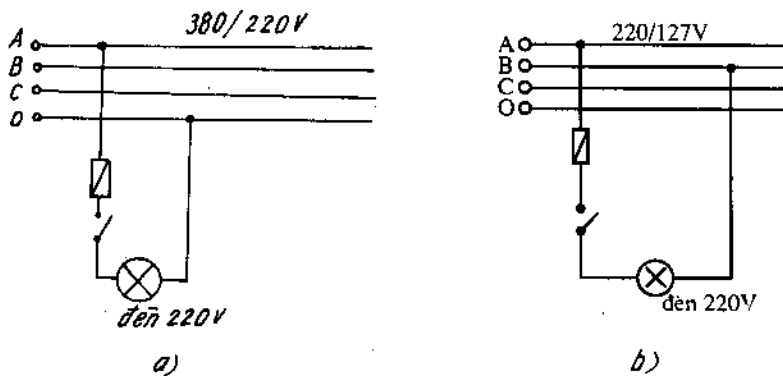


Hình 4-14

3. Cách nối các tải một pha

Tùy thuộc vào điện áp quy định lúc thiết kế cho tải một pha đã ghi ở nhãn (cho dây quấn động cơ một pha hoặc bóng đèn), lúc làm việc yêu cầu đúng điện áp quy định. Ví dụ : động cơ một pha điện áp 220V, bóng đèn 220V lúc làm việc ở mạng điện 380/220V thì phải nối giữa dây pha và dây trung tính (hình 4-15a). Cũng động cơ và bóng đèn ấy nếu làm việc ở mạng 220/127V thì phải nối vào hai dây pha (hình 4-15b) để mạng điện áp đặt vào thiết bị đúng định mức.

Tuy nhiên lúc chọn thiết bị trong sinh hoạt, ta cần chọn điện áp thiết bị bằng điện áp pha, như vậy ta đã sử dụng một dây pha và dây trung tính. Điện áp đặt lên mỗi đèn, mỗi tải là điện áp pha. Nhờ có dây trung tính nên mặc dù tải không đối xứng, điện áp đặt lên các bóng đèn không vượt quá điện áp pha, và khi cầu chì pha nào cháy, ví dụ pha A bị đứt cầu chì thì chỉ có đèn của pha A không sáng, còn đèn của pha B và pha C vẫn sáng bình thường.



Hình 4-15

PHẦN II

MÁY ĐIỆN

Chương 5

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

§5-1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

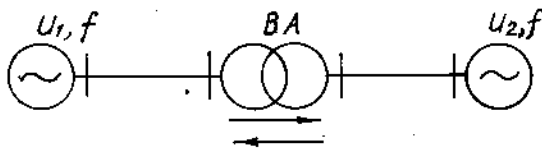
1. Định nghĩa

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

Máy điện là máy thường gặp nhiều trong công nghiệp, giao thông vận tải, sản xuất và đời sống.

2. Phân loại

Máy điện có nhiều loại và có nhiều cách phân loại khác nhau, ví dụ phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng, theo loại dòng điện (xoay chiều, một chiều), theo nguyên lý làm việc v.v... Trong giáo trình này ta phân loại dựa vào nguyên lý biến đổi năng lượng như sau :



Hình 5-1

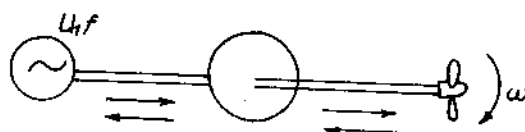
a) *Máy điện tĩnh.* Máy điện tĩnh làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ do sự biến thiên từ thông giữa các cuộn dây không có chuyển động tương đối với nhau.

Máy điện tĩnh thường dùng để biến đổi thông số điện năng. Do tính chất thuận nghịch của các quy luật cảm ứng điện từ, quá trình biến đổi có tính thuận nghịch, ví dụ máy biến áp biến đổi hệ

thống có thông số U_1, f , thành hệ thống điện có thông số U_2, f , hoặc ngược lại biến đổi hệ thống điện U_2, f thành hệ thống điện U_1, f (hình 5-1).

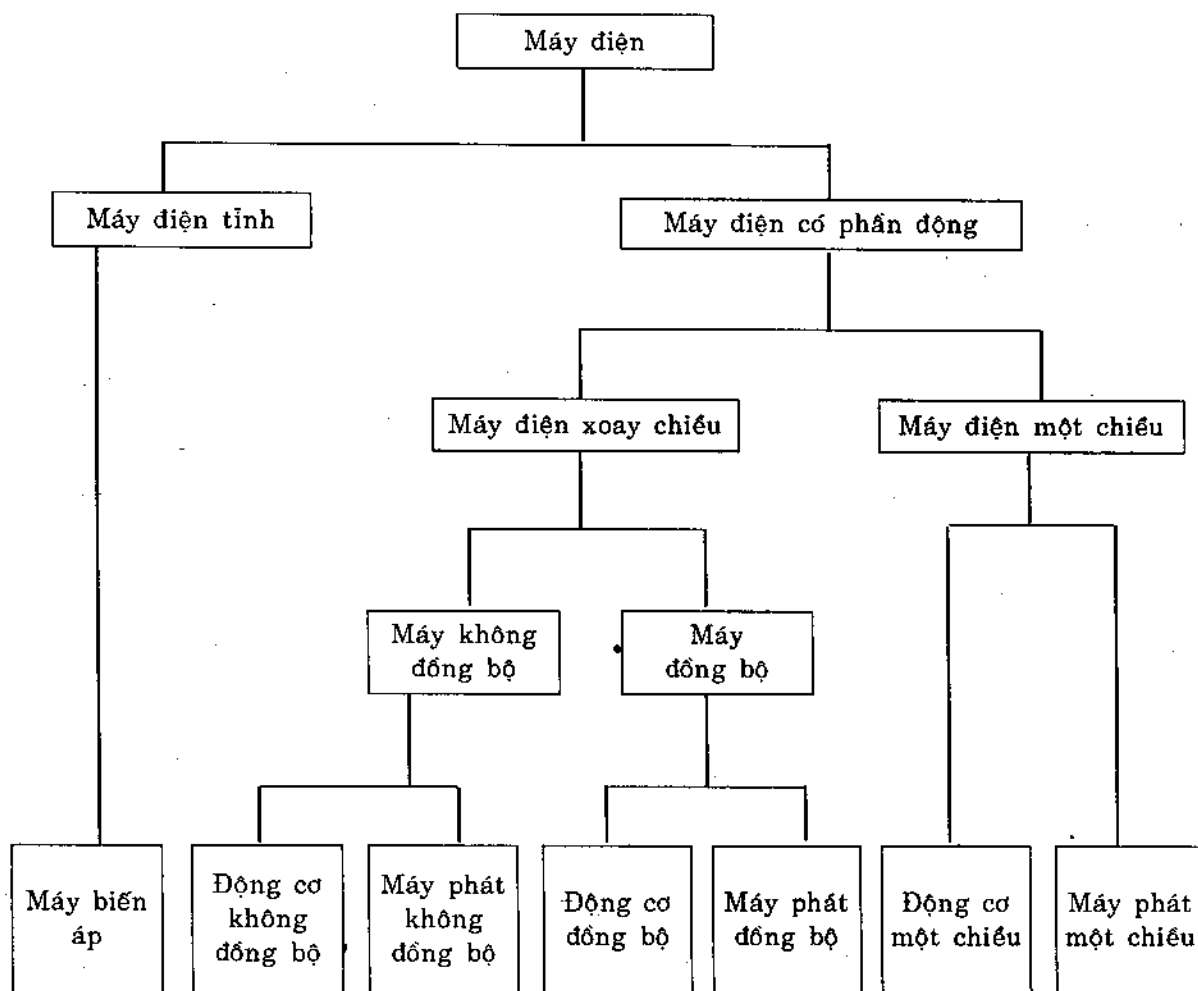
b) *Máy điện có phần động quay hoặc chuyển động thẳng.* Nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ, do từ trường và dòng điện của các cuộn

dây có chuyển động tương đối với nhau gây ra. Loại máy điện này thường dùng để biến đổi dạng năng lượng, ví dụ biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện) hoặc biến đổi cơ năng thành điện năng (máy phát điện). Quá trình biến đổi có tính thuận nghịch (hình 5-2) nghĩa là máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.



Hình 5-2

Trên hình 5-3 vẽ sơ đồ phân loại các máy điện cơ bản thường gặp.



Hình 5-3

§5-2. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Nguyên lí làm việc của tất cả các máy điện đều dựa trên cơ sở hai định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ. Khi tính toán mạch từ người ta sử dụng định luật dòng điện toàn phần. Các định luật này đã được trình bày trong giáo trình vật lí, ở đây chỉ nêu lại những điểm cần thiết, áp dụng cho nghiên cứu máy điện.

1. Định luật cảm ứng điện từ

a) Trường hợp từ thông ϕ biến thiên xuyên qua vòng dây. Khi từ thông ϕ biến thiên xuyên qua vòng dây dẫn, trong vòng dây sẽ cảm ứng sức điện động. Nếu chọn chiều sức điện động cảm ứng phù hợp với chiều của từ thông theo quy tắc vụn nút chai (hình 5-4), sức điện động cảm ứng trong một vòng dây, được viết theo công thức Mácxoen như sau :

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

Dấu $\otimes$ trên hình 5-4 chỉ chiều ϕ đi từ người đọc vào trong giấy.

Nếu cuộn dây có W vòng, sức điện động cảm ứng của cuộn dây sẽ là :

$$e = - W \frac{d\phi}{dt} = - \frac{d\psi}{dt} \quad (5-2)$$

trong đó :

$\psi = W\phi$ gọi là từ thông móc vòng của cuộn dây.

Trong các công thức (5-1), (5-2) từ thông đo bằng Wb (Webe), sức điện động đo bằng V.

b) Trường hợp thanh dẫn chuyển động trong từ trường

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

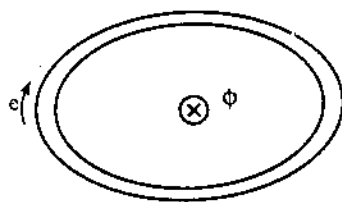
$$e = Blv \quad (5-3)$$

trong đó : B : Cường độ từ cảm đo bằng T (Tesla).

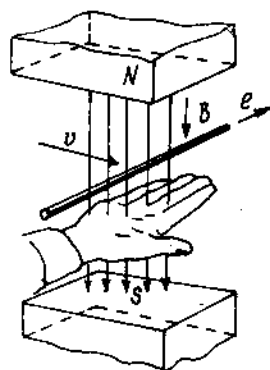
l : Chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn (phần thanh dẫn nằm trong từ trường) đo bằng m

v : Tốc độ thanh dẫn đo bằng m/s.

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



Hình 5-4



Hình 5-5

2. Định luật lực điện từ

Khi thanh dẫn mang dòng điện đặt thẳng góc với đường sức từ trường (đó là trường hợp thường gặp trong động cơ điện), thanh dẫn sẽ chịu một lực điện từ tác dụng, có trị số là :

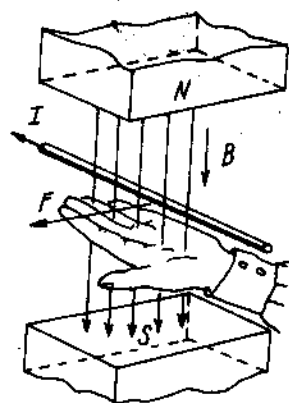
$$F = Bil$$

trong đó : B - Cường độ từ cảm đo bằng T

i - Dòng điện đo bằng A

l - Chiều dài tác dụng thanh dẫn đo bằng m

F - Lực điện từ đo bằng N (Niuton)



Hình 5-6

Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái (hình 5-6).

3. Định luật mạch từ. Tính toán mạch từ

a) Định luật mạch từ

Lõi thép của máy điện là mạch từ. Mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông. Hình 5-7 là mạch từ đơn giản : mạch từ đồng nhất làm bằng thép kĩ thuật điện và có một dây quấn. Định luật dòng điện toàn phần $\int H dl = \sum i$, áp dụng vào mạch từ hình 5-7, được viết như sau :

$$Hl = Wi$$

trong đó :

H - Cường độ từ trường trong mạch từ đo bằng A/m

l - Chiều dài trung bình của mạch từ đo bằng m.

W - Số vòng dây của cuộn dây.

Dòng điện i tạo ra từ thông cho mạch từ, gọi là dòng điện từ hóa.

Tích số Wi được gọi là sức từ động.

Hl được gọi là từ áp rơi trong mạch từ.

Đối với mạch từ gồm nhiều cuộn dây và nhiều đoạn khác nhau (các đoạn làm bằng vật liệu khác nhau, hoặc tiết diện khác nhau) ví dụ hình 5-8, thì định luật mạch từ viết là :

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = W_1 i_1 - W_2 i_2$$

trong đó : H_1, H_2 - Tương ứng là cường độ từ trường trong đoạn 1, 2.

l_1, l_2 - Chiều dài trung bình đoạn 1, 2

$i_1 W_1, i_2 W_2$ - Sức từ động dây quấn 1, 2.

có dấu - trước $W_2 i_2$ vì chiều dòng điện i_2 không phù hợp với chiều từ thông đã chọn theo quy tắc vận nút chai.

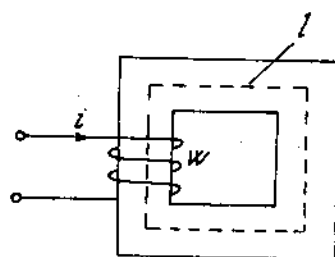
Một cách tổng quát định luật mạch từ được viết :

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{l=1}^m W_l i_l$$

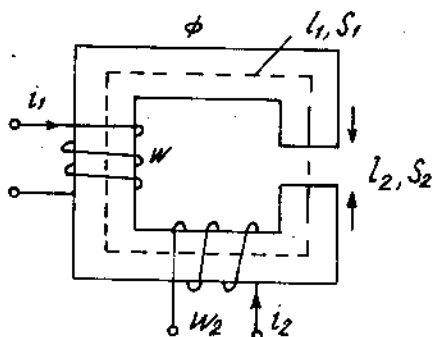
trong đó, dòng điện i_l nào có chiều phù hợp với chiều ϕ đã chọn theo quy tắc vận nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm.

k - Chỉ số tên đoạn mạch từ

l - Chỉ số tên cuộn dây dòng điện.



Hình 5-7



Hình 5-8

b) *Tính toán mạch từ.* Việc tính toán mạch từ thường gặp hai loại bài toán :
 - *Bài toán thuận :* Cho biết từ thông, tính dòng điện từ hóa (hoặc số vòng dây) để sinh ra từ thông ấy.

Việc giải bài toán này thường tiến hành như sau. Ví dụ :

Cho mạch từ không phân nhánh như hình 5-8, từ thông ở các đoạn đều giống nhau, do đó cường độ từ cảm của mỗi đoạn mạch ấy là :

$$B_1 = \frac{\phi}{S_1} ; B_2 = \frac{\phi}{S_2}$$

S_1, S_2 - tiết diện đoạn mạch từ 1, 2.

Từ trị số cường độ từ cảm B ở từng đoạn mạch, ta tính cường độ từ trường H tương ứng với mỗi đoạn mạch ấy như sau :

Đối với đoạn mạch 2 là kẻ không khí, từ trị số cường độ từ cảm B_2 , ta tính cường độ từ trường H_2 như sau :

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

Đối với đoạn mạch từ là vật liệu sắt từ, ta phải tra đường cong từ hóa (hoặc bảng) đối với các loại thép. Từ trị số B ta tra ra trị số H tương ứng. Sau đó ta tìm tổng $\sum H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2$.

Từ đó ta tính ra được dòng điện từ hóa (hoặc số vòng dây).

- *Bài toán ngược :* Cho biết dòng điện, cần tính từ thông. Loại bài toán này phức tạp hơn, thường dùng phương pháp dò hoặc các phương pháp nói trong chương mạch phi tuyến (phụ lục I)

§5-3. CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Vật liệu chế tạo máy điện gồm : vật liệu dẫn điện, vật liệu dẫn từ, vật liệu cách điện và vật liệu kết cấu.

1. Vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện dùng để chế tạo các bộ phận dẫn điện. Vật liệu dẫn điện dùng trong máy điện tốt nhất là đồng vì chúng không dãn nở và có điện trở suất nhỏ. Ngoài ra còn dùng nhôm và các hợp kim khác như đồng thau, đồng photpho. Để chế tạo dây quấn ta thường dùng đồng và sau đồng là nhôm. Dây đồng và dây nhôm được chế tạo theo tiết diện tròn hoặc chữ nhật, có bọc cách điện khác nhau như sợi vải, sợi thủy tinh, giấy, nhựa hóa học, sơn emay. Với các máy điện công suất nhỏ và trung bình, điện áp dưới 700V thường dùng dây emay vì lớp cách điện của dây mỏng, đạt độ bền yêu cầu. Đối với các bộ phận khác như vành đổi chiều, lồng sóc hoặc vành trượt, ngoài đồng, nhôm, người ta còn dùng cả các hợp kim của đồng hoặc nhôm, hoặc có chỗ còn dùng cả thép để tăng độ bền cơ học và giảm kim loại màu.

2. Vật liệu dẫn từ

Vật liệu dẫn từ dùng để chế tạo các bộ phận của mạch từ, người ta dùng các vật liệu sắt từ để làm mạch từ : thép lá kĩ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn. Gang ít khi được dùng, vì dẫn từ không tốt lắm.

Ở đoạn mạch từ có từ thông biến đổi với tần số 50Hz thường dùng thép lá kĩ thuật điện dày 0,35-0,5mm, trong thành phần thép có từ 2-5% Si (để tăng điện trở của thép, giảm dòng điện xoáy). Ở tần số cao hơn, dùng thép lá kĩ thuật điện dày 0,1-0,2mm. Tổn hao công suất trong thép lá do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy được đặc trưng bằng suất tổn hao. Thép lá kĩ thuật điện được chế tạo bằng phương pháp cán nóng và cán nguội. Hiện nay với máy biến áp và máy điện công suất lớn thường dùng thép cán nguội để có độ từ thẩm cao hơn và công suất tổn hao nhỏ hơn loại cán nóng.

Ở đoạn mạch từ có từ trường không đổi, thường dùng thép đúc, thép rèn hoặc thép lá.

3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện dùng cách ly các bộ phận dẫn điện và không dẫn điện, hoặc cách ly các bộ phận dẫn điện với nhau. Trong máy điện, vật liệu cách điện phải có cường độ cách điện cao, chịu nhiệt tốt, tản nhiệt tốt, chống ẩm và bền về cơ học. Độ bền vững về nhiệt của chất cách điện bọc dây dẫn, quyết định nhiệt độ cho phép của dây và do đó quyết định tải của nó.

Nếu tính năng chất cách điện cao thì lớp cách điện có thể mỏng và kích thước của máy giảm.

Chất cách điện của máy điện chủ yếu ở thể rắn, gồm 4 nhóm :

- a) Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải lụa.
- b) Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thủy tinh.
- c) Các chất tổng hợp.
- d) Các loại sơn, sơn cách điện.

Chất cách điện tốt nhất là mica, song tương đối đắt nên chỉ dùng trong các máy điện có điện áp cao.

Thông thường dùng các vật liệu có sợi như giấy, vải, sợi v.v. Chúng có độ bền cơ tốt, mềm, rẻ tiền nhưng dẫn nhiệt xấu, hút ẩm, cách điện kém. Do đó dây dẫn cách điện sợi phải được sấy tẩm để cải thiện tính năng của vật liệu cách điện.

Căn cứ vào độ bền nhiệt, vật liệu cách điện được chia ra nhiều loại : vật liệu cách điện cấp A gồm bông, tơ, giấy và các chất hữu cơ tương tự được tẩm dầu và cách điện dây dẫn bằng sơn émay. Nhiệt độ cho phép của chúng khoảng 90°-105°C.

Vật liệu cách điện cấp B gồm các sản phẩm của mica, amiăng, sợi thủy tinh, nhiệt độ cho phép từ 105° - 140°C. Vật liệu cách điện cấp E là trung gian giữa cấp A và B. Vật liệu cách điện cấp E và cấp H là vật liệu cách điện chịu nhiệt cao.

Ngoài ra còn có chất cách điện ở thể khí (không khí, khinh khí) hoặc thể lỏng (dầu máy biến áp).

4. Vật liệu kết cấu

Vật liệu kết cấu là vật liệu để chế tạo các chi tiết chịu các tác động cơ học như trục, ổ trục, vỏ máy, nắp máy. Trong máy điện, các vật liệu kết cấu thường là gang, thép lá, thép rèn, kim loại màu và hợp kim của chúng, các chất dẻo.

§5-4. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

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

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

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

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

§5-5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Việc nghiên cứu máy điện gồm các công việc sau :

1. Nghiên cứu các hiện tượng vật lý xảy ra trong máy điện.
2. Dựa vào các định luật vật lý, viết hệ phương trình toán học diễn tả sự làm việc của máy điện.

Đó là mô hình toán của máy điện.

3. Từ mô hình toán, thiết lập mô hình mạch, đó là mạch điện (sơ đồ) thay thế của máy điện.

4. Từ mô hình toán và mô hình mạch, tính toán các đặc tính và nghiên cứu máy điện, khai thác, sử dụng theo các yêu cầu cụ thể.

Chương 6

MÁY BIẾN ÁP

§6-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Để biến đổi điện áp của dòng điện xoay chiều từ điện áp cao xuống điện áp thấp, hoặc ngược lại từ điện áp thấp lên điện áp cao, ta dùng máy biến áp. Ngày nay, do việc sử dụng điện năng phát triển rất rộng rãi, nên có những loại máy biến áp khác nhau : máy biến áp một pha, ba pha, hai dây quấn, ba dây quấn v.v.. nhưng chúng dựa trên một nguyên lý, đó là nguyên lý cảm ứng điện từ.

1. Định nghĩa

Máy biến áp là một thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số. Hệ

thống điện đầu vào máy biến áp (trước lúc biến đổi) có : điện áp U_1 , dòng điện I_1 , tần số f . Hệ thống điện đầu ra của máy biến áp (sau khi biến đổi) có : điện áp U_2 , dòng điện I_2 và tần số f . Trong các bản vẽ, máy biến áp được kí hiệu như hình 6-1.



Hình 6-1

Đầu vào của máy biến áp nối với nguồn điện, được gọi là sơ cấp. Đầu ra nối với tải gọi là thứ cấp. Các đại lượng, các thông số sơ cấp trong kí hiệu có ghi chỉ số 1 : số vòng dây sơ cấp W_1 , điện áp sơ cấp U_1 , dòng điện sơ cấp I_1 , công suất sơ cấp P_1 . Các đại lượng và thông số thứ cấp có chỉ số 2. Số vòng dây thứ cấp W_2 , điện áp thứ cấp U_2 , dòng điện thứ cấp I_2 , công suất thứ cấp P_2 .

Nếu điện áp thứ cấp lớn hơn sơ cấp là máy biến áp tăng áp. Nếu điện áp thứ cấp nhỏ hơn điện áp sơ cấp gọi là máy biến áp giảm áp.

2. Các lượng định mức

Các lượng định mức của máy biến áp do xưởng chế tạo máy biến áp quy định để cho máy có khả năng làm việc lâu dài và tốt nhất.

Ba đại lượng định mức cơ bản là :

a) *Điện áp định mức.* Điện áp sơ cấp định mức kí hiệu U_{1dm} , là điện áp đã quy định cho dây quấn sơ cấp. Điện áp thứ cấp định mức kí hiệu U_{2dm} , là điện áp giữa các cực của dây quấn thứ cấp, khi dây quấn thứ cấp hở mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức. Người ta quy ước, với máy biến áp một pha điện áp định mức là điện áp pha, với máy biến áp ba pha là điện áp dây. Đơn vị điện áp ghi trên máy thường là kV.

b) *Dòng điện định mức.* Dòng điện định mức là dòng điện đã quy định cho mỗi dây quấn của máy biến áp, ứng với công suất định mức và điện áp định mức. Đối với máy biến áp một pha dòng điện định mức là dòng điện pha. Đối với máy biến áp ba pha, dòng điện định mức là dòng điện dây. Đơn vị dòng điện ghi trên máy thường là A. Dòng điện sơ cấp định mức kí hiệu I_{1dm} , dòng điện thứ cấp định mức kí hiệu I_{2dm} .

c) *Công suất định mức.* Công suất định mức của máy biến áp là công suất biểu kiến thứ cấp ở chế độ làm việc định mức. Công suất định mức kí hiệu là S_{dm} , đơn vị là kVA. Đối với máy biến áp một pha công suất định mức là :

$$S_{dm} = U_{2dm} I_{2dm} = U_{1dm} I_{1dm} \quad (6-1)$$

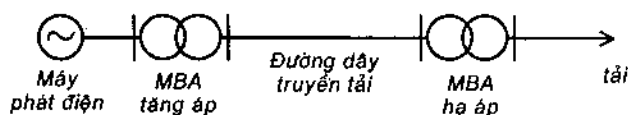
Đối với máy biến áp ba pha công suất định mức là :

$$S_{dm} = \sqrt{3} U_{2dm} I_{2dm} = \sqrt{3} U_{1dm} I_{1dm} \quad (6-2)$$

Ngoài ra trên biển máy còn ghi tần số, số pha, sơ đồ nối dây, điện áp ngắn mạch, chế độ làm việc v.v...

3. Công dụng của máy biến áp

Máy biến áp có vai trò quan trọng trong hệ thống điện, dùng để truyền tải và phân phối điện năng. Các nhà máy điện công suất lớn thường ở xa các trung tâm tiêu thụ điện (khu công nghiệp, đô thị v.v...) vì thế cần phải xây dựng các đường dây truyền tải điện năng. Điện áp



Hình 6-2

máy phát thường là 6,3 ; 10,5 ; 15,75 ; 38,5 kV. Để nâng cao khả năng truyền tải và giảm tổn hao công suất trên đường dây, phải giảm dòng điện chạy trên đường dây, bằng cách nâng cao điện áp. Vì vậy ở đầu đường dây cần đặt máy biến áp tăng áp. Mặt khác điện áp của tải thường khoảng 127V đến 500V ; động cơ công suất lớn thường 3 hoặc 6kV, vì vậy ở cuối đường dây cần đặt máy biến áp giảm áp (hình 6-2).

Ngoài ra máy biến áp còn được sử dụng, trong các thiết bị lò nung (máy biến áp lò), trong hàn điện (máy biến áp hàn) làm nguồn cho các thiết bị điện, điện tử cần nhiều cấp điện áp khác nhau, trong lĩnh vực đo lường (máy biến dòng, máy biến điện áp) v.v...

§6-2. CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp có 2 bộ phận chính : Lõi thép và dây quấn.

1. Lõi thép máy biến áp

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kĩ thuật điện. Lõi thép gồm hai bộ phận :

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

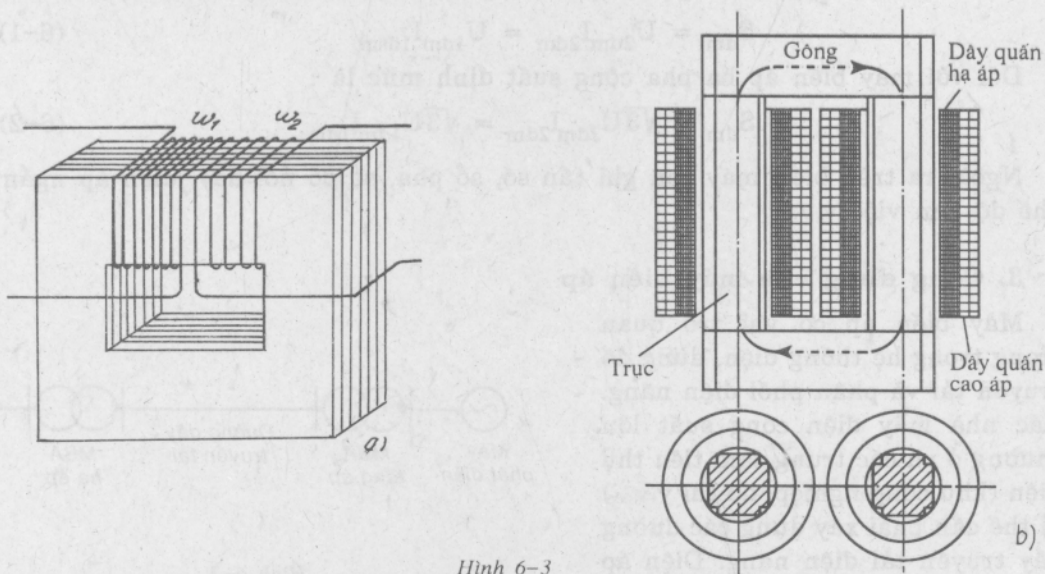
Trụ và gông tạo thành mạch từ khép kín.

Để giảm dòng điện xoáy trong lõi thép, người ta dùng thép lá kĩ thuật điện (dày 0,35mm đến 0,5mm, mặt ngoài có sơn cách điện) ghép lại với nhau thành lõi thép (hình 6-3a)

2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn máy biến áp thường được chế tạo bằng dây đồng (hoặc nhôm), có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.

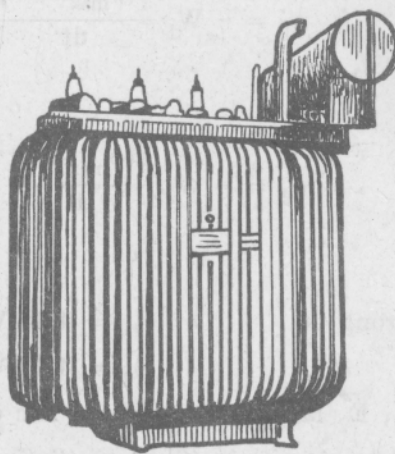
Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ lõi thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn có cách điện với nhau và các dây quấn có cách điện với lõi thép. Máy



Hình 6-3

biến áp thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi các dây quấn đặt trên cùng một trụ, thì dây quấn điện áp thấp đặt sát trụ thép, các dây quấn khác đặt lồng ra ngoài. Làm như vậy sẽ giảm được vật liệu cách điện (hình 6-3b).

Để làm mát và tăng cường cách điện cho máy biến áp, người ta thường đặt lõi thép và dây quấn trong một thùng dầu máy biến áp. Máy biến áp công suất lớn, vỏ thùng dầu có cánh tản nhiệt. Ngoài ra còn có các sứ ra để nối các đầu dây quấn ra ngoài, bộ phận chuyển mạch để điều chỉnh điện áp ; rơ le hơi để bảo vệ máy, thiết bị chống ẩm v.v... (hình 6-4).



Hình 6-4

§6-3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Trên hình 6-5 vẽ sơ đồ nguyên lý của máy biến áp một pha có hai dây quấn W_1 và W_2 .

Khi ta nối dây quấn W_1 vào nguồn điện xoay chiều có điện áp u_1 , sẽ có dòng điện sơ cấp i_1 chạy trong dây quấn sơ cấp W_1 . Dòng điện i_1 sinh ra từ thông ϕ biến thiên chạy trong lõi thép, từ thông này móc vòng (xuyên qua) đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp W_1 và thứ cấp W_2 , được gọi là từ thông chính.

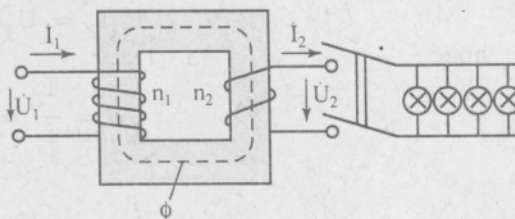
Theo định luật cảm ứng điện từ, sự biến thiên của từ thông ϕ làm cảm ứng vào dây quấn sơ cấp sức điện động là :

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (6-3)$$

và cảm ứng vào dây quấn thứ cấp sức điện động là :

$$e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (6-4)$$

trong đó W_1 , W_2 là số vòng của dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Khi máy biến áp không tải, dây quấn thứ cấp hở mạch, dòng điện thứ cấp $I_2 = 0$, từ thông chính ϕ trong lõi thép chỉ do dòng sơ cấp I_0 sinh ra.



Hình 6-5

Khi máy biến áp có tải, dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở tải $\bar{Z}_t$, dưới tác động của sức điện động e_2 , có dòng điện thứ cấp i_2 cung cấp điện cho tải. Khi ấy từ thông chính ϕ do đồng thời cả hai dòng sơ cấp i_1 và thứ cấp i_2 sinh ra.

Điện áp u_1 hình sin nên từ thông cũng biến thiên hình sin $\phi = \phi_{\max} \sin \omega t$ ta có :

$$e_1 = -W_1 \frac{d(\phi_{\max} \sin \omega t)}{dt} = 4,44fW_1 \phi_{\max} \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$= E_1 \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (6-5)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d(\phi_{\max} \sin \omega t)}{dt} = 4,44fW_2 \phi_{\max} \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$= E_2 \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (6-6)$$

trong đó $E_1 = 4,44fW_1 \phi_{\max}$ (6-7)

$E_2 = 4,44fW_2 \phi_{\max}$ (6-8)

E_1, E_2 là trị số hiệu dụng sức điện động sơ cấp, thứ cấp.

Nhìn công thức (6-5) và (6-6) ta thấy : sức điện động thứ cấp và sơ cấp có cùng tần số, nhưng trị số hiệu dụng khác nhau.

Nếu chia E_1 cho E_2 ta có :

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6-9)$$

k được gọi là hệ số biến áp.

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí, có thể coi gần đúng $U_1 \approx E_1, U_2 \approx E_2$ ta có :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = k$$

nghĩa là tỉ số điện áp sơ cấp và thứ cấp gần đúng bằng tỉ số vòng dây.

Đối với máy tăng áp có : $U_2 > U_1 ; W_2 > W_1$

Đối với máy giảm áp có : $U_2 < U_1 ; W_2 < W_1$

Như vậy dây quấn sơ cấp và thứ cấp không trực tiếp liên hệ với nhau về điện nhưng nhờ có từ thông chính, năng lượng đã được truyền từ dây quấn sơ cấp sang thứ cấp.

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp, có thể coi gần đúng, quan hệ giữa các đại lượng sơ cấp và thứ cấp như sau :

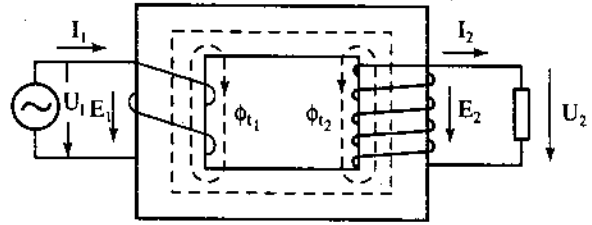
hoặc $U_2 I_2 \approx U_1 I_1$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx k \quad (6-10)$$

§6-4. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN VÀ TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

Khi viết hệ phương trình, trước hết ta chọn chiều i_1 như hình 6-6. Theo quy tắc vận nút chai, chiều ϕ phù hợp với chiều i_1 , chiều e_1, e_2 phù hợp với chiều ϕ nghĩa là e_1 và i_1 trùng chiều. Chiều i_2 được chọn ngược với chiều e_2 nghĩa là chiều i_2 không phù hợp với chiều ϕ theo quy tắc trên.

Ngoài từ thông chính ϕ chạy trong lõi thép như đã nói ở trên, trong máy biến áp còn có từ thông tản. Từ thông tản không chạy trong lõi thép mà chạy tản ra trong không khí, các vật liệu cách điện v.v... Từ thông tản khép mạch qua các vật liệu không sắt từ, có độ dẫn từ kém, do đó từ thông tản nhỏ rất nhiều so với từ thông chính. Từ thông tản chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn. Từ thông tản móc vòng sơ cấp kí hiệu là Ψ_1 do dòng điện sơ cấp i_1 gây ra. Từ thông tản móc vòng thứ cấp Ψ_2 do dòng điện thứ cấp i_2 gây ra. Ở chương 1 đã biết, từ thông tản được đặc trưng bằng điện cảm tản (công thức 1-8 §1-3).



Hình 6-6

Điện cảm tản dây quấn sơ cấp L_1 là :

$$L_1 = \frac{\Psi_1}{i_1} \quad (6-11)$$

Điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_2 là :

$$L_2 = \frac{\Psi_2}{i_2} \quad (6-12)$$

1. Phương trình cân bằng điện sơ cấp

Chúng ta hãy xét mạch điện sơ cấp, gồm nguồn điện áp u_1 , sức điện động e_1 , điện trở dây quấn sơ cấp R_1 , điện cảm tản sơ cấp L_1 . Áp dụng định luật Kiếchốp 2 ta có phương trình cân bằng điện sơ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là :

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

hoặc chuyển vế ta có :

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1 \quad (6-13)$$

Nếu viết dưới dạng số phức :

Tổng trở phức dây quấn sơ cấp là :

$$\bar{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = R_1 + jX_1 \quad (6-14)$$

trong đó $X_1 = \omega L_1$ là điện kháng tản dây quấn sơ cấp.

Phương trình cân bằng điện sơ cấp viết dưới dạng số phức là :

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{I}_1 + jX_1 \bar{I}_1 - \bar{E}_1 = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 - \bar{E}_1 \quad (6-15)$$

2. Phương trình cân bằng điện thứ cấp

Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động e_2 , điện trở dây quấn thứ cấp R_2 , điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_2 , tổng trở tải $\bar{Z}_L$. Phương trình Kiếchốp 2 viết dưới dạng trị số tức thời là :

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

hoặc chuyển về ta có :

$$u_2 = -e_2 - R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (6-16)$$

Nếu viết dưới dạng số phức : Tổng trở phức dây quấn thứ cấp là :

$$\bar{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jX_2 \quad (6-17)$$

trong đó $X_2 = \omega L_2$ là điện kháng tần dây quấn thứ cấp.

Phương trình cân bằng điện thứ cấp viết dưới dạng số phức sẽ là :

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (6-18)$$

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

$$\dot{U}_2 = \bar{Z}_t \dot{I}_2 \quad (6-19)$$

3. Phương trình cân bằng từ

Trong phương trình cân bằng điện sơ cấp, $\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \bar{Z}_1 - \dot{E}_1$, điện áp rơi $\dot{I}_1 \bar{Z}_1$ thường rất nhỏ vì thế có thể lấy gần đúng $U_1 \approx E_1$.

Vì điện áp lưới điện đặt vào máy biến áp U_1 không đổi, cho nên sức điện động E_1 không đổi và từ thông chính $\phi_{\max}$ sẽ không đổi. Ở chế độ không tải, từ thông chính do sức từ động của dây quấn sơ cấp $i_0 W_1$ sinh ra, còn ở chế độ có tải, từ thông chính do sức từ động cả 2 dây quấn sơ cấp và thứ cấp sinh ra. Sức từ động lúc có tải là $i_1 W_1 - i_2 W_2$. Có dấu - trước i_2 vì chiều i_2 trong hình 6-6 không phù hợp với chiều ϕ chính đã chọn như hình vẽ 6-6.

Vì $\phi_{\max}$ không đổi, cho nên sức từ động không tải bằng sức từ động lúc có tải, do đó ta có phương trình cân bằng từ viết dưới dạng tức thời :

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

Chia cả hai vế cho W_1 ta có :

$$i_0 = i_1 - i_2 \frac{W_2}{W_1} = i_1 - \frac{i_2}{\frac{W_1}{W_2}} = i_1 - \frac{i_2}{k} = i_1 - i'_2$$

$$\text{hoặc} \quad i_1 = i_0 + i'_2 \quad (6-20)$$

trong đó : $k = \frac{W_1}{W_2}$ hệ số biến áp

$$i'_2 = \frac{i_2}{k}$$

i'_2 là dòng điện thứ cấp đã quy đổi về phía sơ cấp.

Phương trình cân bằng từ viết dưới dạng số phức là :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6-21)$$

Phương trình cân bằng từ cho ta thấy rõ quan hệ giữa mạch điện sơ cấp và thứ cấp.

Hệ ba phương trình cân bằng điện và từ (6-13, 6-16, 6-20, hoặc 6-15, 6-18, 6-21) là mô hình toán của máy biến áp.

§6-5. SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Từ mô hình toán :

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

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (6-23)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \quad (6-24)$$

Ta tìm cách xây dựng mô hình mạch, đó là sơ đồ điện, gọi là sơ đồ thay thế, phản ánh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp, thuận lợi cho việc phân tích, nghiên cứu máy biến áp.

Nhân phương trình (6-23, 6-19) với k, phương trình (6-23) sẽ là :

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

phương trình (6-19) sẽ là :

$$k \dot{U}_2 = k \bar{Z}_1 \dot{I}_2 = k^2 \bar{Z}_1 \frac{\dot{I}_2}{k}$$

$$\text{Đặt} \quad \dot{E}'_2 = k \dot{E}_2 = \dot{E}_1 \quad (6-25)$$

$$\dot{U}'_2 = k \dot{U}_2 \quad (6-26)$$

$$\bar{Z}'_2 = k^2 \bar{Z}_2 ; R'_2 = k^2 R_2 ; X'_2 = k^2 X_2 \quad (6-27)$$

$$\bar{Z}'_1 = k^2 \bar{Z}_1 ; R'_1 = k^2 R_1 ; X'_1 = k^2 X_1 \quad (6-28)$$

$$\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k} \quad (6-29)$$

phương trình (6-23) trở thành :

$$\dot{U}'_2 = -\dot{E}_1 - \bar{Z}'_2 \dot{I}'_2 \quad (6-30)$$

Đây là phương trình cân bằng điện thứ cấp đã quy đổi về sơ cấp. trong đó

$\dot{E}'_2$, $\dot{U}'_2$, $\dot{I}'_2$, $\bar{Z}'_2$, $\bar{Z}'_1$ lần lượt được gọi là sức điện động, điện áp thứ cấp, dòng điện thứ cấp, tổng trở dây quấn thứ cấp, tổng trở tải, đã quy đổi về sơ cấp.

Hệ (6-25, 26, 27, 28, 29) là các công thức quy đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.

Ta biết rằng, điều kiện quy đổi là bảo toàn năng lượng. Điều kiện đó đã được đảm bảo trong quá trình biến đổi trên. Thực vậy, công suất trên các phần tử trước và sau khi quy đổi bằng nhau. Ví dụ :

$$\dot{E}'_2 \dot{I}'_2 = k \dot{E}_2 \frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{E}_2 \dot{I}_2$$

Bây giờ ta xét phương trình (6-22), vế phải phương trình gồm : $\bar{Z}_1 I_1$ là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn $\bar{Z}_1$, và $(-\bar{E}_1)$ chính là điện áp rơi trên tổng trở $\bar{Z}_{th}$ đặc trưng cho từ thông chính ϕ , và tổn hao sắt từ. Vì từ thông chính do dòng điện không tải I_o sinh ra nên ta có thể viết :

$$(-\bar{E}_1) = (R_{th} + jX_{th}) \dot{I}_o = \bar{Z}_{th} \dot{I}_o \quad (6-31)$$

trong đó : $Z_{th} = R_{th} + jX_{th}$ là tổng trở từ hóa đặc trưng cho mạch từ. R_{th} là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt từ.

$$\Delta P_{st} = R_{th} I_o^2$$

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

Thay giá trị $(-\bar{E}_1)$ vào hệ 3 phương trình máy biến áp, cuối cùng ta có :

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_{th} \dot{I}_o \quad (6-32)$$

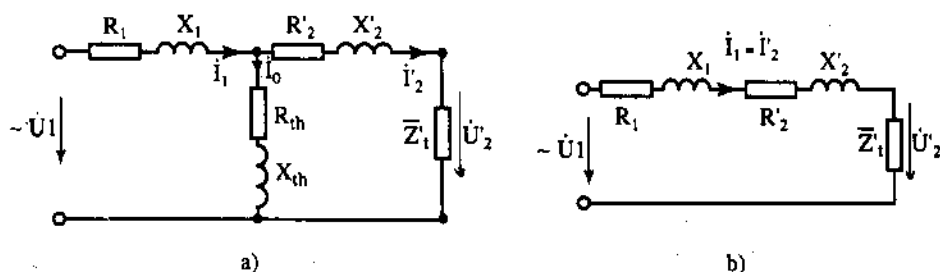
$$\dot{U}_2 = \bar{Z}_{th} \dot{I}_o - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (6-33)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_o + \dot{I}_2 \quad (6-34)$$

Hệ 3 phương trình (6-32, 33, 34) chính là 2 phương trình Kiếchốp 2 và 1 phương trình Kiếchốp 1 viết cho mạch điện hình 6-7a. Nhánh có $\bar{Z}_{th}$ được gọi là nhánh từ hóa.

Thông thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn, dòng điện I_o nhỏ, do đó có thể bỏ nhánh từ hóa, ta có sơ đồ thay thế đơn giản hình 6-7b.

Sơ đồ đơn giản được sử dụng nhiều trong tính toán gần đúng các đặc tính của máy biến áp.



Hình 6-7

§6-8. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ không tải là chế độ mà phía thứ cấp hở mạch, phía sơ cấp đặt vào điện áp.

1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải

Khi không tải $I_2 = 0$ ta có :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_o \bar{Z}_1 - \bar{E}_1$$

hoặc

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_o (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th}) = \dot{I}_o \bar{Z}_o \quad (6-35)$$

$$\bar{Z}_o = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th} \quad \text{là tổng trở máy}$$

biến áp không tải.

Sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải vẽ trên hình 6-8.

2. Các đặc điểm ở chế độ không tải

a) *Dòng điện không tải.* Từ phương trình trên, ta tính được dòng điện không tải như sau :

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

Tổng trở z_o thường rất lớn vì thế dòng điện không tải nhỏ bằng 3% ÷ 10% dòng điện định mức.

b) *Công suất không tải.* Ở chế độ không tải công suất đưa ra phía thứ cấp bằng không, song máy vẫn tiêu thụ công suất P_o , công suất P_o gồm công suất tổn hao sắt từ ΔP_{st} trong lõi thép và công suất tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp ΔP_{R1} . Vì dòng điện không tải nhỏ cho nên có thể bỏ qua công suất tổn hao trên điện trở và coi gần đúng :

$$P_o \approx \Delta P_{st} \quad (6-36)$$

c) *Hệ số công suất không tải.* Công suất phản kháng không tải Q_o rất lớn so với công suất tác dụng không tải P_o . Hệ số công suất lúc không tải thấp.

$$\cos \varphi_o = \frac{R_o}{\sqrt{R_o^2 + X_o^2}} = \frac{P_o}{\sqrt{P_o^2 + Q_o^2}} = 0,1 \div 0,3$$

Từ những đặc điểm trên ta nhận thấy rằng không nên để máy ở tình trạng không tải hoặc non tải.

3. Thí nghiệm không tải của máy biến áp

Để xác định hệ số biến áp k , tổn hao sắt từ và các thông số của máy ở chế độ không tải, ta tiến hành thí nghiệm không tải. Sơ đồ thí nghiệm không tải vẽ trên hình 6-9.

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

Oátmét chỉ công suất không tải $P_o \approx \Delta P_{st}$

Ampemét cho ta dòng điện không tải I_o

Các vônmet cho giá trị U_1, U_{2o} .

Từ đó ta tính được :

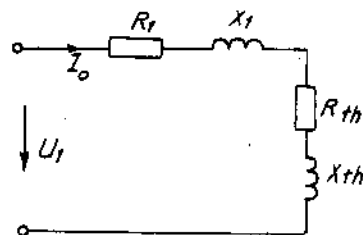
a) *Hệ số biến áp k*

$$k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{2o}}$$

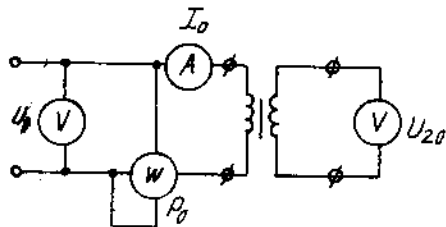
b) *Dòng điện không tải phần trăm*

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

I_{1dm} là dòng điện định mức sơ cấp.



Hình 6-8



Hình 6-9

c) Điện trở không tải

$$R_o = \frac{P_o}{I_o^2} \quad (6-37)$$

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

Vì rằng $R_{th} \gg R_1$ nên lấy gần đúng

$$R_{th} \approx R_o \quad (6-38)$$

d) Tổng trở không tải

$$z_o = \frac{U_{ldm}}{I_o} \quad (6-39)$$

Cũng như trên tổng trở từ hóa lấy gần đúng là :

$$z_{th} \approx z_o \quad (6-40)$$

d) Điện kháng không tải

$$X_o = \sqrt{z_o^2 - R_o^2} \quad (6-41)$$

Điện kháng từ hóa lấy gần đúng là :

$$X_{th} \approx X_o \quad (6-42)$$

g) Hệ số công suất không tải

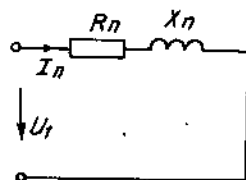
$$\cos \varphi_o = \frac{P_o}{U_{ldm} \cdot I_o} = 0,1 + 0,3 \quad (6-43)$$

§6-7. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ ngắn mạch là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại, sơ cấp vẫn đặt vào điện áp định mức. Trong vận hành, do nhiều nguyên nhân làm máy biến áp bị ngắn mạch như hai đầu dây quấn phía thứ cấp chạm vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng một dây tổng trở rất nhỏ. Đây là tình trạng sự cố.

1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch

Sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch vẽ trên hình 6-10. Vì tổng trở z_2 rất nhỏ so với z_{th} , nên coi gần đúng có thể bỏ nhánh từ hóa. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch I_n .



Phương trình cân bằng điện là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2) = \dot{I}_n \bar{Z}_n \quad (6-44)$$

Trong đó $\bar{Z}_n = (R_1 + R_2') + j(X_1 + X_2') = R_n + jX_n = z_n e^{j\varphi_n}$

$R_n \approx R_1 + R_2'$ là điện trở ngắn mạch máy biến áp

$X_n = X_1 + X_2'$ là điện kháng ngắn mạch máy biến áp

Hình 6-10

$z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$ là tổng trở ngắn mạch máy biến áp.

$\bar{Z}_n$ là tổng trở phức ngắn mạch máy biến áp.

2. Các đặc điểm ở chế độ ngắn mạch

a) *Dòng điện ngắn mạch.* Từ phương trình trên ta có dòng điện ngắn mạch :

$$I_n = \frac{U_{1dm}}{z_n} \quad (6-45)$$

Vì tổng trở ngắn mạch rất nhỏ cho nên dòng điện ngắn mạch thường lớn bằng 10 ÷ 25 lần dòng điện định mức, nguy hiểm đối với máy biến áp và ảnh hưởng đến các tải dùng điện.

b) *Lúc ngắn mạch điện áp thứ cấp* $U_2 = 0$ do đó điện áp ngắn mạch U_n là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn.

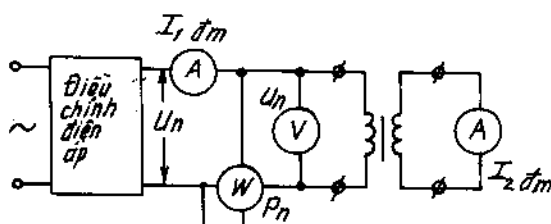
Từ các nhận xét trên, khi sử dụng máy biến áp cần tránh tình trạng ngắn mạch.

3. Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp

Để xác định tổn hao trên điện trở dây quấn và xác định các thông số sơ cấp và thứ cấp, ta tiến hành thí nghiệm ngắn mạch.

Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch vẽ trên hình 6-11.

Dây quấn thứ cấp nối ngắn mạch. Dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp. Nhờ bộ điều chỉnh điện áp ta có thể điều chỉnh điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng U_n sao cho dòng điện trong các dây quấn bằng định mức. U_n gọi là điện áp ngắn mạch, thường được tính theo phần trăm của điện áp sơ cấp định mức



Hình 6-11

$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% = 3 \div 10\% \quad (6-46)$$

Vì điện áp ngắn mạch nhỏ, từ thông ϕ sẽ nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch P_n chính là tổn hao trong điện trở 2 dây quấn. Từ đó ta tính được các thông số dây quấn trong sơ đồ thay thế.

a) *Tổng trở ngắn mạch*

$$z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}} \quad (6-47)$$

b) *Điện trở ngắn mạch*

$$R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2} \quad (6-48)$$

c) *Điện kháng ngắn mạch*

$$X_n = \sqrt{z_n^2 - R_n^2} \quad (6-49)$$

Để tính các thông số dây quấn của máy biến áp, thường dùng các công thức gần đúng sau :

$$R_1 \approx R_2 \approx \frac{R_n}{2} \quad (6-50)$$

$$X_1 \approx X_2 \approx \frac{X_n}{2} \quad (6-51)$$

Biết hệ số biến áp, tính được thông số thứ cấp chưa quy đổi.

$$R_2 = \frac{R_2'}{k^2} \quad (6-52)$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{k^2} \quad (6-53)$$

d) Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm

$$U_{nR} \% = \frac{R_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = U_n \% \cos \varphi_n \quad (6-54)$$

e) Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm

$$U_{nX} \% = \frac{X_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = U_n \% \sin \varphi_n \quad (6-55)$$

Hình 6-12a là tam giác điện áp ngắn mạch, hình 6-12b là tam giác tổng trở ngắn mạch.



Hình 6-12

§6-8. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ trong đó dây quấn sơ cấp nối vào nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải. Để đánh giá mức độ tải, người ta đưa ra hệ số tải k_t

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{1dm}} \quad (6-56)$$

$k_t = 1$ tải định mức

$k_t < 1$ non tải

$k_t > 1$ quá tải.

Ở chế độ tải, phương trình cân bằng điện và từ đã xét ở §6-4 (công thức 6-13, 6-16, 6-20 hoặc 6-15, 6-18, 6-21), sơ đồ thay thế đã xét ở §6-5 (hình 6-7a,b). Các thông số của sơ đồ thay thế được xác định bằng các thí nghiệm không tải và ngắn mạch (§6-6 ; §6-7).

Dưới đây ta dựa vào hệ phương trình và sơ đồ thay thế để nghiên cứu một số đặc tính làm việc lúc có tải.

1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp theo tải. Đường đặc tính ngoài

a) *Độ biến thiên điện áp thứ cấp.* Máy biến áp có tải, sự thay đổi tải gây nên sự thay đổi điện áp thứ cấp U_2 . Khi điện áp sơ cấp định mức, độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm tính như sau :

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} 100\% \quad (6-57)$$

Nhân tử và mẫu với hệ số biến áp $k = \frac{W_1}{W_2}$ ta có :

$$\Delta U_2 \% = \frac{kU_{2dm} - kU_2}{kU_{2dm}} = \frac{U_{1dm} - U_2'}{U_{1dm}} 100\% \quad (6-58)$$

Đồ thị vécto của máy biến áp ứng với sơ đồ thay thế đơn giản vẽ trên hình 6-13.

Để tính ΔU_2 ta chiếu $\vec{U}_1$ lên $\vec{U}_2'$. Theo đồ thị thấy rằng, góc lệch pha giữa $\vec{U}_1$ và $\vec{U}_2'$ không lớn, có thể coi gần đúng

$$U_{1dm} = OB \approx OC$$

$$\begin{aligned} U_{1dm} - U_2' &\approx AC = AB \cos(\varphi_n - \varphi_t) = \\ &= AB \cos\varphi_n \cos\varphi_t + AB \sin\varphi_n \sin\varphi_t = \\ &= I_1 z_n \cos\varphi_n \cos\varphi_t + I_1 z_n \sin\varphi_n \sin\varphi_t \end{aligned}$$

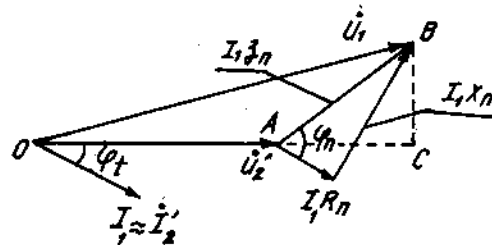
φ_n là góc của tổng trở ngắn mạch (§6-7)

φ_t là góc lệch pha giữa điện áp $\vec{U}_2'$ và dòng điện $\vec{I}_2$, chính là góc của tổng trở tải.

$$\varphi_t = \arctg \frac{X_t}{R_t}$$

$$\begin{aligned} \text{Vậy } \Delta U_2 \% &= \frac{I_1 z_n \cos\varphi_n \cos\varphi_t + I_1 z_n \sin\varphi_n \sin\varphi_t}{U_{1dm}} 100\% = \\ &= k_t \left(\frac{I_{1dm} z_n \cos\varphi_n \cos\varphi_t + I_{1dm} z_n \sin\varphi_n \sin\varphi_t}{U_{1dm}} \right) 100\% = \\ &= k_t (U_{nR} \% \cos\varphi_t + U_{nX} \% \sin\varphi_t) \end{aligned} \quad (6-59)$$

trong đó $k_t = \frac{I_1}{I_{1dm}}$ hệ số tải



Hình 6-13

$$U_{nR} \% = \frac{I_{ldm} z_n \cos \varphi_n}{U_{ldm}} 100\% = U_n \% \cos \varphi_n \quad (6-60)$$

$$U_{nX} \% = \frac{I_{ldm} z_n \sin \varphi_n}{U_{ldm}} 100\% = U_n \% \sin \varphi_n \quad (6-61)$$

Trên hình 6-14a vẽ $\Delta U_2\%$ ứng với các loại tải khi $\cos \varphi_1 = \text{const}$

b) Đường đặc tính ngoài. Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn quan hệ $U_2 = f(I_2)$, khi $U_1 = U_{ldm}$ và $\cos \varphi_1 = \text{const}$ (hình 6-14b)

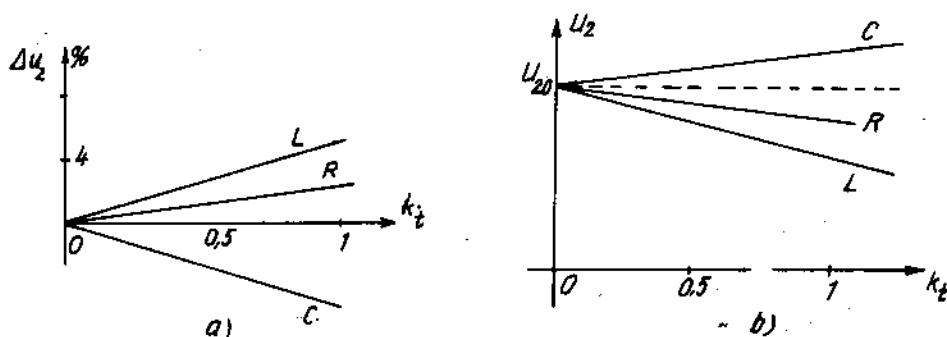
Điện áp thứ cấp U_2 là :

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100} \right) \quad (6-62)$$

Dựa vào công thức (6-62) ta vẽ đường đặc tính ngoài.

Từ đồ thị ta thấy, khi tải dung, I_2 tăng thì U_2 tăng. Khi tải cảm hoặc trở, I_2 tăng thì U_2 giảm (tải cảm U_2 giảm nhiều hơn).

Để điều chỉnh U_2 đạt được giá trị mong muốn, ta thay đổi số vòng dây trong khoảng $\pm 5\%$ (thường thay đổi số vòng dây cuộn cao áp).



Hình 6-14

2. Tổn hao và hiệu suất máy biến áp

Khi máy biến áp làm việc có các tổn hao sau :

- Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp gọi là tổn hao đồng ΔP_d . Tổn hao đồng phụ thuộc vào dòng điện tải.

$$\Delta P_d = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 (R_1 + R_2) = I_1^2 R_n = k_t^2 I_{ldm}^2 R_n \quad (6-63)$$

$$\Delta P_d = k_t^2 P_n \quad (6-64)$$

trong đó P_n là công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch

- Tổn hao sắt từ ΔP_{st} trong lõi thép, do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra. Tổn hao sắt từ không phụ thuộc tải mà phụ thuộc vào từ thông chính, nghĩa là phụ thuộc vào điện áp. Tổn hao sắt từ bằng công suất đo được khi thí nghiệm không tải.

$$\Delta P_{st} = P_o \quad (6-65)$$

Hiệu suất máy biến áp là :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d} = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_t}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_o + k_t^2 P_n} \quad (6-66)$$

trong đó P_2 là công suất tác dụng ở đầu ra (tải tiêu thụ)

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t$$

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{S_2}{S_{dm}}$$

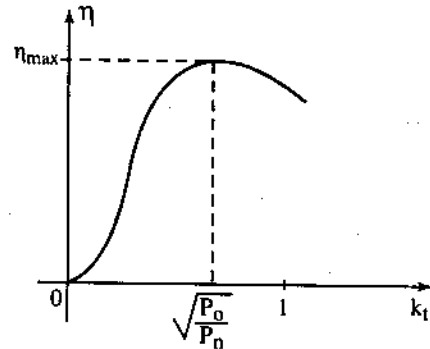
Nếu $\cos \varphi_t$ không đổi, hiệu suất cực đại khi

$$\frac{\partial \eta}{\partial k_t} = 0$$

Sau khi tính, ta có hiệu suất cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ $k_1^2 P_n = P_o$.

Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại là :

$$k_t = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}} \quad (6-67)$$



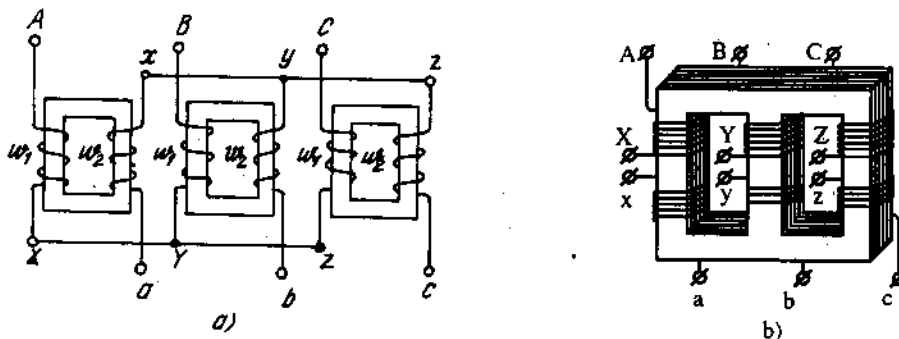
Hình 6-15

Đối với máy biến áp công suất trung bình và lớn, hiệu suất cực đại khi hệ số tải $k_t = 0,5 + 0,7$

Đường đặc tính hiệu suất vẽ trên hình 6-15.

§6-9. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp một pha (hình 6-16a), hoặc dùng máy biến áp ba pha (hình 6-16b). Về cấu tạo, lõi



Hình 6-16

thép của máy biến áp ba pha gồm 3 trụ như hình 6-17b. Dây quấn sơ cấp ký hiệu bằng các chữ in hoa : Pha A ký hiệu là AX, pha B là BY, pha C là CZ. Dây quấn thứ cấp ký hiệu bằng các chữ thường : pha a là ax, pha b là by, pha c là cz. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác. Nếu sơ cấp nối hình tam

giác, thứ cấp nối hình sao ta ký hiệu là Δ/Y . Nếu sơ cấp nối hình sao, thứ cấp nối hình sao có dây trung tính ta ký hiệu là Y/Y_0 .

Gọi số vòng dây một pha sơ cấp là W_1 , số vòng dây một pha thứ cấp là W_2 , tỷ số điện áp pha giữa sơ cấp và thứ cấp sẽ là :

$$\frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6-68)$$

Tỷ số điện áp dây không những chỉ phụ thuộc vào tỷ số vòng dây mà còn phụ thuộc vào cách nối hình sao hay tam giác.

Khi nối Δ/Y (hình 6-18a), ta có $U_{d1} = U_{p1}$ còn thứ cấp nối hình sao $U_{d2} = \sqrt{3} U_{p2}$. Vậy tỷ số điện áp dây là :

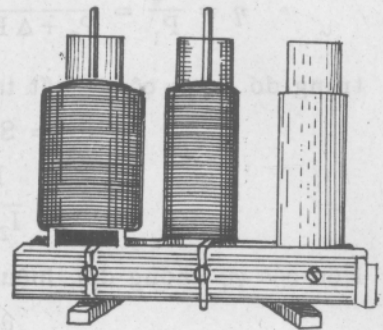
$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p2}}{\sqrt{3} U_{p1}} = \frac{W_1}{\sqrt{3} W_2} \quad (6-69)$$

Khi nối Δ/Δ (hình 6-18b), sơ cấp $U_{d1} = U_{p1}$ và thứ cấp $U_{d2} = U_{p2}$ cho nên :

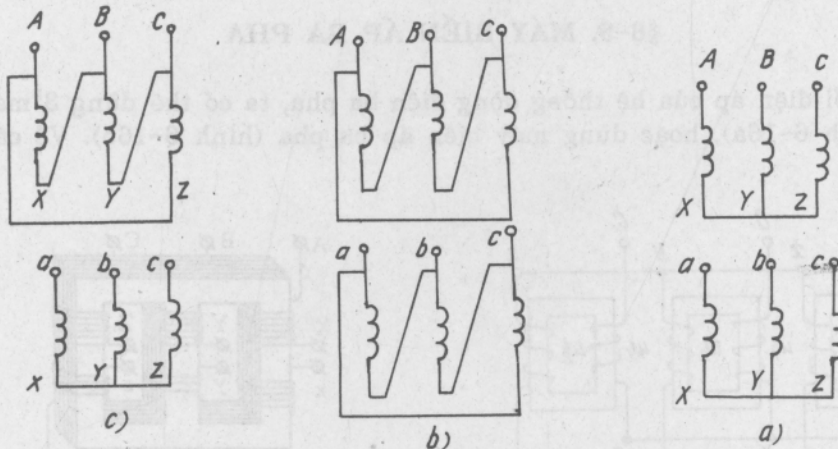
$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6-70)$$

Khi nối Y/Y (hình 6-18c)

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} U_{p1}}{\sqrt{3} U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2}$$



Hình 6-17



Hình 6-18

Khi nối Y/Δ (hình 6-19a) thì sơ cấp $U_{d1} = \sqrt{3} U_{p1}$ và thứ cấp $U_{d2} = U_{p2}$ cho nên :

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{W_1}{W_2} \quad (6-71)$$

Ở trên ta mới chú ý tới tỷ số điện áp dây, trong thực tế khi có nhiều máy biến áp làm việc song song với nhau, ta phải chú ý đến góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp.

Vì thế khi ký hiệu tổ đấu dây của máy biến áp, ngoài ký hiệu đấu các dây quấn (hình sao hoặc hình tam giác), ta ghi thêm chữ số kèm theo để chỉ góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ Y/Y - 12 ; (hình 6-18c) góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là $12 \times 30^\circ = 360^\circ$. Y/ Δ - 11 (hình 6-19b) thì góc lệch pha là $11 \times 30^\circ = 330^\circ$.

Khi vẽ đồ thị vectơ để xác định góc lệch pha, cần chú ý pha của điện áp pha các dây quấn trên cùng một trụ. Phụ thuộc vào chiều quấn dây, và ký hiệu đấu dây, chúng có thể trùng pha nhau (hình 6-20a) hoặc ngược pha nhau (hình 6-20b).

Đối với máy biến áp ba pha đối xứng khi nghiên cứu chỉ cần viết phương trình, sơ đồ thay thế, đồ thị vectơ cho một pha như đã xét đối với máy biến áp một pha ở trên. Vì thế khi tính các thông số trong sơ đồ thay thế, cần tính thông số pha (dòng điện pha, điện áp pha, tổng trở pha, công suất một pha v.v...).

Ví dụ : Tính điện trở R_n trong sơ đồ thay thế :

$$R_n = R_1 + R_2' = \frac{P_{np}}{I_{lp}^2}$$

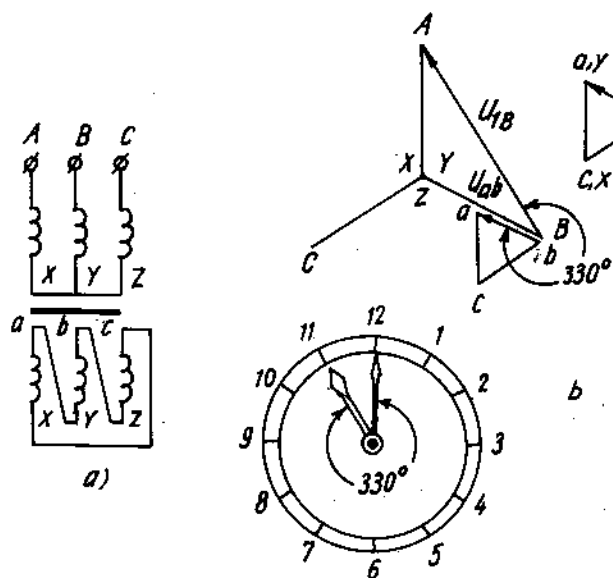
trong đó : P_{np} là tổn hao ngắn mạch một pha. P_n là tổn hao ngắn mạch ba pha.

$$P_{np} = \frac{P_n}{3}$$

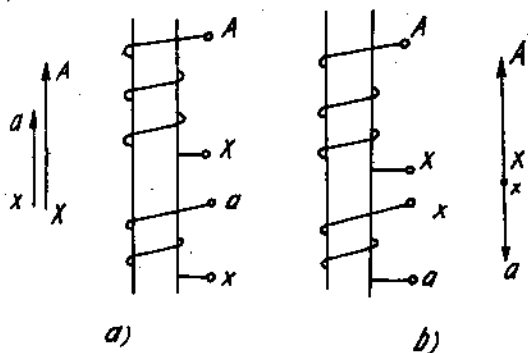
$$I_{lp} = I_{ldm} \text{ (nếu nối Y)}$$

hoặc

$$I_{lp} = \frac{I_{ldm}}{\sqrt{3}} \text{ (nếu nối tam giác)}$$



Hình 6-19



Hình 6-20

§6-10. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA CÁC MÁY BIẾN ÁP

Trong hệ thống điện, trong các lưới điện, các máy biến áp thường làm việc song song với nhau. Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn rất nhiều so với công suất mỗi máy, đảm bảo nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống và an toàn cung cấp điện, khi một máy hỏng hóc hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho các máy làm việc song song là :

1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau tương ứng

$$U_{I1} = U_{III}$$

$$U_{2I} = U_{2II}$$

nghĩa là $k_I = k_{II}$

trong đó k_I là hệ số biến áp máy I.

k_{II} là hệ số biến áp máy II.

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 nối dây

Ví dụ không cho phép hai máy có tổ nối dây Y/ Δ - 11 và Y/Y - 12 làm việc song song với nhau vì điện áp thứ cấp của 2 máy này không trùng pha nhau.

Điều kiện 1 và 2 đảm bảo cho không có dòng điện cân bằng lớn chạy qua trong các máy do sự chênh lệch điện áp thứ cấp của chúng.

3. Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau

$$U_{nI}\% = U_{nII}\% = \dots$$

trong đó $U_{nI}\%$ điện áp ngắn mạch phần trăm của máy I.

$U_{nII}\%$ điện áp ngắn mạch phần trăm của máy II.

Cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

Nếu không bảo đảm điều kiện thứ 3, ví dụ $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ thì khi máy I nhận tải định mức, máy II còn non tải. Thật vậy, ở trường hợp này, dòng điện máy I đạt định mức I_{Idm} , điện áp rơi trong máy I là $I_{Idm}z_{nI}$, dòng điện máy II là I_{II} , điện áp rơi trong máy II là $I_{II}z_{nII}$. Vì hai máy làm việc song song, điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau, ta có :

$$I_{Idm}z_{nI} = I_{II}z_{nII} \quad (6-72)$$

z_{nI} , z_{nII} là tổng trở ngắn mạch máy I, II. Vì rằng $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ do đó :

$$I_{Idm}z_{nI} < I_{Idm}z_{nII} \quad (6-73)$$

So sánh (6-72) với (6-73) ta có :

$$I_{II}z_{nII} < I_{Idm}z_{nII}$$

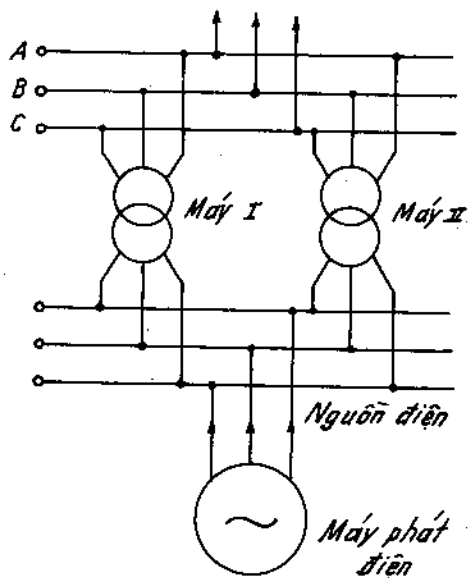
hoặc là :

$$I_{II} < I_{Idm}$$

Dòng điện máy II nhỏ hơn định mức, vậy máy II đang non tải, trong khi máy I đã định mức. Nếu máy II tải định mức, thì máy I sẽ quá tải.

Trong thực tế, cho phép điện áp ngắn mạch của các máy sai khác nhau 10%.

Hình 6-21 vẽ 2 máy biến áp ba pha làm việc song song.



Hình 6-21

§6-11. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

1. Máy tự biến áp

Máy tự biến áp còn được gọi là biến áp tự ngẫu. Máy tự biến áp một pha thường có công suất nhỏ, được dùng trong các phòng thí nghiệm và trong các thiết bị để làm nguồn có khả năng điều chỉnh được điện áp đầu ra theo yêu cầu. Máy biến áp ba pha thường dùng để điều chỉnh điện áp khi mở máy các động cơ xoay chiều ba pha.

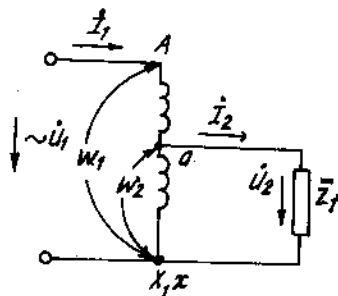
Máy tự biến áp một pha gồm có một dây quấn dùng làm dây quấn sơ cấp, với số vòng dây W_1 và đồng thời một bộ phận của nó với số vòng dây W_2 là thứ cấp (hình 6-22).

Vậy ta sẽ có :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

hay là
$$U_2 = U_1 \frac{W_2}{W_1}$$

Ta thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a, sẽ thay đổi được số vòng dây W_2 và do đó thay đổi được điện áp U_2 . Vì thế máy tự biến áp dùng để điều chỉnh điện áp một cách liên tục.



Hình 6-22

Từ sơ đồ cho thấy, sự truyền tải năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp trong máy tự biến áp bằng hai đường : điện và điện từ. Trong khi đó ở các máy biến áp thông thường có dây quấn sơ cấp và thứ cấp riêng biệt, năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp chỉ bằng điện từ. Vì thế máy tự biến áp có tiết diện lõi thép bé hơn máy biến áp thông thường. Máy tự biến áp chỉ có một cuộn dây cho nên tiết kiệm được dây dẫn và giảm được tổn hao.

Máy tự biến áp có nhược điểm là mức độ an toàn điện không cao, vì sơ cấp và thứ cấp liên hệ trực tiếp về điện với nhau.

2. Máy biến áp đo lường

Các máy biến áp đo lường dùng để mở rộng thang đo các dụng cụ đo lường.

a) *Máy biến điện áp.* Dùng biến đổi điện áp cao xuống điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ thông thường. Như thế số vòng dây thứ cấp W_2 phải nhỏ hơn số vòng dây sơ cấp W_1 . Thông thường người ta quy định điện áp thứ cấp U_2 định mức là 100V (hình 6-23)

Khi mắc dây, cuộn dây sơ cấp nối song song với điện áp lớn cần đo, cuộn thứ cấp nối với vôn mét, hoặc các mạch điện áp của các dụng cụ khác như cuộn dây điện áp của oát mét v.v...

Trong khi làm việc, không được để cho máy biến điện áp ngắn mạch thứ cấp.

b) *Máy biến dòng điện.* Dùng biến đổi dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường và một số mục đích khác. Vì dòng điện thứ cấp nhỏ hơn dòng điện sơ cấp, nên số vòng dây thứ cấp W_2 nhiều hơn số vòng dây sơ cấp. Dòng điện thứ cấp định mức là $I_2 = 5A$ (hình 6-24).

Khi mắc dây, cuộn dây sơ cấp đấu nối tiếp với dòng điện lớn cần đo ; cuộn thứ cấp nối với ampe mét hoặc mạch dòng điện của các dụng cụ khác như cuộn dòng điện của oát mét v.v...

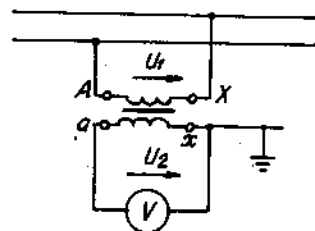
Đối với máy biến dòng không được để hở mạch thứ cấp.

3. Máy biến áp hàn điện

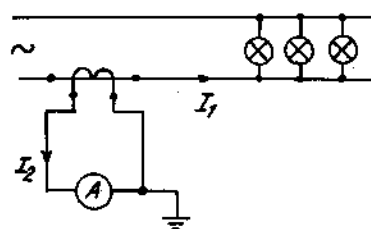
Là loại máy biến áp đặc biệt dùng để hàn bằng phương pháp hồ quang điện. Người ta chế tạo máy biến áp hàn có điện kháng tải lớn, và thêm cuộn điện kháng ngoài. Vì thế đường đặc tính ngoài của máy rất dốc, phù hợp với yêu cầu hàn điện. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp hàn vẽ trên hình 6-25.

Cuộn dây sơ cấp nối với nguồn điện, còn cuộn thứ cấp một đầu nối với cuộn điện kháng và kim loại cần hàn, còn đầu kia nối với que hàn.

Khi dí que hàn vào tấm kim loại, sẽ có dòng điện lớn chạy qua, làm nóng chỗ tiếp xúc. Khi nhấc que hàn cách tấm kim loại một khoảng nhỏ, vì cường độ điện trường lớn làm ion hóa chất khí, sinh hồ quang và tỏa ra nhiệt lượng lớn làm nóng chảy chỗ hàn.

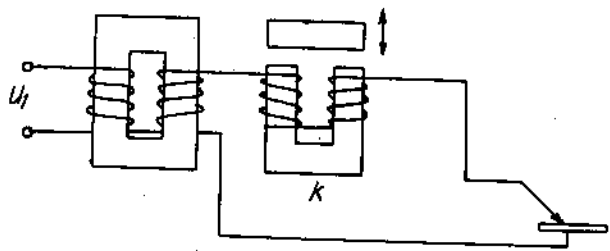


Hình 6-23



Hình 6-24

Muốn điều chỉnh dòng điện hàn, có thể thay đổi số vòng dây quấn thứ cấp của máy biến áp hoặc thay đổi điện kháng cuộn K, bằng cách thay đổi khe hở không khí của lõi thép. Chế độ làm việc của máy biến áp hàn là ngắn mạch thứ cấp. Điện áp thứ cấp định mức máy biến áp hàn thường $6 \div 70V$.



Hình 6-25

Chương 7

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

§7-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto n (tốc độ của máy) khác với tốc độ quay của từ trường n_1 . Cũng như các máy điện quay khác, máy điện không đồng bộ có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc ở chế độ động cơ điện, cũng như chế độ máy phát điện.

Máy phát điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt lắm so với máy phát điện đồng bộ, nên ít được dùng.

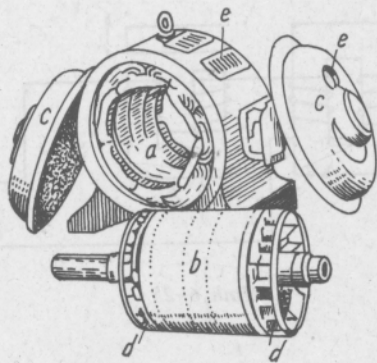
Động cơ điện không đồng bộ có cấu tạo và vận hành không phức tạp, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong sản xuất và sinh hoạt. Dưới đây ta chỉ xét động cơ điện không đồng bộ. Động cơ điện không đồng bộ có các loại : động cơ ba pha, hai pha và một pha.

Động cơ điện không đồng bộ có công suất lớn trên 600W thường là loại ba pha có ba dây quấn làm việc, trục các dây quấn lệch nhau trong không gian một góc 120° điện.

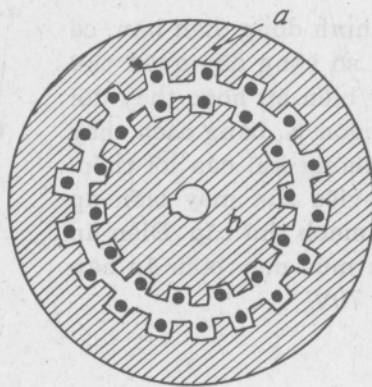
Các động cơ công suất nhỏ dưới 600W thường là động cơ hai pha hoặc một pha. Động cơ hai pha có 2 dây quấn làm việc, trục của 2 dây quấn đặt lệch nhau trong không gian một góc 90° điện. Động cơ điện một pha, chỉ có một dây quấn làm việc.

§7-2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ được vẽ trên hình 7-1, gồm 2 bộ phận chủ yếu xtato (a), rôto(b), ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy. Hình 7-2 vẽ mặt cắt ngang trục máy, cho ta thấy rõ các lá thép xtato (a) và rôto (b)



Hình 7-1



Hình 7-2

1. Xtato

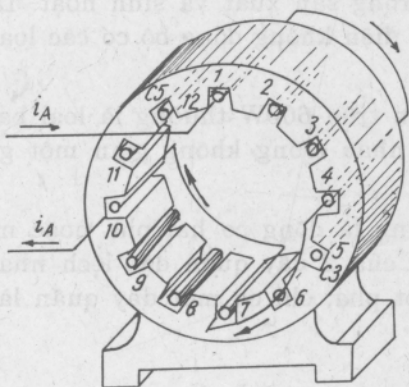
Xtato là phần tĩnh gồm 2 bộ phận chính là lõi thép và dây quấn, ngoài ra có vỏ máy và nắp máy.

a) *Lõi thép*. Lõi thép xtato hình trụ (hình 7-3a) do các lá thép kĩ thuật điện được dập rãnh bên trong (hình 7-2), ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy.

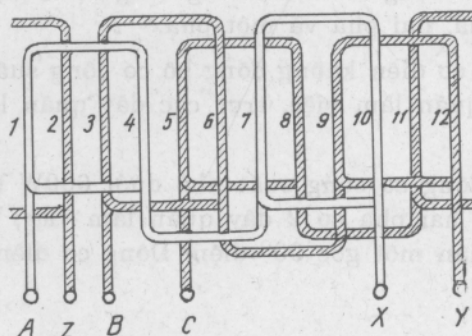
b) *Dây quấn*. Dây quấn xtato làm bằng dây dẫn bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép (hình 7-3a). Trên hình 7-3b vẽ sơ đồ khai triển dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh, dây quấn pha A trong các rãnh 1, 4, 7, 10, pha B trong các rãnh 3, 6, 9, 12 pha C trong các rãnh 5, 8, 11, 2.

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong ba dây quấn xtato sẽ tạo ra từ trường quay.

c) *Vỏ máy*. Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép và cố định máy trên bệ. Hai đầu vỏ có nắp máy, ổ đỡ trục. Vỏ máy và nắp máy còn dùng để bảo vệ máy.



a)



b)

Hình 7-3

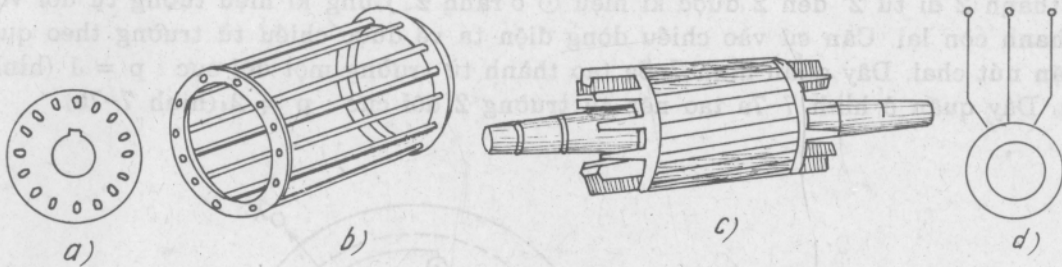
2. Rôto

Rôto là phần quay gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

a) *Lõi thép*. Lõi thép gồm các lá thép kĩ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài (hình 7-2, 4a) ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng trục, ở giữa có lỗ để lắp trục.

b) *Dây quấn.* Dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ có hai kiểu : rôto ngắn mạch (còn gọi là rôto lồng sóc) và rôto dây quấn. Loại rôto lồng sóc công suất trên 100kW, trong các rãnh của lõi thép rôto đặt các thanh đồng, hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng, tạo thành lồng sóc (hình 7-4b).

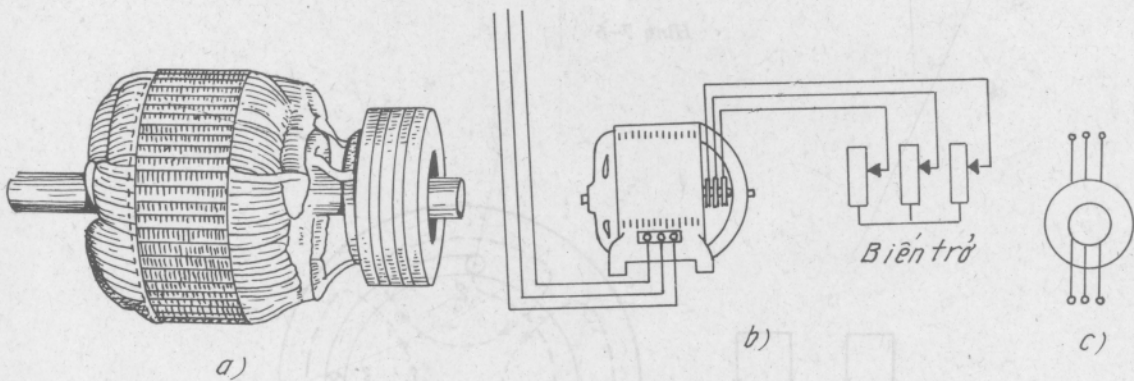
Ở động cơ công suất nhỏ, lồng sóc được chế tạo bằng cách đúc nhôm vào các rãnh lõi thép rôto, tạo thành thanh nhôm, hai đầu đúc vòng ngắn mạch và cánh quạt làm mát (hình 7-4c). Động cơ điện có rôto lồng sóc gọi là động cơ không đồng bộ lồng sóc được kí hiệu như hình 7-4d.



Hình 7-4

Loại rôto dây quấn, trong rãnh lõi thép rôto, đặt dây quấn ba pha. Dây quấn rôto thường nối sao, ba đầu ra nối với ba vòng tiếp xúc bằng đồng, cố định trên trục rôto và được cách điện với trục (hình 7-5a).

Nhờ 3 chổi than tỳ sát vào 3 vòng tiếp xúc, dây quấn rôto được nối với 3 biến trở bên ngoài, để mở máy hay điều chỉnh tốc độ (hình 7-5b). Loại động cơ này gọi là động cơ không đồng bộ rôto dây quấn, trên các sơ đồ điện được kí hiệu như hình 7-5c.



Hình 7-5

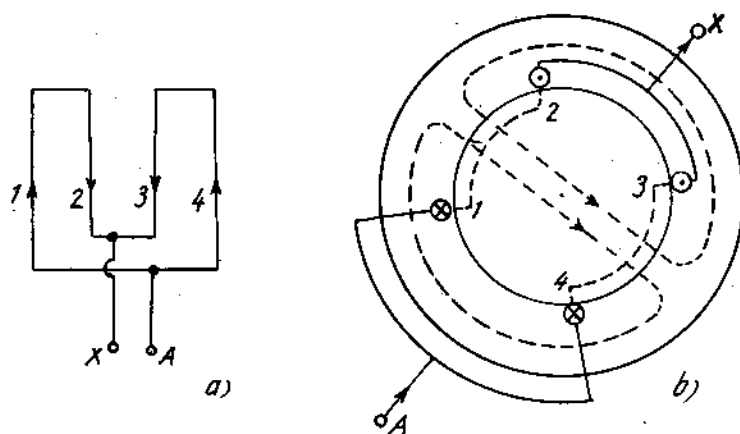
Động cơ lồng sóc là loại rất phổ biến, động cơ rôto dây quấn có ưu điểm về mở máy và điều chỉnh tốc độ song giá thành đắt và vận hành kém tin cậy hơn động cơ lồng sóc, nên chỉ được dùng khi động cơ lồng sóc không đáp ứng được các yêu cầu về truyền động.

§7-3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

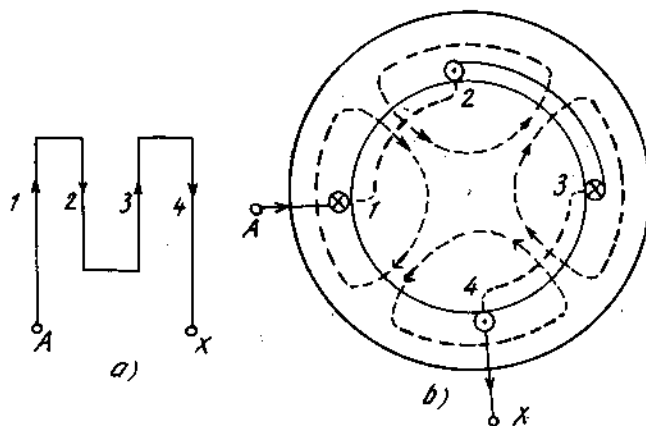
1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song tri số và chiều biến đổi theo thời gian, được gọi là từ trường đập mạch. Gọi p là số đôi cực, ta có thể cấu tạo dây quấn để tạo ra từ trường một, hai hoặc p đôi cực.

Để đơn giản ta hãy xét dây quấn một pha đặt trong 4 rãnh của stato. Dòng điện trong dây quấn là dòng điện một pha $i = I_{\max} \sin \omega t$ (hình 7-6 và 7-7). Trên hình vẽ, chiều dòng điện trong thanh 1 đi từ 1 đến 1' được kí hiệu $\otimes$ ở rãnh 1 (hình 7-6b) hoặc thanh 2 đi từ 2' đến 2 được kí hiệu $\odot$ ở rãnh 2. Cũng kí hiệu tương tự đối với các thanh còn lại. Căn cứ vào chiều dòng điện ta vẽ được chiều từ trường theo quy tắc vụn nút chai. Dây quấn hình 7-6a tạo thành từ trường một đôi cực : $p = 1$ (hình 7-6b). Dây quấn ở hình 7-7a tạo nên từ trường 2 đôi cực : $p = 2$ (hình 7-7b).



Hình 7-6



Hình 7-7

2. Từ trường quay của dây quấn ba pha

Dòng điện xoay chiều ba pha có ưu điểm lớn là tạo ra từ trường quay trong các máy điện

a) *Sự tạo thành từ trường quay.* Trên hình 7-8a, b, c, vẽ mặt cắt ngang của máy điện ba pha đơn giản trong đó dây quấn ba pha đối xứng ở stato AX, BY, CZ đặt trong 6 rãnh. Trục của các dây quấn lệch nhau trong không gian một góc 120° điện.

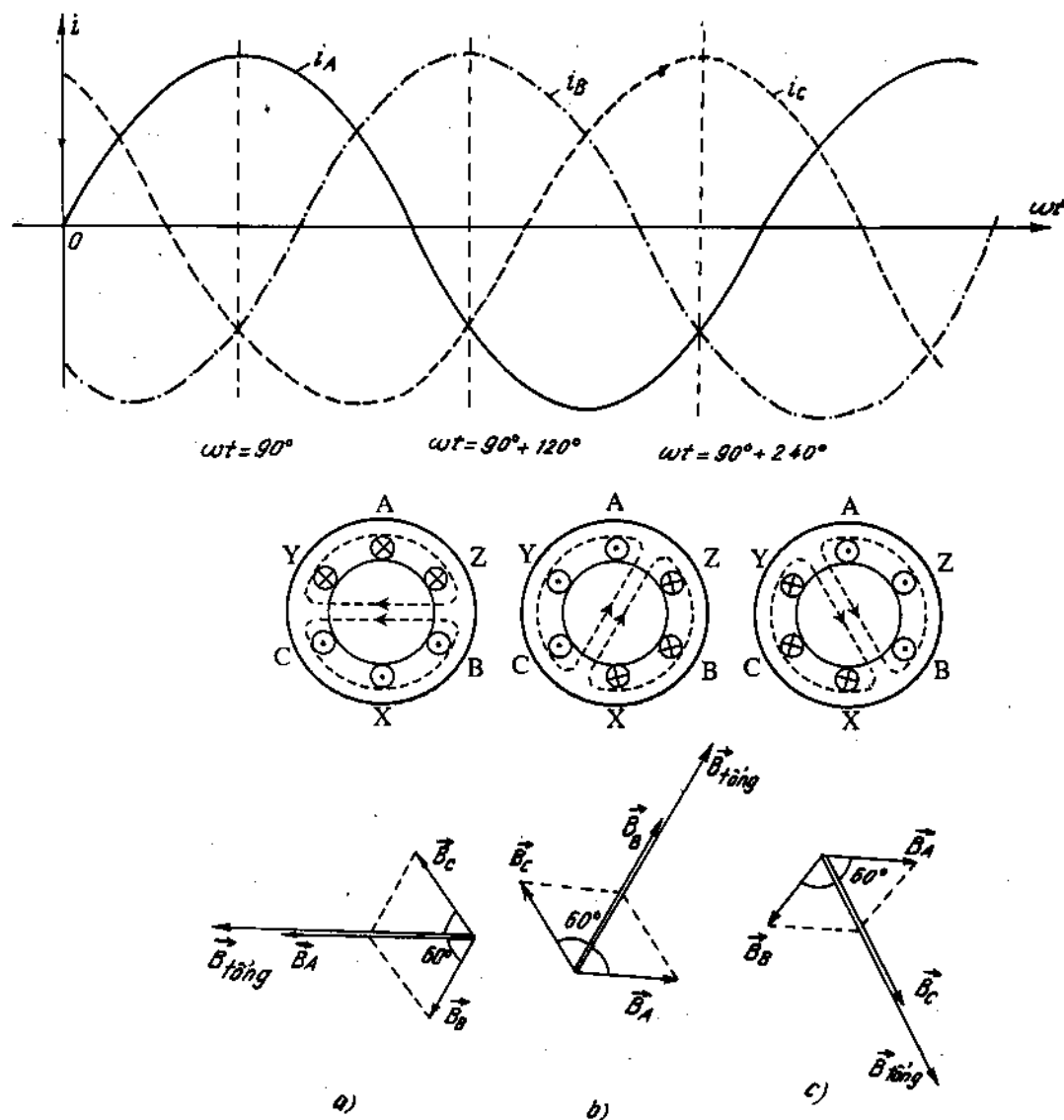
Giả thiết trong dây quấn có dòng điện ba pha đối xứng chạy qua (hình 7-8).

$$i_A = I_{\max} \sin \omega t$$

$$i_B = I_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Để thấy rõ sự hình thành từ trường, khi vẽ từ trường ta quy ước chiều dòng điện như sau :



Hình 7-8

- Dòng điện pha nào dương có chiều từ đầu đến cuối pha, đầu được ký hiệu bằng vòng tròn có dấu nhân ở giữa $\otimes$, còn cuối ký hiệu bằng vòng tròn có dấu chấm ở giữa $\odot$. Dòng điện pha nào âm có chiều và ký hiệu ngược lại, đầu ký hiệu bằng $\odot$ cuối ký hiệu bằng $\otimes$.

Bây giờ ta xét từ trường ở các thời điểm khác nhau :

- *Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ$* : Ở thời điểm này, dòng điện pha A cực đại và dương (xem hình 7-8a), dòng điện pha B và C âm. Theo quy định trên, dòng điện pha A dương, nên đầu A ký hiệu là $\otimes$, cuối x ký hiệu là $\odot$; dòng điện pha B và C âm nên đầu B và C ký hiệu là $\odot$ cuối Y và Z ký hiệu là $\otimes$ (xem hình 7-8a).

Dùng quy tắc vắn nút chai ta xác định chiều đường sức từ trường do các dòng điện sinh ra (hình 7-8a) ; 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 pha $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$* : Là thời điểm sau thời điểm đã xét ở trên một phần ba chu kì. Ở thời điểm này, dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm (hình 7-8b). Dùng quy tắc vắn nút chai ta xác định chiều đường sức từ trường. Ta thấy từ trường tổng đã quay đi một góc là 120° so với thời điểm trước. Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn pha B là pha có dòng điện cực đại.

- *Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$* : Là thời điểm chậm sau thời điểm đầu $2/3$ chu kì ; lúc này dòng điện pha C cực đại và dương, còn dòng điện pha A và B âm (hình 7-8c). Ta thấy từ trường tổng ở thời điểm này đã quay đi một góc 240° so với thời điểm đầu. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha C là pha có dòng điện cực đại.

Qua sự phân tích ở trên, ta thấy từ trường tổng của dòng điện ba pha là từ trường quay. Từ trường quay móc vòng với cả hai dây quấn xtato và rôto, đó là từ trường chính của máy điện, tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng.

Với cách cấu tạo dây quấn như trên, ta được từ trường quay một đôi cực. Nếu thay đổi cách cấu tạo dây quấn, ta được từ trường 2, 3 hay 4 v.v... đôi cực.

b) *Đặc điểm của từ trường quay.* Từ trường quay của hệ thống dòng điện ba pha có 3 đặc điểm quan trọng :

- *Tốc độ từ trường quay.* Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện xtato f và số đôi cực p . Thật vậy, ở hình 7-8 ta thấy rằng khi dòng điện biến thiên một chu kì, từ trường quay được một vòng, do đó trong một phút dòng điện xtato biến thiên $60f$ chu kì, từ trường quay được $60f$ vòng. Vậy khi từ trường có một đôi cực, tốc độ của từ trường quay là $n_1 = 60f \frac{\text{vòng}}{\text{phút}}$. Khi từ trường có 2 đôi cực, dòng điện biến thiên một chu kì, từ trường quay được $1/2$ vòng (từ cực N qua S đến N là $1/2$ vòng), do đó tốc độ từ trường quay là $n_1 = \frac{60f}{2}$. Một cách tổng quát, khi từ trường quay có p đôi cực, tốc độ từ trường quay (còn gọi là tốc độ đồng bộ) là :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)} \quad (7-1)$$

- *Chiều quay của từ trường.* Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện. Muốn đổi chiều quay của từ trường ta thay đổi thứ tự hai pha với nhau.

Thật vậy, ở hình 7-8 ta thấy rằng, khi thứ tự dòng điện các pha cực đại lần lượt là pha A, pha B rồi đến pha C một cách chu kì thì từ trường quay từ trục dây quấn pha A đến trục dây quấn pha B rồi đến trục dây quấn pha C một cách tương ứng.

Như vậy nếu thay đổi thứ tự hai pha cho nhau, ví dụ dòng điện i_B cho vào dây quấn CZ, dòng điện i_C cho vào dây quấn BY, từ trường sẽ quay theo chiều từ trục dây quấn AX đến trục dây quấn CZ (có dòng điện i_B) rồi đến trục dây quấn BY (có dòng điện i_C), nghĩa là từ trường quay theo chiều ngược lại (hình 7-9).

- *Biên độ của từ trường quay.* Từ trường quay sinh ra từ thông ϕ xuyên qua mỗi dây quấn. Ví dụ ta xét từ thông của từ trường quay xuyên qua mỗi dây quấn AX.

Dây quấn các pha lệch về không gian với pha A một góc lần lượt là 120° , 240° , từ thông xuyên qua dây quấn AX do dây quấn ba pha là :

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_A + \phi_B \cos(-120^\circ) + \phi_C \cos(-240^\circ) \\ &= \phi_A - \frac{1}{2} (\phi_B + \phi_C)\end{aligned}\quad (7-2)$$

Hệ thống dòng điện ba pha đối xứng nên $\phi_A + \phi_B + \phi_C = 0$ hay $\phi_B + \phi_C = -\phi_A$, do đó ta có :

$$\phi = \phi_A + \frac{\phi_A}{2} = \frac{3}{2} \phi_A \quad (7-3)$$

Dòng điện $i_A = I_{\max} \sin \omega t$ nên :

Từ thông của dòng điện pha A là :

$$\phi_A = \phi_{A\max} \sin \omega t$$

Cuối cùng ta có :

$$\phi = \frac{3}{2} \phi_{A\max} \sin \omega t$$

Vậy từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn biến thiên hình sin và có biên độ bằng $3/2$ từ thông cực đại của một pha.

$$\phi_{\max} = \frac{3}{2} \phi_{p\max} \quad (7-4)$$

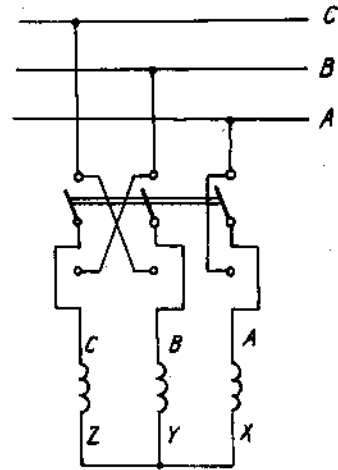
trong đó $\phi_{p\max}$ là từ thông cực đại của một pha.

Đối với dây quấn m pha thì :

$$\phi_{\max} = \frac{m}{2} \phi_{p\max} \quad (7-5)$$

3. Từ trường quay của dây quấn hai pha

Khi có dây quấn hai pha ($m = 2$) đặt lệch nhau trong không gian góc 90° điện, dòng điện trong hai dây quấn lệch pha nhau về thời gian 90° , cũng phân tích như trên, từ trường của hai pha là từ trường quay có các tính chất như đã xét ở trên và có biên độ là :



Hình 7-9

$$\phi_{\max} = \frac{m}{2} \phi_{p\max} = \phi_{p\max}$$

Từ trường quay của dây quấn hai pha có biên độ bằng biên độ từ trường một pha.

4. Từ thông tản

Bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn gọi là từ thông tản. Ta có từ thông tản xtato, chỉ móc vòng với dây quấn xtato, từ thông tản rôto chỉ móc vòng với dây quấn rôto. Từ thông tản được đặc trưng bằng điện kháng tản, như đã xét ở máy biến áp.

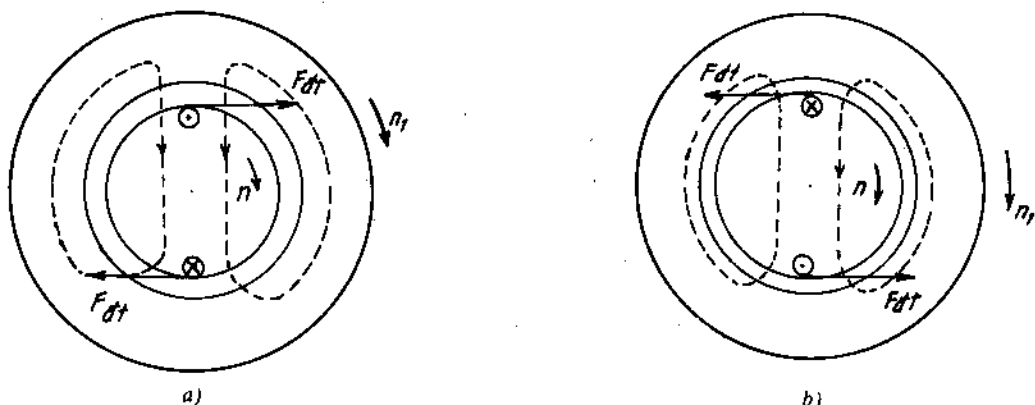
§7-4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ

Khi ta cho dòng điện ba pha tần số f vào ba dây quấn xtato, sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ là $n_1 = \frac{60f}{p}$. Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto, cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch, nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện trong các thanh dẫn rôto. Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rôto, kéo rôto quay cùng chiều quay từ trường với tốc độ n .

Để minh họa, trên hình 7-10a vẽ từ trường quay tốc độ n_1 , chiều sức điện động và dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, chiều các lực điện từ F_{dt} .

Khi xác định chiều sức điện động cảm ứng theo quy tắc bàn tay phải, ta căn cứ vào chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn đối với từ trường. Nếu coi từ trường đứng yên, thì chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn ngược với chiều n_1 , từ đó áp dụng quy tắc bàn tay phải, xác định được chiều sdd như hình vẽ (dấu $\otimes$ chỉ chiều đi từ ngoài vào trong).



Hình 7-10

Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái, trùng với chiều quay n_1 .

Tốc độ n của máy nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 vì nếu tốc độ bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối, trong dây quấn rôto không có sdd và dòng điện cảm ứng, lực điện từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ máy gọi là tốc độ trượt n_2 .

$$n_2 = n_1 - n$$

Hệ số trượt của tốc độ là :

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (7-7)$$

Khi rôto đứng yên ($n = 0$), hệ số trượt $s = 1$; khi rôto quay định mức $s = 0,02 \div 0,06$.

Tốc độ động cơ là :

$$n = n_1 (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s) \quad (7-8)$$

2. Nguyên lý làm việc của máy phát điện không đồng bộ

Nếu xtato vẫn nối với lưới điện, nhưng trục rôto không nối với tải, mà nối với một động cơ sơ cấp. Dùng động cơ sơ cấp kéo rôto quay cùng chiều với n_1 và với tốc độ n lớn hơn tốc độ từ trường quay n_1 . Lúc này, chiều dòng điện rôto I_2 ngược lại với chế độ động cơ và lực điện từ đổi chiều. Lực điện từ tác dụng lên rôto ngược với chiều quay, gây ra mômen hãm cân bằng với mômen quay động cơ sơ cấp (hình 7-10b). Máy điện làm việc ở chế độ máy phát. Hệ số trượt là :

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0$$

Nhờ từ trường quay, cơ năng động cơ sơ cấp đưa vào rôto được biến thành điện năng ở xtato. 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 cho hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện thấp đi. Nếu khi máy phát làm việc riêng lẻ, ta phải dùng tụ điện nối đầu cực máy để kích từ cho máy.

Đó là nhược điểm của máy phát không đồng bộ, vì thế ít khi dùng máy phát không đồng bộ.

§7-5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN VÀ TỪ TRONG ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Phương trình cân bằng điện dây quấn xtato

Dây quấn xtato của động cơ điện tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp, ta có phương trình cân bằng điện áp là :

$$\vec{U}_1 = \vec{I}_1 \vec{Z}_1 - \vec{E}_1 \quad (7-9)$$

trong đó $\vec{Z}_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở dây quấn xtato.

R_1 là điện trở dây quấn xtato.

$X_1 = 2\pi f L_1$ là điện kháng tần dây quấn xtato, đặc trưng cho từ thông tần xtato.

f - tần số dòng điện xtato.

L_1 - điện cảm tần xtato.

E_1 - sức điện động pha xtato do từ thông của từ trường quay sinh ra có trị số là :

$$E_1 = 4,44fW_1 k_{gq1} \phi_{\max} \quad (7-10)$$

W_1, k_{gq1} thứ tự là số vòng dây và hệ số dây quấn của một pha xtato. Hệ số dây quấn $k_{gq1} < 1$, nói lên sự giảm sức điện động của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và bước rút ngắn, so với quấn tập trung như máy biến áp.

$\phi_{\max}$ - biên độ từ thông của từ trường quay.

2. Phương trình cân bằng điện ở dây quấn rôto

Dây quấn rôto được coi như dây quấn thứ cấp máy biến áp, song ở động cơ, dây quấn rôto chuyển động đối với từ trường quay tốc độ trượt $n_2 = n_1 - n = sn_1$. Như vậy sức điện động và dòng điện trong dây quấn rôto có tần số là :

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{spn_1}{60} = sf \quad (7-11)$$

Tần số dòng điện rôto lúc quay bằng hệ số trượt nhân với tần số dòng điện xtato f . Lúc rôto đứng yên tần số dòng điện rôto là f .

Sức điện động pha dây quấn rôto lúc quay là :

$$E_{2s} = 4,44f_2 W_2 k_{gq2} \phi_{\max} \quad (7-12a)$$

$$= 4,44sf W_2 k_{gq2} \phi_{\max} \quad (7-12b)$$

W_2, k_{gq2} thứ tự là số vòng dây, hệ số dây quấn của dây quấn rôto. Hệ số $k_{gq2} < 1$ nói lên sự giảm sức điện động do dây quấn rôto rải trên các rãnh và bước rút ngắn.

Khi rôto đứng yên $s = 1$, tần số $f_2 = f$. Sức điện động dây quấn rôto lúc không quay là :

$$E_2 = 4,44f W_2 k_{gq2} \phi_{\max} \quad (7-13)$$

So sánh (7-13) và (7-12b) ta thấy

$$E_{2s} = sE_2 \quad (7-14)$$

Sức điện động pha rôto lúc quay E_{2s} bằng sức điện động pha rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt s .

Cũng tương tự như vậy, điện kháng tản dây quấn rôto lúc quay là :

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = s.2\pi f L_2 = sX_2 \quad (7-15)$$

trong đó L_2 là điện cảm tản pha dây quấn rôto, $X_2 = 2\pi f L_2$ là điện kháng tản rôto lúc không quay. Điện kháng tản rôto lúc quay bằng điện kháng tản rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt s .

Từ (7-13) và (7-10) ta có tỉ số sdd pha xtato và rôto là :

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1 k_{gq1}}{W_2 k_{gq2}} \quad (7-16)$$

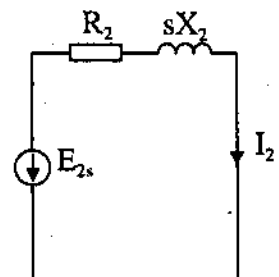
k_e gọi là hệ số qui đổi sức điện động.

Chọn chiều E_{2s}, I_2 như hình 7-11. Vì dây quấn rôto ngắn mạch, nên phương trình cân bằng điện lúc rôto quay là :

$$-E_{2s} = I_2 (R_2 + jX_{2s}) \quad (7-17a)$$

$$\text{hoặc : } 0 = -sE_2 - I_2 (R_2 + jsX_2) \quad (7-17b)$$

Trong phương trình (7-17) dòng điện rôto có tần số $f_2 = sf$ và có trị số hiệu dụng là :



Hình 7-11

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (7-18)$$

3. Phương trình cân bằng từ của động cơ không đồng bộ

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy do đồng thời dòng điện của cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn xtato sinh ra từ trường quay xtato quay tốc độ n_1 đối với xtato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay rôto, quay đối với rôto tốc độ :

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{s60f}{p} = sn_1$$

Vì rôto quay đối với xtato tốc độ n , cho nên từ trường rôto sẽ quay đối với xtato tốc độ là :

$$n_2 + n = sn_1 + n = sn_1 + n_1(1 - s) = n_1$$

Như vậy, từ trường quay xtato và từ trường quay rôto không chuyển động tương đối với nhau. Từ trường tổng hợp của máy sẽ là từ trường quay với tốc độ n_1 .

Cũng lí luận như ở máy biến áp, từ thông $\phi_{\max}$ có trị số hầu như không đổi ứng với chế độ không tải, và có tải. Do đó ta có thể viết được phương trình cân bằng từ của động cơ :

$$m_1 W_1 k_{gq1} \dot{I}_1 - m_2 W_2 k_{gq2} \dot{I}_2 = m_1 W_1 k_{gq1} \dot{I}_0$$

trong đó : $\dot{I}_0$ là dòng điện xtato lúc không tải.

$\dot{I}_1, \dot{I}_2$ là dòng điện xtato và rôto khi động cơ kéo tải.

m_1, m_2 là số pha của dây quấn xtato và rôto,

Các hệ số $m_1 W_1 k_{gq1}, m_2 W_2 k_{gq2}$ nối lên từ trường quay do đồng thời m_1 pha xtato và m_2 pha rôto sinh ra và có xét đến số vòng dây, cấu tạo các dây quấn.

Dấu trừ trước $\dot{I}_2$ vì ta chọn chiều $\dot{I}_2$ không phù hợp với chiều từ thông theo qui tắc vắn nút chai.

Chia hai vế cho $m_1 W_1 k_{gq1}$ và đặt :

$$\frac{\dot{I}_2}{\frac{m_1 W_1 k_{gq1}}{m_2 W_2 k_{gq2}}} = \frac{\dot{I}_2}{k_i} = \dot{I}_2', \text{ ta có :} \quad (7-19)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2'$$

$$I_2' \text{ là dòng điện rôto qui đổi về xtato, hệ số } k_i = \frac{m_1 W_1 k_{gq1}}{m_2 W_2 k_{gq2}} \quad (7-20)$$

gọi là hệ số qui đổi dòng điện.

§7-6. SƠ ĐỒ THAY THẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán, từ hệ phương trình cân bằng điện và từ của động cơ, ta tìm cách thành lập một sơ đồ điện, gọi là sơ đồ thay thế động cơ điện.

Theo (7-9), (7-17b), (7-19) hệ phương trình của động cơ điện là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + jX_1) - \dot{E}_1 \quad (7-21)$$

$$0 = -s\dot{E}_2 - \dot{I}_2 (R_2 + jsX_2) \quad (7-22)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (7-23)$$

Phương trình (7-22) là phương trình mạch điện rôto lúc quay, trong đó dòng điện $\dot{I}_2$ có tần số $f_2 = sf$.

Chia (7-22) cho s ta có :

$$0 = -\dot{E}_2 - \dot{I}_2 \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right) \quad (7-24)$$

Các thông số E_2 , X_2 trong (7-24) là sdd rôto, điện kháng rôto lúc không quay, ứng với tần số dòng điện rôto bằng f .

Phương trình (7-24) là phương trình cân bằng điện rôto quay, đã được qui đổi về rôto không quay. Có thể gọi đó là phương trình cân bằng điện rôto qui đổi về tần số xtato.

Nhân phương trình (7-24) với k_e , chia và nhân với k_i ta có :

$$0 = -k_e \dot{E}_2 - \frac{\dot{I}_2}{k_i} \left(\frac{R_2}{s} k_e k_i + jX_2 k_e k_i \right) \quad (7-25)$$

trong đó k_e , k_i là hệ số qui đổi sức điện động (7-16) và hệ số qui đổi dòng điện (7-20).

Gọi $E'_2 = k_e E_2 = E_1$ là sdd pha rôto qui đổi về xtato.

$I'_2 = \frac{I_2}{k_i}$ là dòng điện rôto qui đổi về xtato.

trong biểu thức k_i cho thấy, ngoài qui đổi dây quấn còn qui đổi số pha rôto m_2 về bằng số pha xtato m_1 .

$R'_2 = R_2 k_e k_i$ là điện trở dây quấn rôto qui đổi về xtato.

$X'_2 = X_2 k_e k_i$ là điện kháng dây quấn rôto qui đổi về xtato.

$k_e k_i = k_z$ là hệ số qui đổi tổng trở.

Phương trình (7-25) trở thành :

$$0 = -\dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \left(\frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right) \quad (7-26)$$

Giống như máy biến áp, $-E_1$ và $-E'_2$ là điện áp rơi trên tổng trở từ hóa :

$$-\dot{E}_1 = -\dot{E}'_2 = \dot{I}_0 (R_{th} + jX_{th}) \quad (7-27)$$

Cuối cùng ta có hệ phương trình động cơ điện như sau :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + jX_1) + \dot{I}_0 (R_{th} + jX_{th}) \quad (7-28)$$

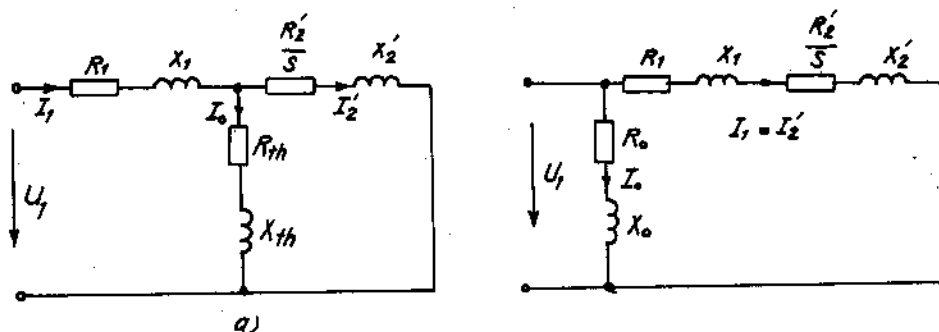
$$0 = \dot{I}_0 (R_{th} + jX_{th}) - \dot{I}'_2 \left(\frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right) \quad (7-29)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (7-30)$$

Hệ phương trình (7-28), (7-29), (7-30) là hệ phương trình Kiếchốp cho mạch điện hình 7-12a. Mạch điện hình 7-12a là sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ. Để thuận tiện cho việc tính toán, sơ đồ 7-12a được xem gần đúng tương đương với sơ đồ 7-12b. Sơ đồ 7-12b được sử dụng nhiều trong tính toán động cơ điện không đồng bộ, trong đó

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

$$X_o = X_1 + X_{th}$$



Hình 7-12

Ngoài ra nếu làm phép biến đổi đơn giản

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + \frac{R'_2(1-s)}{s} \quad (7-31)$$

$\frac{R'_2}{s}$ đặc trưng cho công suất điện từ

$$P_{dt} = m_1 I_2'^2 \frac{R'_2}{s} = m_2 I_2'^2 \frac{R_2}{s} \quad (7-32)$$

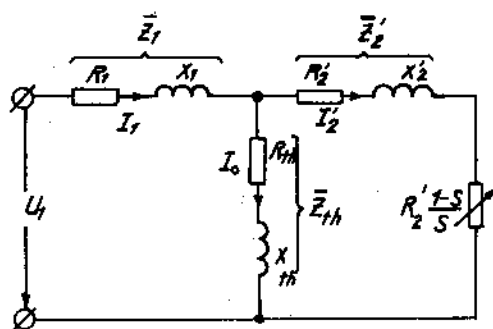
R'_2 đặc trưng cho tổn hao đồng trong rôto.

$$P_{d2} = m_1 I_2'^2 R'_2 = m_2 I_2'^2 R_2 \quad (7-33)$$

$\frac{R'_2(1-s)}{s}$ đặc trưng cho công suất cơ trên trục

$$P_{co} = m_1 I_2'^2 R'_2 \frac{1-s}{s} = m_2 I_2'^2 R_2 \frac{1-s}{s} \quad (7-34)$$

Sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ có thể vẽ như hình 7-13.



Hình 7-13

§7-7. MÔMEN QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Ở chế độ động cơ điện, mômen điện từ đóng vai trò mômen quay, được tính là :

$$M = M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (7-35)$$

P_{dt} là công suất điện từ được tính theo (7-32) :

$$P_{dt} = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (7-36)$$

ω_1 là tần số góc của từ trường quay :

$$\omega_1 = \frac{\omega}{p} \quad (7-37)$$

ω là tần số góc dòng điện xtato

p là số đôi cực từ.

Dựa vào sơ đồ gần đúng (7-12b), dòng điện I_2' được tính là :

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7-38)$$

Thay (7-38), (7-37), (7-36) vào (7-35) cuối cùng ta có :

$$M = \frac{3pU_1^2 R_2'}{s\omega \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} \quad (7-39)$$

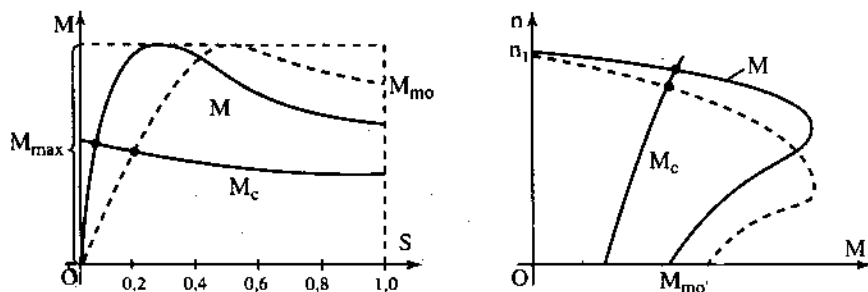
Trên hình (7-14a) vẽ quan hệ mômen theo hệ số trượt

$$M = f(s)$$

Nếu thay $s = \frac{n_1 - n}{n}$ ta sẽ có quan hệ $n = f(M)$, đó là đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 7-14b).

Động cơ sẽ làm việc ở điểm mômen quay bằng M bằng mômen cản M_c .

Các đặc điểm của mômen quay động cơ không đồng bộ :



Hình 7-14

a) Mômen tỉ lệ với bình phương điện áp, nếu điện áp đặt vào động cơ thay đổi, mômen động cơ thay đổi rất nhiều. Trên hình 7-15a vẽ đường $M = f(s)$ với các điện áp khác nhau : $U'_1 < U_1$.

b) Mômen có trị số cực đại $M_{\max}$ ứng với giá trị 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 :

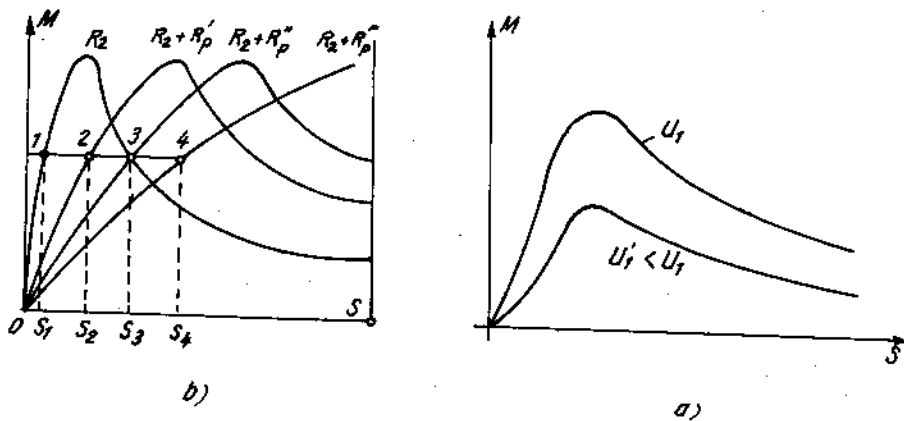
$$s_{th} = \frac{R'_2}{R_1 + X_1 + X'_2} = \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} \quad (7-40)$$

$$M_{\max} = \frac{3pU_1^2}{2\omega [R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}]}$$

$$M_{\max} \approx \frac{3pU_1^2}{2\omega (R_1 + X_1 + X'_2)} \quad (7-41)$$

Hệ số trượt tới hạn s_{th} tỉ lệ thuận với điện trở rôto, còn $M_{\max}$ không phụ thuộc vào điện trở rôto, khi cho thêm điện trở phụ R_p vào rôto, đường đặc tính $M = f(s)$ thay đổi như hình 7-15b. Tính chất này được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và mô máy động cơ rôto dây quấn.

Quan hệ giữa M , $M_{\max}$ và s_{th} có thể viết gần đúng như sau :



Hình 7-15

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (7-42)$$

Thay $s = 1$ vào biểu thức (7-39), mômen mở máy động cơ là :

$$M_{mở} = \frac{3pU_1^2 R'_2}{\omega [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} \quad (7-43)$$

Đối với động cơ lồng sóc thường cho các tỉ số sau :

$$\frac{M_{mở}}{M_{dm}} = 1,1 \div 1,7 ; \quad \frac{M_{\max}}{M_{dm}} = 1,6 \div 2,5$$

§7-8. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ KHÔNG DỒNG BỘ BA PHA

Động cơ không đồng bộ ba pha có mômen mở máy. Để mở máy được, mômen mở máy động cơ phải lớn hơn mômen cản của tải lúc mở máy, đồng thời mômen động cơ phải đủ lớn để thời gian mở máy trong phạm vi cho phép.

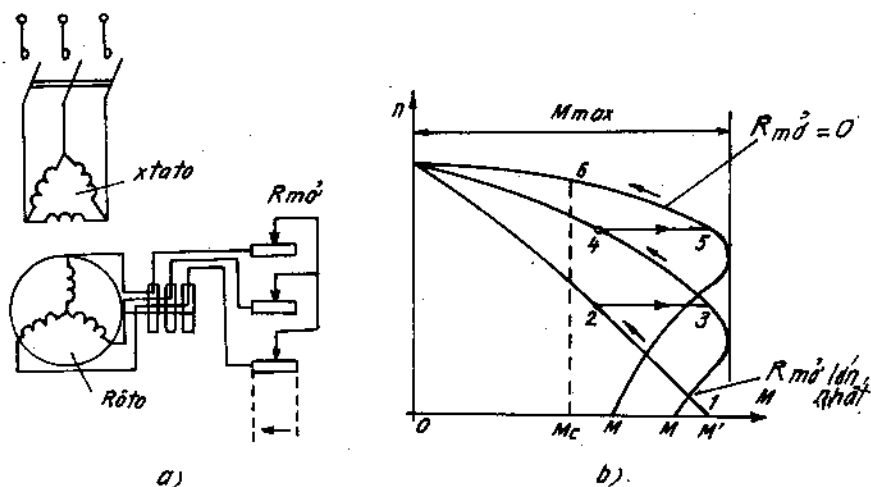
Khi mở máy hệ số trượt $s = 1$, theo sơ đồ thay thế gần đúng, dòng điện pha lúc mở máy :

$$I_{pm\ddot{o}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

Dòng điện mở máy lớn bằng 5 ÷ 7 lần dòng điện định mức. Đối với lưới điện công suất nhỏ sẽ làm cho điện áp mạng điện tụt xuống, ảnh hưởng đến sự làm việc của các thiết bị khác. Vì thế ta cần có các biện pháp mở máy.

1. Mở máy động cơ rôto dây quấn

Khi mở máy, dây quấn rôto được nối với biến trở mở máy (hình 7-16a). Đầu tiên để biến trở lớn nhất, sau đó giảm dần đến không. Đường đặc tính mômen ứng với các giá trị $R_{m\ddot{o}}$ vẽ trên hình 7-16b.



Hình 7-16

Muốn mômen mở máy cực đại, hệ số trượt tối hạn phải bằng 1 :

$$s_{1h} = \frac{R'_2 + R'_{m\ddot{o}}}{X_1 + X'_2} = 1 \quad (7-44)$$

Từ đó xác định được điện trở $R_{m\ddot{o}}$ cần thiết.

Khi có $R_{m\ddot{o}}$ dòng điện pha mở máy là :

$$I_{pm\ddot{o}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_{m\ddot{o}})^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

Nhờ có $R_{m\ddot{o}}$ dòng điện mở máy giảm xuống.

Như vậy, có $R_{m\ddot{o}}$ mômen mở máy tăng, dòng điện mở máy giảm, đó là ưu điểm lớn của động cơ rôto dây quấn.

2. Mở máy động cơ lồng sóc

a) *Mở máy trực tiếp.* Đây là phương pháp đơn giản nhất, chỉ việc đóng trực tiếp động cơ điện vào lưới điện (hình 7-17). Khuyết điểm của phương pháp này là dòng điện mở máy lớn, làm sụt điện áp mạng điện rất nhiều, nếu quán tính của máy lớn, thời gian mở máy sẽ rất lâu, có thể làm cháy cầu chì bảo vệ. Vì thế phương pháp này dùng được khi công suất mạng điện (hoặc nguồn điện) lớn hơn công suất động cơ rất nhiều, việc mở máy sẽ rất nhanh và đơn giản.

b) *Giảm điện áp xtato khi mở máy.* Khi mở máy ta giảm điện áp đặt vào động cơ, cũng làm giảm được dòng điện mở máy.

Khuyết điểm của phương pháp này là mômen mở máy giảm rất nhiều, vì thế nó chỉ sử dụng được đối với trường hợp không yêu cầu mômen mở máy lớn. Có các biện pháp giảm điện áp như sau :

- Dùng điện kháng nối tiếp vào mạch xtato.

Điện áp mạng điện đặt vào động cơ qua điện kháng Đ.K (hình 7-18). Lúc mở máy, cầu dao D_2 mở, cầu dao D_1 đóng. Khi động cơ đã quay ổn định thì đóng cầu dao 2 để ngắn mạch điện kháng. Nhờ có điện áp rơi trên điện kháng, điện áp trực tiếp đặt vào động cơ giảm đi k lần. Dòng điện sẽ giảm đi k lần, song mômen giảm đi k^2 lần (vì mômen tỉ lệ với bình phương điện áp).

- Dùng máy tự biến áp.

Điện áp mạng điện đặt vào sơ cấp máy tự biến áp (hình 7-19). Điện áp thứ cấp máy tự biến áp đưa vào động cơ. Thay đổi vị trí con chạy để cho lúc mở máy điện áp đặt vào động cơ nhỏ, sau đó dần dần tăng lên bằng định mức. Gọi k là hệ số biến áp của máy tự biến áp ; U_1 là điện áp pha lưới điện ; z_n là tổng trở động cơ lúc mở máy. Điện áp pha đặt vào động cơ khi mở máy là :

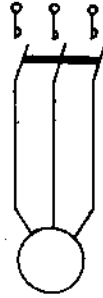
$$U_{dc} = \frac{U_1}{k}$$

Dòng điện chạy vào động cơ lúc có máy tự biến áp :

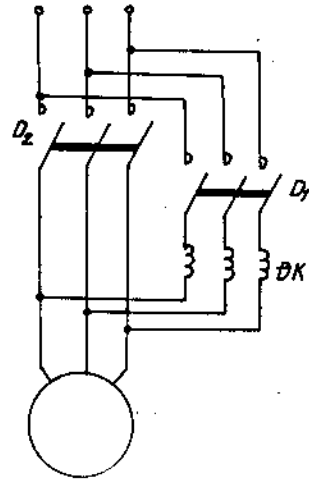
$$I_{dc} = \frac{U_{dc}}{z_n} = \frac{U_1}{kz_n}$$

Dòng điện I_1 lưới điện cung cấp cho động cơ lúc có máy tự biến áp là (dòng điện sơ cấp của máy tự biến áp).

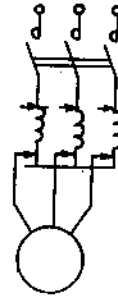
$$I_1 = \frac{I_{dc}}{k} = \frac{U_1}{k^2 z_n} \quad (7-45)$$



Hình 7-17



Hình 7-18



Hình 7-19

Khi mở máy trực tiếp, dòng điện I_1 bằng :

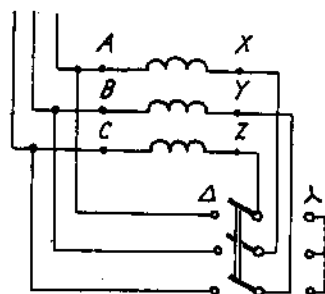
$$I_1 = \frac{U_1}{z_n} \quad (7-46)$$

So sánh (7-45) và (7-46) ta thấy, lúc có máy tự biến áp, dòng điện của lưới điện giảm đi k^2 lần. Đây là một ưu điểm so với phương pháp dùng điện kháng (dòng điện chỉ giảm k lần). Vì thế phương pháp dùng máy tự biến áp được dùng nhiều đối với động cơ công suất lớn. Điện áp đặt vào động cơ giảm k lần, nên mômen sẽ giảm k^2 lần.

- Phương pháp đổi nối sao - tam giác

Phương pháp này chỉ dùng được với những động cơ khi làm việc bình thường dây quấn xtato nối hình tam giác.

Khi mở máy ta nối hình sao để điện áp đặt vào mỗi pha giảm $\sqrt{3}$ lần. Sau khi mở máy ta đổi nối lại thành hình tam giác như đúng quy định của máy. Trên hình 7-20 khi mở máy ta đóng cầu dao sang phía Y, mở máy xong đóng sang phía Δ .



Hình 7-20

Dòng điện dây khi nối hình tam giác :

$$I_{d\Delta} = \frac{\sqrt{3} U_1}{z_n} \quad (7-47)$$

Dòng điện dây khi nối hình sao là :

$$I_{dY} = \frac{U_1}{\sqrt{3} z_n} \quad (7-48)$$

So sánh (7-47) và (7-48) ta thấy lúc mở máy kiểu đổi nối sao - tam giác dòng điện dây mạng điện giảm đi 3 lần. Cũng như trên, phương pháp này mômen giảm đi $(\sqrt{3})^2 = 3$ lần.

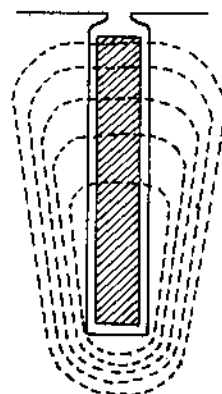
Qua việc nghiên cứu các phương pháp, chúng ta đều thấy mômen mở máy giảm xuống nhiều. Để khắc phục điều này, người ta đã chế tạo loại động cơ lồng sóc kép và loại rãnh sâu có đặc tính mở máy tốt.

3. Động cơ điện lồng sóc có đặc tính mở máy tốt

Động cơ điện lồng sóc có ưu điểm là cấu tạo và sử dụng đơn giản, có đặc tính làm việc tốt, nhưng đặc tính mở máy không bằng động cơ dây quấn. Để cải tiến đặc tính mở máy động cơ lồng sóc, người ta chế tạo loại động cơ lồng sóc rãnh sâu hoặc hai lồng sóc chúng có đặc tính mở máy tương đối tốt.

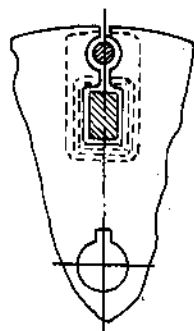
a) Động cơ điện lồng sóc rãnh sâu

Loại động cơ này, rãnh rôto hẹp và sâu (chiều sâu bằng $10 \div 12$ lần chiều rộng rãnh), vẽ trên hình 7-21.



Hình 7-21

Khi có dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, từ thông tản rôto ϕ_{t2} phân bố như trên hình 7-21. Từ thông tản móc vòng với đoạn dưới thanh dẫn nhiều hơn đoạn trên. Khi mở máy, rôto chưa quay, dòng điện rôto có tần số lớn bằng tần số xtato f . Điện kháng tản rôto sẽ lớn hơn điện trở, và có tác dụng quyết định đến sự phân bố dòng điện rôto. Do lúc mở máy, điện kháng tản phía dưới lớn, dòng điện tập trung phía trên thanh dẫn gần miệng rãnh; làm sự phân bố dòng điện tập trung nhiều ở phía miệng rãnh, tiết diện dẫn điện của thanh coi như bị nhỏ đi, điện trở rôto R_2 tăng lên sẽ làm tăng mômen mở máy. Khi mở máy xong, tần số dòng điện rôto nhỏ, tác dụng trên bị yếu đi, điện trở rôto giảm xuống như bình thường.



Hình 7-22

b) *Động cơ điện lồng sóc kép.* Rôto của động cơ có hai lồng sóc (hình 7-22), các thanh dẫn của lồng sóc ngoài (còn gọi là lồng sóc mở máy) có tiết diện nhỏ và điện trở suất lớn. Lồng sóc trong có tiết diện lớn điện trở nhỏ.

Như ở trên, khi mở máy dòng điện tập trung ở lồng sóc ngoài có điện trở R_2 lớn, mômen mở máy lớn. Khi làm việc bình thường, dòng điện lại phân bố đều ở cả hai lồng sóc, điện trở R_2 nhỏ xuống.

Động cơ điện rãnh sâu và lồng sóc kép có đặc tính mở máy tốt, nhưng vì từ thông tản lớn, nên $\cos\varphi$ thấp hơn động cơ lồng sóc thông thường.

§7-9. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ là :

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \text{ vòng/phút}$$

Nhìn vào biểu thức ấy ta thấy :

Với động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc có thể điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi tần số dòng điện xtato, bằng cách đổi nối dây quấn xtato để thay đổi số đôi cực p của từ trường, hoặc thay đổi điện áp đặt vào xtato để thay đổi hệ số trượt s . Tất cả các phương pháp đều thực hiện ở phía xtato. Đối với động cơ rôto dây quấn thường điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở rôto để thay đổi hệ số trượt s , việc điều chỉnh thực hiện ở phía rôto.

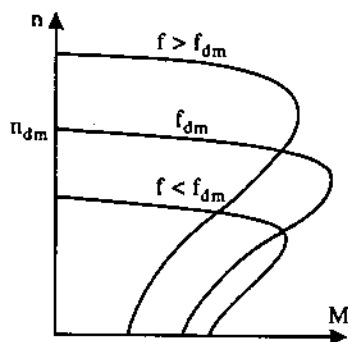
1. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số

Việc thay đổi tần số f của dòng điện xtato thực hiện bằng bộ biến đổi tần số.

Như đã biết ở biểu thức (7-10) từ thông $\phi_{\max}$ tỉ lệ thuận với tỉ số U_1/f , khi thay đổi tần số người ta mong muốn giữ cho từ thông $\phi_{\max}$ không đổi, để mạch từ máy ở tình trạng định mức. Muốn vậy phải điều chỉnh đồng thời tần số và điện áp, việc giữ cho

tỉ số $\frac{U_1}{f} = \text{không đổi}$ sẽ thực hiện được khi $f < f_{dm}$.

Khi $f > f_{dm}$ ta giữ $U = U_{dm}$ (để bảo vệ dây quấn), khi ấy $\phi_{\max}$ giảm và $M_{\max}$ giảm nhiều.



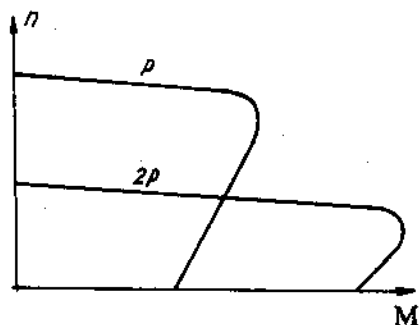
Hình 7-23

Hình 7-23 vẽ họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số.

2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực

Số đôi cực của từ trường quay phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn. Hình 7-6, 7-7 vẽ cấu tạo dây quấn của một pha xtato, ứng với từ trường có $p = 1$ và $p = 2$. Động cơ không đồng bộ có cấu tạo dây quấn dễ thay đổi đôi cực từ được gọi là động cơ không đồng bộ nhiều cấp tốc độ. Phương pháp này chỉ sử dụng cho loại rôto lồng sóc.

Mặc dù điều chỉnh tốc độ nhảy cấp, nhưng có ưu điểm là giữ nguyên độ cứng của đặc tính cơ (hình 7-24), động cơ nhiều cấp tốc độ được sử dụng rộng rãi trong các máy luyện kim, máy tầu thủy v.v...



Hình 7-24

3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp cung cấp cho xtato

Phương pháp này chỉ thực hiện việc giảm điện áp. Khi giảm điện áp đường đặc tính $M = f(s)$ sẽ thay đổi (hình 7-15a) do đó hệ số trượt thay đổi, tốc độ động cơ thay đổi.

4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở mạch rôto của động cơ rôto dây quấn

Thay đổi điện trở dây quấn rôto, bằng cách mắc biến trở ba pha vào mạch rôto như hình 7-16a.

Biến trở điều chỉnh tốc độ phải làm việc lâu dài nên có kích thước lớn hơn so với biến trở mở máy. Họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi có biến trở điều chỉnh tốc độ vẽ trên hình 7-15b. Ta thấy rằng khi tăng điện trở, tốc độ quay của động cơ giảm.

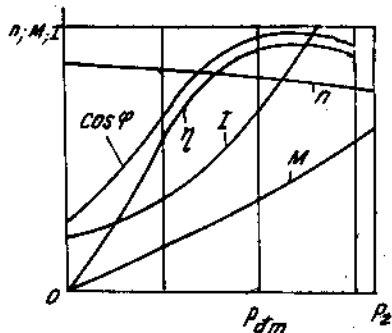
Nếu mômen cản không đổi, dòng rôto không đổi, khi tăng điện trở để giảm tốc độ, sẽ tăng tổn hao công suất trong biến trở, do đó phương pháp này không kinh tế. Tuy nhiên phương pháp đơn giản, điều chỉnh trơn và khoảng điều chỉnh tương đối rộng, được sử dụng điều chỉnh tốc độ quay của động cơ công suất cỡ trung bình.

Trước đây khả năng điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ bị hạn chế. Ngày nay nhờ có bộ biến tần điện tử công suất, có f biến thiên từ 0 đến $2f_{dm}$, nhờ đó có thể điều chỉnh tốc độ một cách liên tục với phạm vi rộng.

§7-10. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Ở chế độ làm việc định mức động cơ điện không đồng bộ có đại lượng định mức 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 $\cos \varphi_{dm}$ và hiệu suất định mức η_{dm} .

Song các đại lượng định mức chưa cho đầy đủ tất cả các đặc tính khi tải khác định mức, vì thế cần biết những đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ



Hình 7-25

đó là các quan hệ giữa tốc độ quay rôto n , hệ số $\cos\varphi$, hiệu suất η , mômen quay M , và dòng điện xtato I_1 với công suất cơ hữu ích trên trục P_2 , khi điện áp U và tần số f ở xtato không đổi. Trên hình 7-25 vẽ các đặc tính làm việc, trong đó hiệu suất η , $\cos\varphi$ là các chỉ tiêu kinh tế, vì hiệu suất cao tổn hao công suất trong máy nhỏ, $\cos\varphi$ cao sẽ giảm được tổn hao điện năng trên đường dây của mạng điện, các đặc tính khác là các chỉ tiêu kĩ thuật.

1. Tốc độ quay $n = f(P_2)$

Tốc độ của động cơ quan hệ với hệ số trượt s :

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s)$$

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 trượt s tăng lên, và tốc độ động cơ giảm xuống.

2. Hiệu suất $\eta = f(P_2)$

Hiệu suất của động cơ được tính như sau :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (7-49)$$

P_2 là công suất cơ hữu ích trên trục động cơ

P_1 công suất điện động cơ tiêu thụ của lưới điện

$$P_1 = 3U_1 I_1 \cos\varphi$$

ΔP là tổng các tổn hao trong máy.

$$\Delta P = \Delta P_{st1} + \Delta P_{d1} + \Delta P_{d2} + \Delta P_{cf}$$

ΔP_{st1} : tổn hao sắt từ trong lõi thép xtato do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra.

ΔP_{d1} : tổn hao trên điện trở dây quấn xtato

$$\Delta P_{d1} = 3R_1 I_1^2$$

ΔP_{d2} : tổn hao trên điện trở dây quấn rôto

$$\Delta P_{d2} = 3R_2' I_2'^2 = m_2 R_2 I_2^2$$

ΔP_{cf} : tổn hao cơ do ma sát ổ trục quạt gió và phụ.

Tổn hao sắt từ trong lõi thép rôto nhỏ

(có thể bỏ qua) vì tần số dòng điện rôto nhỏ.

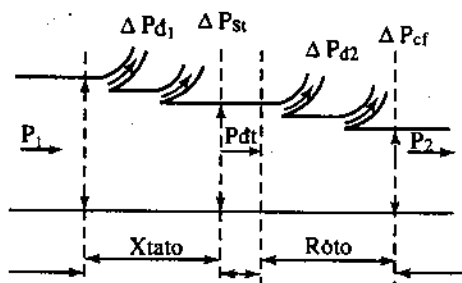
Trên hình 7-26 vẽ đồ thị năng lượng trong động cơ điện không đồng bộ.

Thông thường người ta xác định gần đúng hiệu suất như sau :

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_o + k_t^2 P_n} \quad (7-50)$$

trong đó :

$$k_t = \frac{I_1}{I_{1dm}} \text{ hệ số tải}$$



Hình 7-26

$P_o = \Delta P_{st} + \Delta P_{cf}$ tổn hao không tải

P_n là tổng tổn hao trên điện trở dây quấn xtato và rôto khi dòng điện bằng định mức.

Hiệu suất định mức của động cơ không đồng bộ khoảng $0,75 \div 0,95$

3. Hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$

Hệ số công suất của động cơ điện không đồng bộ là tỉ số giữa công suất tác dụng P_1 với công suất toàn phần S

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (7-51)$$

trong đó P_1 là công suất tác dụng (điện) động cơ tiêu thụ để biến đổi sang công suất cơ P_2 .

Q_1 là công suất phản kháng, động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường cho máy. Khi máy quay không tải (không kéo tải), công suất P_1 nhỏ, do đó $\cos\varphi_o$ thấp, bằng từ $0,2 \div 0,3$.

Khi tải tăng, công suất P_1 tăng và $\cos\varphi$ được tăng lên đạt đến 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; do đó $\cos\varphi$ 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 M và dòng điện I_1 đều tăng. Các quan hệ này được vẽ trên hình 7-25.

§7-11. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ HAI PHA

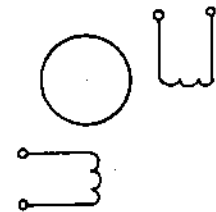
Ở động cơ điện không đồng bộ hai pha, rôto kiểu lồng sóc, xtato có dây quấn hai pha, lệch nhau về không gian một góc 90° điện. Khi dòng điện trong hai dây quấn có biên độ bằng nhau và lệch pha nhau một góc pha 90° , sẽ tạo ra trong máy từ trường quay tròn với tần số quay là $n_1 = 60f/p$; trong đó f là tần số dòng điện xtato, p là số đôi cực của máy (hình 7-27). Nguyên lí làm việc và đặc tính động cơ hai pha như động cơ ba pha đã xét ở trên.

1. Động cơ tự điện

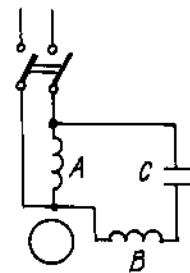
Đối với động cơ tự điện, để tạo ra sự lệch pha về thời gian giữa dòng điện trong hai dây quấn, người ta nối tiếp với một dây quấn (ví dụ pha B) một điện dung C. Hai dây quấn được nối song song với nhau và nối vào lưới điện một pha (hình 7-28). Việc phối hợp các trị số điện dung C và số vòng dây các dây quấn phù hợp sẽ có được từ trường quay tròn (hoặc gần tròn) máy sẽ có các chỉ tiêu kinh tế kĩ thuật tốt. Loại động cơ này được sử dụng nhiều trong dân dụng (quạt điện) hoặc trong các thiết bị của hệ thống tự động v.v...

2. Động cơ điều khiển hai pha

Xtato có dây quấn hai pha, dây quấn nối với tụ điện C gọi là dây quấn kích thích, dây quấn nối với bộ điều chỉnh pha (hoặc biên độ) điện áp gọi là dây quấn điều khiển (hình 7-29). Rôto lồng sóc có điện trở lớn.



Hình 7-27



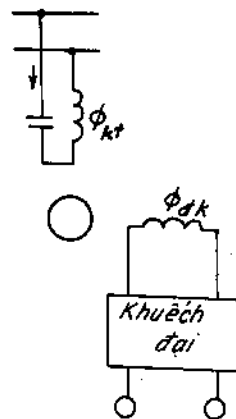
Hình 7-28

Điều chỉnh dòng điện trong dây quấn điều khiển (biên độ hoặc pha) ta sẽ có đường đặc tính cơ theo yêu cầu của điều khiển truyền động. Công suất của loại động cơ này thường từ vài W đến vài chục W.

3. Trong trường hợp hai dây quấn xtato lệch pha về không gian một góc θ và dòng điện trong hai dây quấn lệch pha về thời gian một góc 90° , nối chung từ trường không tròn, và biểu thức mômen quay sẽ là :

$$M = k I_A I_B \sin \theta \sin \beta \quad (7-52)$$

trong đó k là hệ số tỉ lệ.



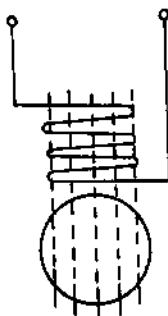
Hình 7-29

§7-12. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

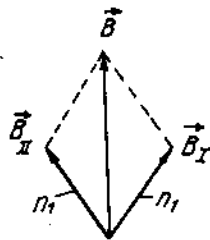
Về cấu tạo xtato chỉ có dây quấn một pha, rôto thường là lồng sóc (hình 7-30). Dây quấn xtato được nối với lưới điện xoay chiều một pha.

Dòng điện xoay chiều chạy vào dây quấn xtato không tạo ra từ trường quay. Do sự biến thiên của dòng điện, chiều và trị số từ trường thay đổi, nhưng phương của từ trường cố định trong không gian. Từ trường này gọi là từ trường đập mạch.

Vì không phải là từ trường quay, nên khi ta cho điện vào dây quấn xtato, động cơ không tự quay được. Để cho động cơ điện làm việc được, trước hết ta phải quay rôto của động cơ điện theo một chiều nào đó, rôto sẽ tiếp tục quay theo chiều ấy và động cơ làm việc.



Hình 7-30



Hình 7-31

Để giải thích rõ hiện tượng xảy ra trong động cơ điện một pha, ta phân tích từ trường đập mạch thành hai từ trường quay, quay ngược chiều nhau cùng tần số quay n_1 và biên độ bằng một nửa biên độ từ trường đập mạch.

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (7-53)$$

$$B_{\max I} = B_{\max II} = \frac{B_{\max}}{2} \quad (7-54)$$

trong đó từ trường quay $\vec{B}_I$ có chiều quay trùng với chiều quay rôto, được gọi là từ trường quay thuận, còn từ trường quay $\vec{B}_{II}$ có chiều quay ngược chiều quay rôto gọi là từ trường quay ngược. Trên hình 7-31, $\vec{B}$ là từ trường đập mạch, còn $\vec{B}_I$ và $\vec{B}_{II}$ quay với tốc độ n_1 và bao giờ ta cũng có :

$$\vec{B} = \vec{B}_I + \vec{B}_{II} \quad (7-55)$$

Gọi n là tốc độ rôto, hệ số trượt đối với từ trường quay thuận là :

$$s_1 = \frac{n_1 - n}{n} = s \quad (7-56)$$

Hệ số trượt s_{II} ứng với từ trường quay ngược :

$$s_{II} = \frac{n_1 + n}{n_1} = \frac{n_1 + (1 - s_1)n_1}{n_1} = 2 - s_1 = 2 - s \quad (7-57)$$

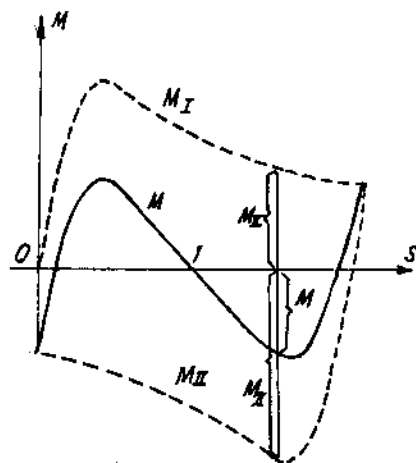
Do đó ta có bảng sau về quan hệ giữa các hệ số trượt

$s = s_1$	0	1	2
s_{II}	2	1	0

Trên hình 7-32 vẽ mômen quay M_I do từ trường thuận sinh ra có trị số dương và M_{II} do từ trường ngược gây ra có trị số âm. Mômen quay của động cơ là tổng đại số mômen M_I và M_{II} .

$$M = M_I - M_{II} \quad (7-58)$$

Từ đường đặc tính mômen, chúng ta thấy rằng, lúc mở máy, $s = s_1 = s_{II} = 1$, $M_I = M_{II}$ và mômen mở máy $M_{mở} = 0$, động cơ điện không tự mở máy được. Nhưng, nếu ta tác động làm cho động cơ quay, hệ số trượt $s < 1$, lúc đó động cơ có mômen M , sẽ tiếp tục quay. Vì thế ta phải có biện pháp mở máy, nghĩa là phải tạo cho động cơ một pha mômen mở máy. Ta thường dùng các phương pháp sau :

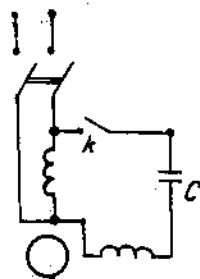


Hình 7-32

1. Dùng dây quấn phụ mở máy

Ở loại động cơ này, ngoài dây quấn chính, còn có dây quấn phụ. Dây quấn phụ có thể thiết kế để làm việc khi mở máy, hoặc làm việc lâu dài (động cơ hai pha). Dây quấn phụ đặt trong một số rãnh xtato, sao cho sinh ra một từ thông lệch với từ thông chính một góc 90° không gian, và dòng điện trong dây quấn phụ lệch pha với dòng điện trong dây quấn chính một góc 90° . Dòng điện ở dây quấn phụ và dây quấn chính sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.

Để dòng điện trong dây quấn phụ lệch pha với dòng điện trong dây quấn chính một góc 90° , ta thường nối tiếp với dây quấn phụ điện dung C (hình 7-33). Loại động cơ tự điện có đặc tính mở máy tốt, được sử dụng nhiều trong máy bơm và quạt điện.

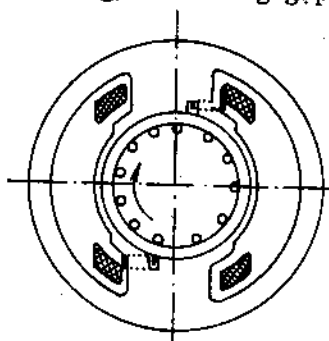


Hình 7-33

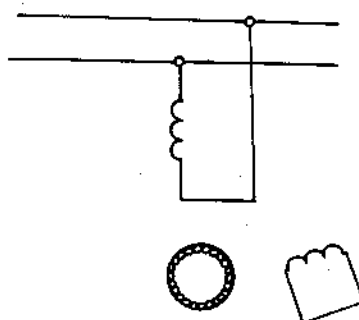
2. Động cơ điện một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ

Trên hình 7-34 vẽ cấu tạo loại động cơ này. Người ta chẻ cực từ ra, và cho vào đó một vòng đồng ngắn mạch. Vòng ngắn mạch được coi như dây quấn phụ, trong đó có dòng điện cảm ứng, sơ đồ nguyên lý trên hình 7-35. Tổng hợp 2 từ trường của dây quấn chính và phụ sẽ sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.

Các loại động cơ này chế tạo với công suất nhỏ từ $0,5 + 30W$ dùng vào các cơ cấu truyền động tự động, và thường gặp nhất là quạt bàn.



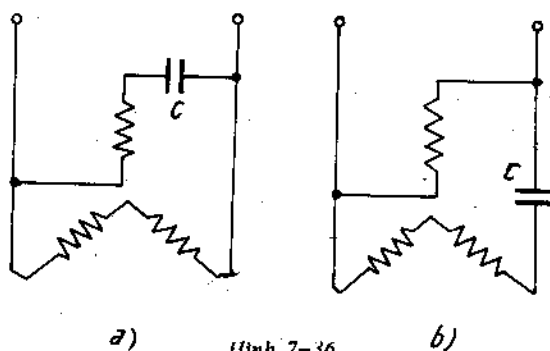
Hình 7-34



Hình 7-35

Động cơ điện một pha có các khuyết điểm là $\cos\varphi$ thấp, hiệu suất thấp vì tổn hao ở rôto lớn, mômen nhỏ nên làm việc kém ổn định, khả năng quá tải kém.

Ngoài ra trong thực tế, khi không có nguồn điện ba pha, động cơ ba pha có thể nối dây quấn xtato như hình (7-36a, b) để nối vào lưới điện một pha. Nếu chọn trị số điện dung C thích hợp, có thể đạt công suất đến $70 + 80\%$ công suất định mức.



Hình 7-36

Động cơ điện một pha có ưu điểm là cấu tạo gọn, sử dụng lưới điện một pha, nên được sử dụng nhiều trong các hệ tự động và dân dụng (quạt điện, máy quay đĩa v.v...). Nhược điểm là nếu không có biện pháp cải thiện thì các đặc tính kém so với động cơ ba pha và hai pha.

Chương 8

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

§8-1. ĐỊNH NGHĨA VÀ CÔNG DỤNG

1. Định nghĩa

Những máy điện xoay chiều có tốc độ quay rôto n bằng tốc độ quay của từ trường n_1 gọi là máy điện đồng bộ. Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay rôto luôn không đổi khi tải thay đổi.

2. Công dụng

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của các lưới điện công nghiệp, trong đó động cơ sơ cấp là các tuabin hơi, hoặc tuabin nước. Công suất của mỗi máy phát có thể đạt đến 500MW hoặc lớn hơn và chúng thường làm việc song song. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ diesel hoặc các tuabin khí, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai ba máy làm việc song song.

Động cơ đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW. Trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió v.v... với tốc độ không đổi. Động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ tự ghi, thiết bị lập chương trình, thiết bị điện sinh hoạt v.v...

Trong hệ thống điện, máy bù đồng bộ làm việc phát công suất phản kháng cho lưới điện để bù hệ số công suất và ổn định điện áp.

§8-2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là stator và rôto. Trên hình 8-1 vẽ mặt cắt ngang trục máy trong đó 1 : lá thép stator ; 2 : dây quấn stator ; 3 : lá thép rôto ; 4 : dây quấn rôto.

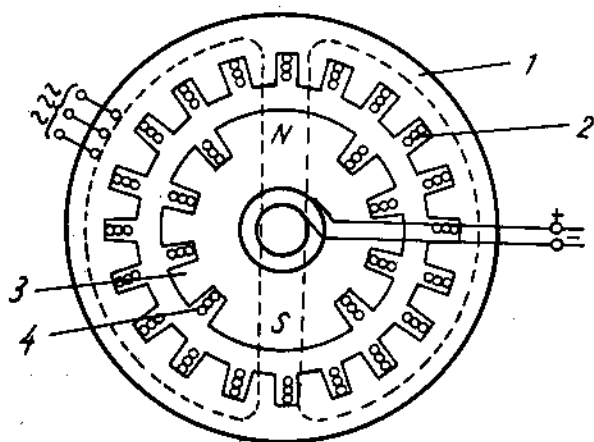
1. Stator

Stator của máy điện đồng bộ vẽ trên hình 8-2a, giống như stator của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stator và dây quấn ba pha stator. Dây quấn stator gọi là dây quấn phân ứng.

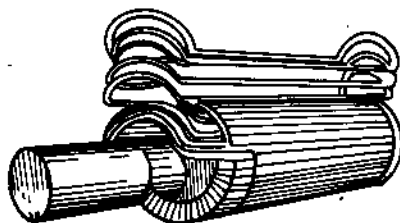
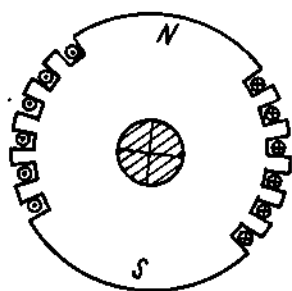
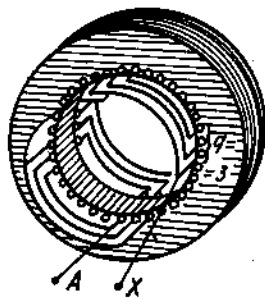
2. Rôto

Rôto máy điện đồng bộ có các cực từ và dây quấn kích từ. Có hai loại : rôto cực ẩn và rôto cực lồi. Hình 8-2b, vẽ rôto cực ẩn, hình 8-2c vẽ rôto cực lồi.

Rôto cực lồi dùng ở các máy có tốc độ chậm, có nhiều đôi cực.



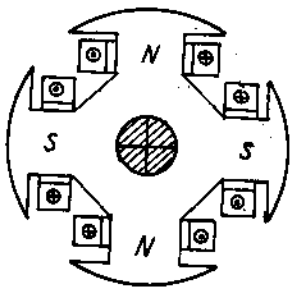
Hình 8-1



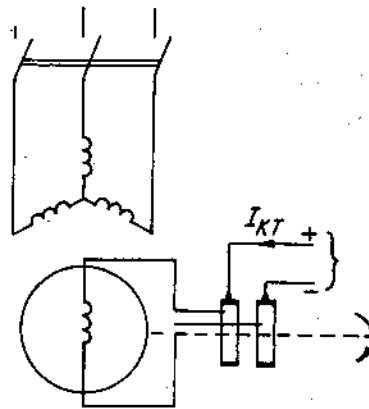
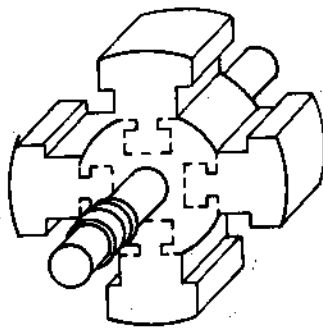
a)

Hình 8-2

b)



Hình 8-2c



Hình 8-3

Rôto cực ẩn thường dùng ở máy có tốc độ cao 3000 vg/ph, có một đôi cực.

Để có sdd hình sin, từ trường của cực từ rôto phải phân bố hình sin dọc theo khe hở không khí giữa xtato và rôto, ở đỉnh các cực từ có từ cảm cực đại.

Đối với rôto cực ẩn, dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh. Đối với rôto cực lộ dây quấn kích từ quấn xung quanh thân cực từ.

Hai đầu của dây quấn kích từ đi luồn trong trục và nối với 2 vòng trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi điện để nối với nguồn kích từ (hình 8-3).

§8-3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC MÁY PHÁT ĐIỆN DÒNG BỘ

Cho dòng điện kích từ (dòng điện không đổi) vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto. Khi quay rôto bằng động cơ sơ cấp, từ trường của rôto sẽ cắt dây quấn phần ứng xtato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin, có trị số hiệu dụng là :

$$E_o = 4,44fW_1k_{gq}\phi_o \quad (8-1)$$

trong đó : E_o , W_1 , k_{gq} , ϕ_o : sdd pha, số vòng dây một pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rôto.

Nếu rôto có p đôi cực, khi rôto quay được một vòng, sdd phần ứng sẽ biến thiên p chu kì. Do đó nếu tốc độ quay của rôto là n (v/s), tần số f của sdd sẽ là :

$$f = pn \quad (8-2a)$$

Nếu tốc độ rôto tính bằng v/ph thì :

$$f = \frac{pn}{60} \quad (8-2b)$$

Dây quấn ba pha xtato có trục lệch nhau trong không gian một góc 120° điện, cho nên sdd các pha lệch nhau góc pha 120° .

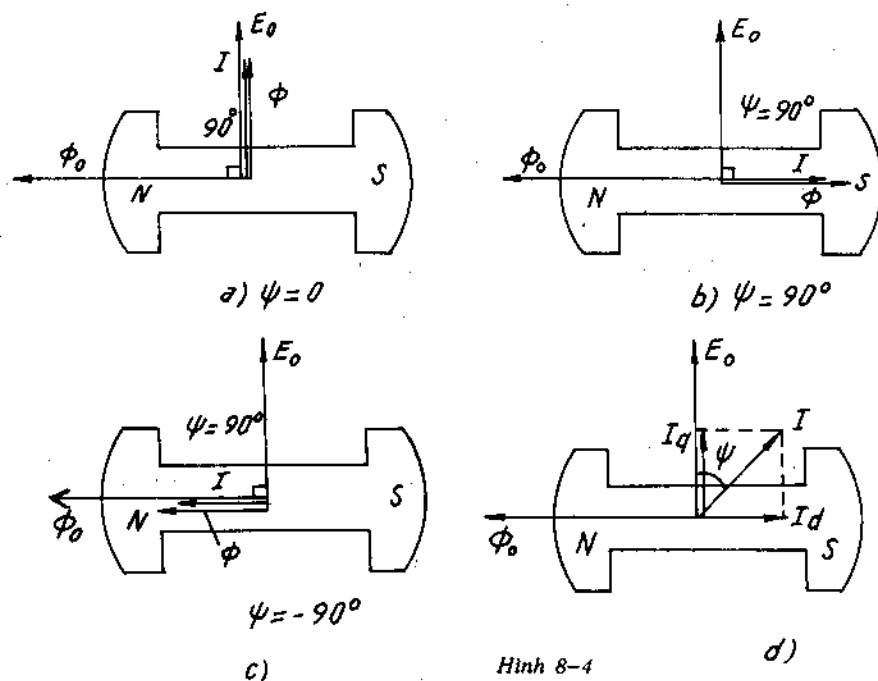
Khi dây quấn xtato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện ba pha. Giống như ở máy điện không đồng bộ, dòng điện ba pha trong 3 dây quấn sẽ tạo nên từ trường quay, với tốc độ là $n_1 = 60f/p$, đúng bằng tốc độ n của rôto. Do đó kiểu máy điện này được gọi là máy điện đồng bộ.

§8-4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi máy phát điện làm việc, từ trường của cực từ rôto ϕ_0 cắt dây quấn xtato cảm ứng ra sdd E_0 chậm pha so với từ thông ϕ_0 góc 90° (hình 8-4a). Dây quấn xtato nối với tải sẽ tạo nên dòng điện I cung cấp cho tải. Dòng điện I trong dây quấn xtato tạo nên từ trường quay gọi là từ trường phản ứng ϕ quay đồng bộ với từ trường của cực từ ϕ_0 . Góc lệch pha giữa E_0 và I do tính chất của tải quyết định.

Trường hợp tải thuần trở (hình 8-4a) góc lệch pha $\psi = 0$, E_0 và I cùng pha. Dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng ϕ cùng pha với dòng điện. Tác dụng của từ trường phản ứng ϕ lên từ trường cực từ ϕ_0 theo hướng ngang trục, làm méo từ trường cực từ, ta gọi là phản ứng phần ứng ngang trục.

Trường hợp tải thuần cảm (hình 8-4b) góc lệch pha $\psi = 90^\circ$, dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng ϕ ngược chiều với ϕ_0 , ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trục khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng.



Hình 8-4

Trường hợp tải thuần dung $\psi = -90^\circ$ (hình 8-4c) dòng điện sinh ra từ trường phản ứng ϕ , cùng chiều với ϕ_0 , ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trục trợ từ, có tác dụng làm tăng từ trường tổng. Trường hợp tải bất kì (hình 8-4d) ta phân tích dòng điện I làm 2 thành phần: Thành phần dọc trục $I_d = I \sin \psi$ và thành phần ngang trục $I_q = I \cos \psi$, dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng vừa có tính chất ngang trục vừa có tính chất dọc trục trợ từ hoặc khử từ tùy theo tính chất của tải có tính chất điện dung hoặc có tính chất điện cảm.

§8-5. PHƯƠNG TRÌNH ĐIỆN ÁP CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN CỰC LỖI

Khi máy phát điện làm việc, từ trường cực từ ϕ_0 sinh ra sdd E_0 ở dây quấn xtato. Khi máy có tải sẽ có dòng điện I và điện áp U trên tải. Ở máy cực lồi vì khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau nên ta phải phân tích ảnh hưởng của phản ứng phần

ứng theo hướng dọc trục và ngang trục. Từ trường phản ứng phản ứng ngang trục tạo nên sđd ngang trục.

$\vec{E}_{uq} = -j\vec{I}_q X_{uq}$ trong đó X_{uq} là điện kháng phản ứng phản ứng ngang trục.

Từ trường phản ứng phản ứng dọc trục tạo nên sđd dọc trục $\vec{E}_{ud} = -j\vec{I}_d X_{ud}$ trong đó X_{ud} là điện kháng phản ứng phản ứng dọc trục. Từ thông tản của dây quấn xtato đặc trưng bởi điện kháng tản X_t không phụ thuộc hướng dọc trục hoặc ngang trục.

$\vec{E}_t = -j\vec{I}X_t = -j\vec{I}_d X_t - j\vec{I}_q X_t$. Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phản ứng $\vec{I}R_u$ ta có phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lõi :

$$\vec{U} = \vec{E}_o - j\vec{I}_d X_{ud} - j\vec{I}_d X_t - j\vec{I}_q X_{uq} - j\vec{I}_q X_t \quad (8-3)$$

$$= \vec{E}_o - j\vec{I}_d (X_{ud} + X_t) - j\vec{I}_q (X_{uq} + X_t) \quad (8-4)$$

Gọi $X_{ud} + X_t = X_d$ là điện kháng đồng bộ dọc trục.

$X_{uq} + X_t = X_q$ là điện kháng đồng bộ ngang trục, ta có thể viết gọn lại :

$$\vec{U} = \vec{E}_o - j\vec{I}_d X_d - j\vec{I}_q X_q \quad (8-5)$$

Phương trình (8-5) tương ứng với đồ thị vectơ của máy phát đồng bộ cực lõi, (hình 8-5a).

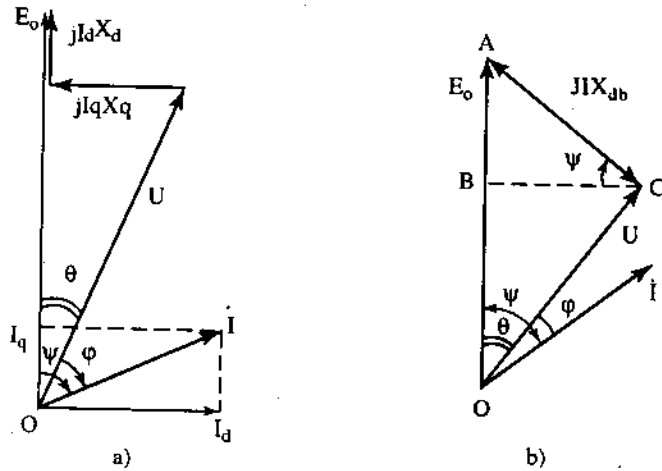
Từ phương trình điện áp và đồ thị vectơ ta thấy góc lệch pha giữa điện áp $\vec{U}$ và sđd $\vec{E}_o$ do tải quyết định.

Đối với máy phát cực ẩn là trường hợp đặc biệt của cực lõi $X_{db} = X_d = X_q$ gọi là điện kháng đồng bộ X_{db} thì

phương trình cân bằng điện áp của máy phát đồng bộ cực ẩn có thể viết :

$$\vec{U} = \vec{E}_o - j\vec{I}X_{db} \quad (8-6)$$

đồ thị vectơ của nó được vẽ trên hình 8-5b.



Hình 8-5

§8-6. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ CỰC LỖI

1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải là

$$P = mUI\cos\varphi \quad (8-7)$$

trong đó m là số pha. Theo đồ thị vectơ hình 8-5a ta thấy $\varphi = \psi - \theta$ do đó :

$$\begin{aligned} P &= mUI\cos\varphi = mUI\cos(\psi - \theta) \\ &= mUI\cos\psi\cos\theta + mUI\sin\psi\sin\theta \end{aligned}$$

Vì $I \cos \psi = I_q$ và $I \sin \psi = I_d$, theo đồ thị vectơ hình 8-5a rút ra

$$I_q = \frac{U \sin \theta}{X_q} \text{ và } I_d = \frac{E_o - U \cos \theta}{X_d}$$

thế biểu thức của I_d và I_q vào phương trình công suất điện từ, bỏ qua tổn hao và sau một vài biến đổi đơn giản ta có :

$$P_{dt} = mU \frac{E_o}{X_d} \sin \theta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (8-8)$$

Ta nhận thấy công suất điện từ gồm 2 thành phần (hình 8-6).

- Thành phần $\frac{mUE_o}{X_d} \sin \theta$ do dòng điện kích từ tạo nên tỉ lệ với $\sin \theta$. Đó là thành phần công suất chủ yếu của máy phát.

- Thành phần $\frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$, không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ xuất hiện khi $X_d \neq X_q$. Đối với máy cực ẩn $X_d = X_q$ thành phần này bằng không. Người ta chế tạo động cơ rôto có khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau (cực lồi) mà không cần dòng điện kích từ, do ảnh hưởng của thành phần công suất này cũng tạo nên được mômen quay, đó là nguyên lí của động cơ phản kháng.

Đặc tính $P = f(\theta)$ gọi là đặc tính góc công suất. Máy phát làm việc ổn định khi θ trong khoảng $0 < \theta < 90^\circ$; khi tải định mức $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$.

2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy phát đồng bộ là :

$$\begin{aligned} Q &= mUI \sin \psi = mUI \sin(\psi - \theta) \\ &= m[U \sin \psi \cos \theta - U \cos \psi \sin \theta] \end{aligned} \quad (8-9)$$

Từ đồ thị vectơ hình 8-4b ta có :

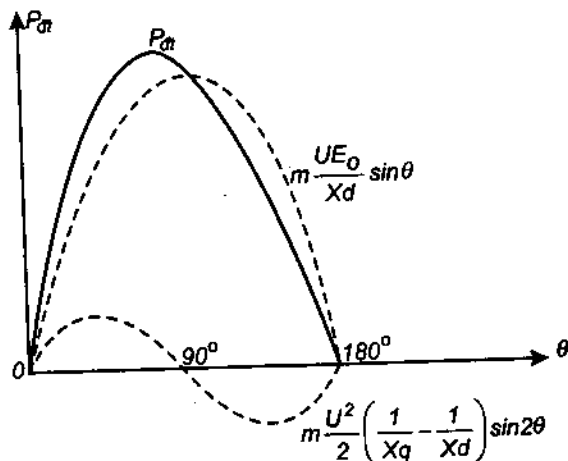
$$IX_{db} \sin \psi = AB = OA - OB = E_o - U \cos \theta$$

$$\text{do đó} \quad I \sin \psi = \frac{E_o - U \cos \theta}{X_{db}} \quad (8-10)$$

$$IX_{db} \cos \psi = BC = U \sin \theta$$

$$\text{do đó} \quad I \cos \psi = \frac{U \sin \theta}{X_{db}} \quad (8-11)$$

Thay (8-10), (8-11) vào (8-9) ta có :



Hình 8-6

$$Q = \frac{mUE_o \cos \theta}{X_{db}} - \frac{mU^2}{X_{db}} \quad (8-12)$$

Biểu thức (8-12) là công suất phản kháng của máy phát đồng bộ viết theo các thông số của máy.

3. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

a) *Điều chỉnh công suất tác dụng.* Máy phát biến đổi cơ năng thành điện năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng P, phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp (tuabin hơi hoặc tuabin khí v.v...)

b) *Điều chỉnh công suất phản kháng.* Từ biểu thức công suất phản kháng (8-12) :

$$Q = \frac{mU(E_o \cos \theta - U)}{X_{db}} \quad (8-13)$$

Khi giữ U, f và P không đổi thì

$$\begin{aligned} \text{Nếu } E_o \cos \theta < U \text{ thì } Q < 0 \\ E_o \cos \theta = U \text{ thì } Q = 0 \\ E_o \cos \theta > U \text{ thì } Q > 0. \end{aligned}$$

Khi $Q < 0$ nghĩa là máy không phát công suất phản kháng, mà nhận công suất phản kháng của lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích từ.

Khi $Q > 0$ máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích từ. Nhìn các công thức trên, muốn thay đổi công suất phản kháng, phải thay đổi E_o , nghĩa là phải điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn tăng công suất phản kháng phát ra, phải tăng kích từ. Thật vậy nếu tăng dòng điện kích từ, E_o sẽ tăng, $\cos \theta$ tăng (vì $E_o \sin \theta = \text{const}$) do đó Q tăng.

§8-7. ĐẶC TÍNH NGOÀI VÀ ĐẶC TÍNH ĐIỀU CHỈNH

1. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính ngoài của máy phát là quan hệ điện áp U trên cực máy phát và dòng điện tải I khi tính chất tải không đổi ($\cos \varphi_t = \text{const}$), tần số và dòng điện kích từ máy phát không đổi. Từ phương trình cân bằng điện áp (8-5), ta vẽ đồ thị vectơ máy phát ứng với các loại tải khác nhau. Ta thấy khi tải tăng, đối với tải cảm và trở, điện áp giảm (tải cảm điện áp giảm nhiều hơn), đối với tải dung điện áp tăng. Bằng đồ thị, ta thấy rằng, điện áp máy phát phụ thuộc vào dòng điện và đặc tính của tải.

Hình 8-7a vẽ đặc tính ngoài của máy phát khi $I_{k1} = \text{const}$ ($E_o = \text{const}$) và $\cos \varphi_t$ không đổi, ứng với các hệ số công suất khác nhau. Khi tải có tính chất 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 điện áp U bằng định mức, phải thay đổi E_o bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Đường đặc tính ngoài ứng với điều chỉnh kích từ vẽ trên hình 8-7b.

Độ biến thiên điện áp đầu cực của máy phát khi làm việc định mức so với khi không tải xác định như sau :

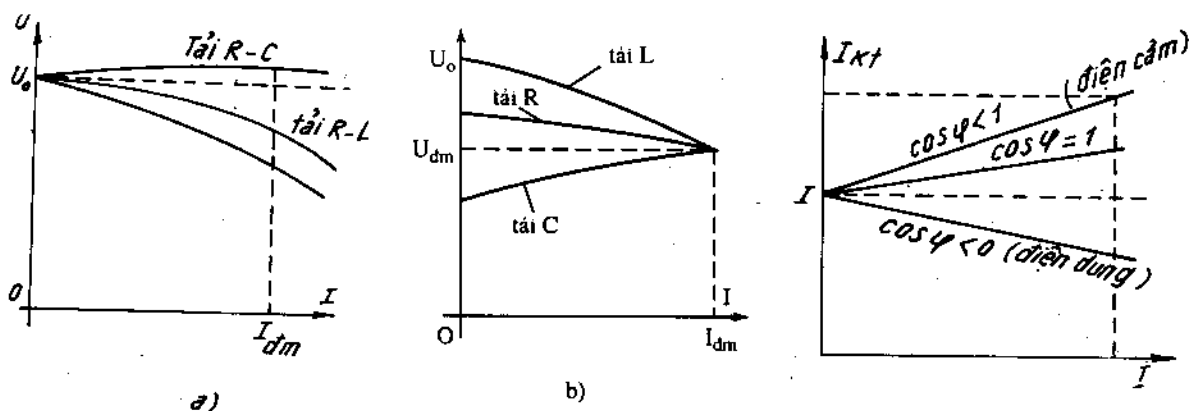
$$\Delta U\% = \frac{U_o - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% = \frac{E_o - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% \quad (8-14)$$

Độ biến thiên điện áp $\Delta U\%$ của máy phát đồng bộ có thể đạt đến vài chục phần trăm vì điện kháng đồng bộ X_{db} khá lớn.

2. Đặc tính điều chỉnh

Đường đặc tính điều chỉnh là quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng điện tải khi điện áp U không đổi bằng định mức. Hình 8-7c vẽ đặc tính điều chỉnh của máy phát đồng bộ với các hệ số công suất khác nhau.

Phần lớn các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ giữ cho điện áp không đổi.



Hình 8-7

§8-8 SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA CÁC MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau ; tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn so với công suất mỗi máy riêng rẽ, do đó điện áp cũng như tần số của lưới có thể giữ không đổi, khi thay đổi tải.

Để các máy làm việc song song, phải đảm bảo các điều kiện sau :

1. Điện áp của máy phát phải bằng điện áp của lưới điện và trùng pha nhau.
2. Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện.
3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy qua trong máy, phá hỏng máy và gây rối loạn hệ thống điện.

Để đóng máy phát điện vào lưới ta dùng thiết bị hòa đồng bộ.

Đối với máy phát điện công suất nhỏ, có thể đóng vào lưới bằng phương pháp tự đồng bộ như sau : dây quấn kích từ không đóng vào nguồn điện kích từ, mà khép mạch qua điện trở phóng điện, để tránh xuất hiện điện áp cao, phá hỏng dây quấn kích từ. Quay rôto đến gần tốc độ đồng bộ, sau đó đóng máy phát vào lưới và cuối cùng sẽ đóng dây quấn kích từ vào nguồn điện kích từ, máy sẽ làm việc đồng bộ.

§8-9. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của động cơ điện đồng bộ giống như của máy phát điện đồng bộ (xem §8-2).

1. Nguyên lí làm việc, phương trình cân bằng điện áp và đồ thị vectơ

Nguyên lí làm việc của động cơ điện đồng bộ như sau :

Khi ta cho dòng điện ba pha i_A, i_B, i_C vào ba dây quấn xtato, tương tự như động cơ điện không đồng bộ, dòng điện ba pha ở xtato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ $n_1 = \frac{60f}{p}$. Ta hình dung từ trường quay xtato như một nam châm quay tương tự, vẽ bằng nét đứt trên hình 8-8. Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto, rôto biến thành một nam châm điện.

Tác dụng tương hỗ giữa từ trường xtato và từ trường rôto sẽ có lực tác dụng lên rôto. Khi từ trường xtato quay với tốc độ n_1 , lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto quay với tốc độ $n = n_1$. Ví dụ nếu tần số $f = 50$ Hz, và số đôi cực $p = 1$, tốc độ rôto là $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3.000$ v/ph

Nếu trục của rôto nối với một máy nào đó, thì động cơ điện sẽ kéo máy quay với tốc độ n không đổi.

Sơ đồ thay thế động cơ điện đồng bộ như hình 8-9a

Phương trình cân bằng điện áp là :

$$\vec{U} = \vec{E}_o + \vec{IR} + j\vec{IX}_{db} \quad (8-15)$$

Khi bỏ qua điện trở dây quấn xtato R ta có :

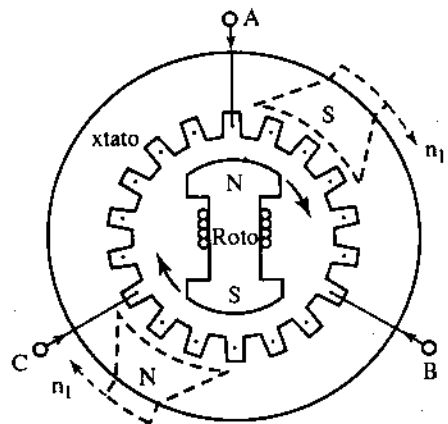
$$\vec{U} = \vec{E}_o + j\vec{IX}_{db} \quad (8-16)$$

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 8 - 9b.

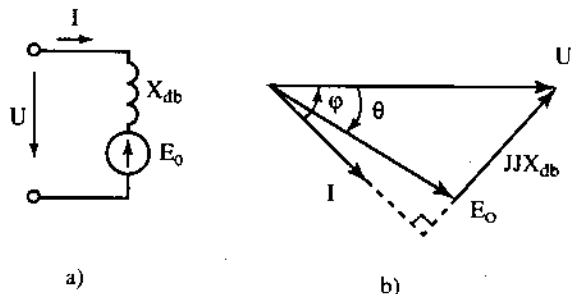
2. Điều chỉnh hệ số công suất $\cos\varphi$ của động cơ điện đồng bộ.

Trên hình 8 - 9b vẽ đồ thị vectơ ứng với trường hợp thiếu kích từ, dòng điện $\vec{I}$ chậm pha sau điện áp $\vec{U}$. Khi sử dụng người ta không để động cơ làm việc ở chế độ này, vì động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện làm cho hệ số công suất lưới điện giảm xuống. Trong công nghiệp, người ta cho làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện $\vec{I}$ vượt trước pha điện áp $\vec{U}$, động cơ vừa tạo ra cơ năng, đồng thời phát ra công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện. Đó là ưu điểm rất lớn của động cơ đồng bộ.

Để thấy rõ sự điều chỉnh $\cos\varphi$, trên hình 8 - 10, vẽ đồ thị vectơ của động cơ đồng bộ cho 2 trường hợp :



Hình 8-8



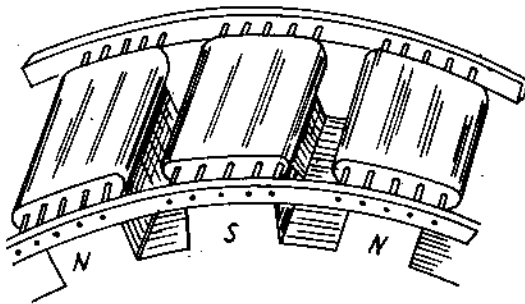
Hình 8-9

Khi $\cos\varphi = 1$ ứng với $\vec{E}$, $\vec{I}$ và khi quá kích từ $\cos\varphi' = 0,9$ (vượt trước) ứng với $\vec{E}'$, $\vec{I}'$.

Vì U , f , p không đổi, nên $I\cos\varphi = \text{const}$, $E_0\sin\theta = \text{const}$, khi vẽ cần lưu ý, cuối vectơ $\vec{I}$ và $\vec{E}$ chạy trên đường Δ và Δ' .

3. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Khi dòng điện vào dây quấn xtato sẽ tạo nên từ trường quay, kéo rôto quay như hình 8-8. Rôto có quán tính lớn nên vẫn đứng yên, do đó lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay xtato và từ trường cực từ thay đổi chiều trong một chu kì, rôto không thể quay được. Muốn động cơ làm việc, phải tạo nên mômen mở máy để quay rôto đồng bộ với từ trường quay xtato, giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều.



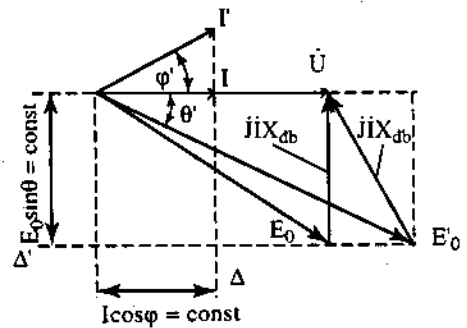
Hình 8-11

Dây quấn mở máy của rôto động cơ đồng bộ

quấn kích từ. Khi rôto đã quay đến tốc độ gần bằng tốc độ đồng bộ n_1 , đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ.

Với động cơ công suất nhỏ, khi mở máy có thể đóng trực tiếp dây quấn xtato vào lưới điện. Với động cơ công suất lớn khoảng $3 + 5$ MW, phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào xtato, thường người ta dùng điện kháng hay máy tự biến áp nối vào mạch xtato.

Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ điện không đồng bộ.



Hình 8-10

Để tạo nên mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôto, người ta đặt các thanh dẫn, được nối ngắn mạch như lông sóc ở động cơ không đồng bộ (hình 8-11).

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở rôto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ. Người ta chế tạo các động cơ, có hệ số mở máy $M_{mở}/M_{dm}$ từ $0,8 + 1,0$.

Trong quá trình mở máy ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng $6 + 10$ lần điện trở dây

§8-10. CÁC MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ CÓ CẤU TẠO ĐẶC BIỆT

Ngoài máy phát và động cơ điện ba pha, ta còn gặp máy phát điện đồng bộ một pha (dùng cung cấp điện cho các tải công suất nhỏ, lưu động) và động cơ đồng bộ một pha, dùng trong hệ tự động và thiết bị điện sinh hoạt. Ngoài máy có dây quấn kích từ, ta còn gặp các máy rôto là nam châm vĩnh cửu hoặc rôto cực lõi không nam châm (động cơ phản kháng). Các loại này thường có công suất nhỏ.

Chương 9

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ngày nay mặc dù dòng điện xoay chiều được sử dụng rất rộng rãi, song máy điện một chiều vẫn tồn tại, đặc biệt là động cơ một chiều.

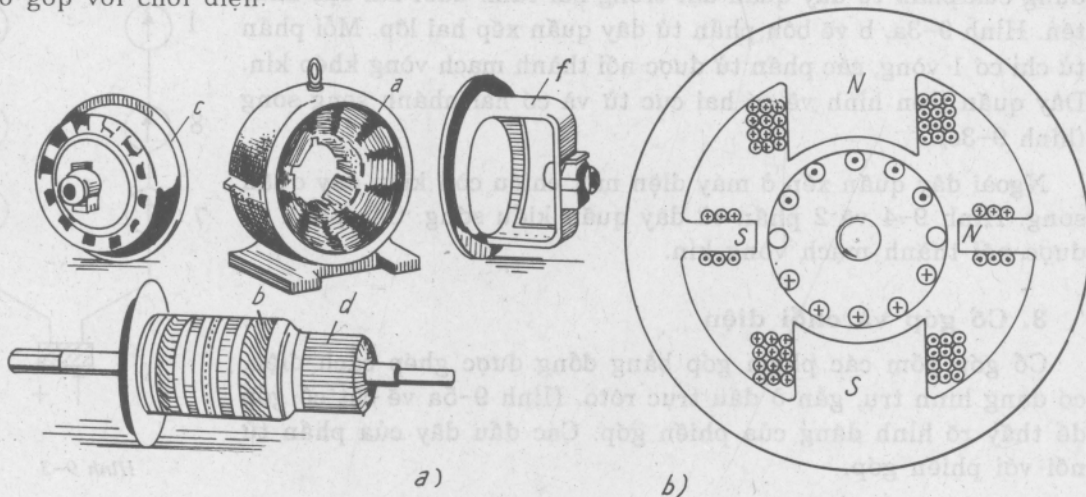
Trong công nghiệp, động cơ điện một chiều được sử dụng ở những nơi yêu cầu mômen mở máy lớn hoặc yêu cầu điều chỉnh tốc độ bằng phẳng và phạm vi rộng.

Trong các thiết bị tự động, người ta thấy các máy điện khuếch đại, các động cơ chấp hành cũng là máy điện một chiều. Ngoài ra, các máy điện một chiều còn thấy trong các thiết bị điện ô tô, tàu thủy, máy bay, các máy phát điện một chiều điện áp thấp dùng trong các thiết bị điện hóa, thiết bị hàn điện có chất lượng cao.

Thiếu sót chủ yếu của máy điện một chiều là có cấu tạo phức tạp, đắt tiền và kém tin cậy, nguy hiểm trong môi trường dễ nổ. Khi sử dụng động cơ một chiều, cần phải có nguồn điện một chiều kèm theo (bộ chỉnh lưu hay máy phát điện một chiều).

§9-1. CẤU TẠO MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

Những phần chính của máy điện một chiều gồm xtato với cực từ, rôto với dây quấn và cổ góp với chổi điện.



Hình 9-1

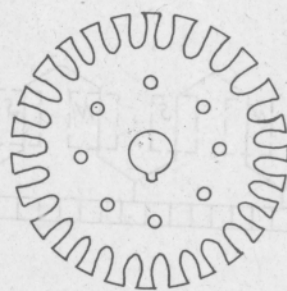
Trên hình 9-1a vẽ xtato (a), rôto (b), nắp (c, f), cổ góp (d). Trên hình 9-1b vẽ mặt cắt ngang trục.

1. Xtato

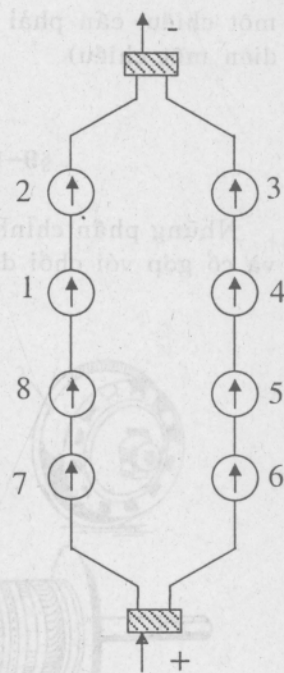
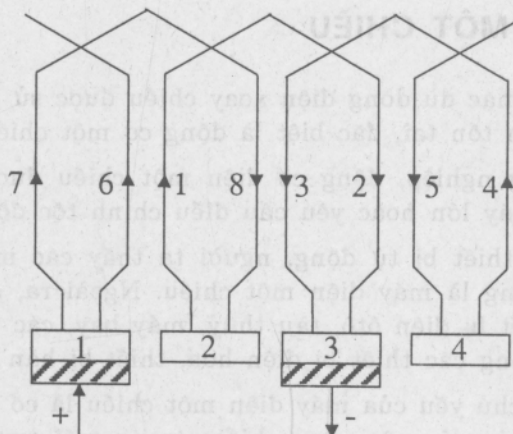
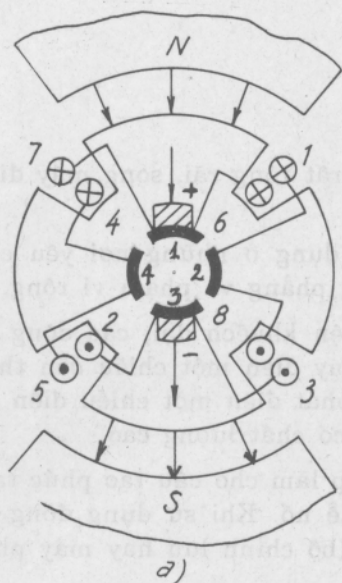
Xtato còn gọi là phần cảm, gồm lõi thép bằng thép đúc, là mạch từ vừa là vỏ máy. Các cực từ chính có dây quấn kích từ hình 9-1.

2. Rôto

Rôto của máy điện một chiều được gọi là phần ứng, gồm lõi thép và dây quấn phần ứng. Lõi thép hình trụ, làm bằng



Hình 9-2



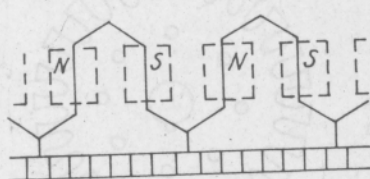
các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5mm, phủ sơn cách điện, ghép lại. Các lá thép được dập có lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn phần ứng (hình 9-2). Mỗi phần tử của dây quấn phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu nối với hai phiến góp, hai cạnh tác dụng của phần tử dây quấn đặt trong hai rãnh dưới hai cực khác tên. Hình 9-3a, b vẽ bốn phần tử dây quấn xếp hai lớp. Mỗi phần tử chỉ có 1 vòng, các phần tử được nối thành mạch vòng khép kín. Dây quấn trên hình vẽ có hai cực từ và có hai nhánh song song (hình 9-3c).

Ngoài dây quấn xếp ở máy điện một chiều còn kiểu dây quấn sóng. Hình 9-4 vẽ 2 phần tử dây quấn kiểu sóng. Các phần tử được nối thành mạch vòng khép kín.

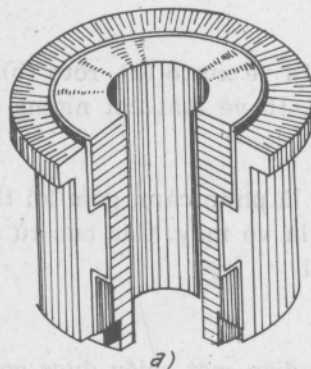
3. Cổ góp và chổi điện

Cổ góp gồm các phiến góp bằng đồng được ghép cách điện, có dạng hình trụ, gắn ở đầu trục rôto. Hình 9-5a vẽ cắt cổ góp để thấy rõ hình dáng của phiến góp. Các đầu dây của phần tử nối với phiến góp.

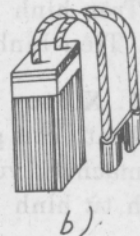
Hình 9-3



Hình 9-4



a)



b)

Hình 9-5

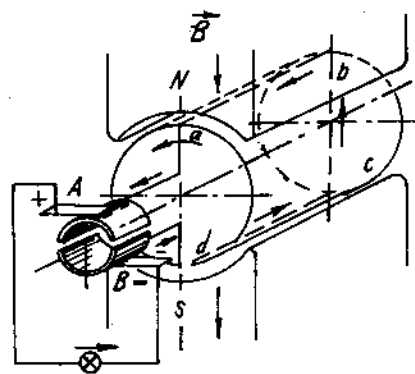
Chổi điện (chổi than) làm bằng than graphit hình 9-5b. Các chổi tỳ chặt lên cổ góp nhờ lò xo và giá chổi điện gắn trên nắp máy.

§9-2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

1. Nguyên lý làm việc và phương trình cân bằng điện áp máy phát điện một chiều

Hình 9-6 mô tả nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều, trong đó dây quấn phần ứng chỉ có một phần tử nối với hai phiến đổi chiều.

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sđđ xác định theo quy tắc bàn tay phải. Như hình 9-6, từ trường hướng từ cực N đến S (từ trên xuống dưới), chiều quay phần ứng ngược chiều kim đồng hồ, ở thanh dẫn phía trên, sđđ có chiều từ b đến a. Ở thanh dẫn phía dưới, chiều sđđ từ d đến c. sđđ của phần tử bằng hai lần sđđ của thanh dẫn. Nếu nối hai chổi điện A và B với tải, trên tải sẽ có dòng điện, điện áp của máy phát điện có cực dương ở chổi A và âm ở chổi B.



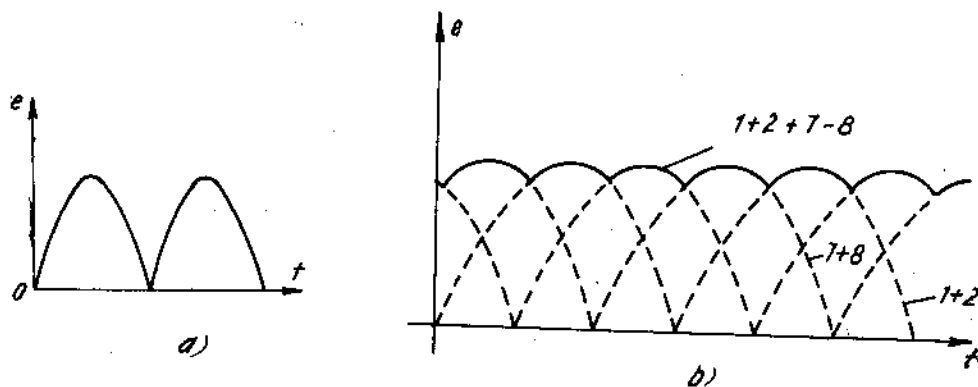
Hình 9-6

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh ab ở cực S, thanh dc ở cực N, sđđ trong thanh dẫn đổi chiều. Nhờ có chổi điện đứng yên chổi điện A vẫn nối với phiến góp phía trên, chổi B nối với phiến góp phía dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi. Ta có máy phát điện một chiều với cực dương ở chổi A, cực âm ở chổi B.

Nếu máy chỉ có một phần tử, điện áp đầu cực như hình 9-7a; Để điện áp lớn và ít đập mạch (hình 9-7b), dây quấn 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 là :

$$U = E_u - R_u I_u \quad (9-1)$$



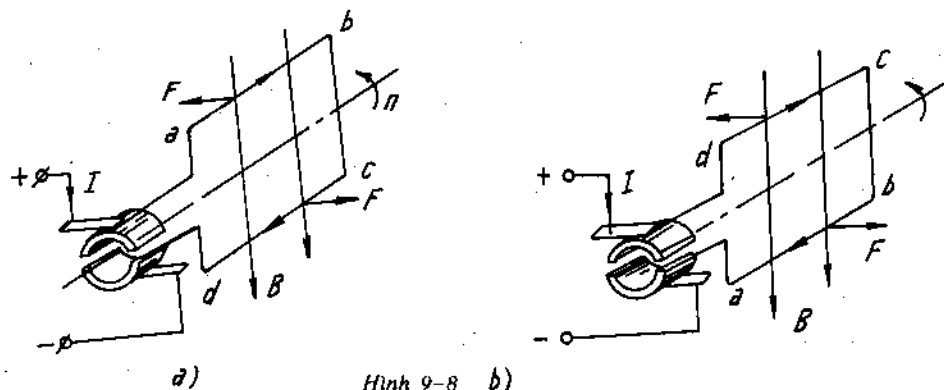
Hình 9-7

trong đó $R_u I_u$ 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 máy.

E_u là sức điện động phần ứng.

2. Nguyên lý làm việc và phương trình cân bằng điện áp của động cơ điện một chiều

Hình 9-8 mô tả nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều. Khi cho điện áp một chiều U vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện. Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện nằm trong từ trường, sẽ chịu lực tác dụng làm cho rôto quay. Chiều lực xác định theo quy tắc bàn tay trái, hình 9-8a.



Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi chỗ nhau, do có phiến góp, đổi chiều dòng điện, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi, hình 9-8b.

Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường, sẽ cảm ứng sđđ E_u . Chiều sđđ xác định theo quy tắc bàn tay phải. Ở động cơ, chiều sđđ E_u ngược chiều với dòng điện I_u , nên E_u còn được gọi là sức phản điện.

Phương trình cân bằng điện áp sẽ là :

$$U = E_u + R_u I_u \quad (9-2)$$

§9-3. TỪ TRƯỜNG VÀ SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

1. Từ trường của máy điện một chiều

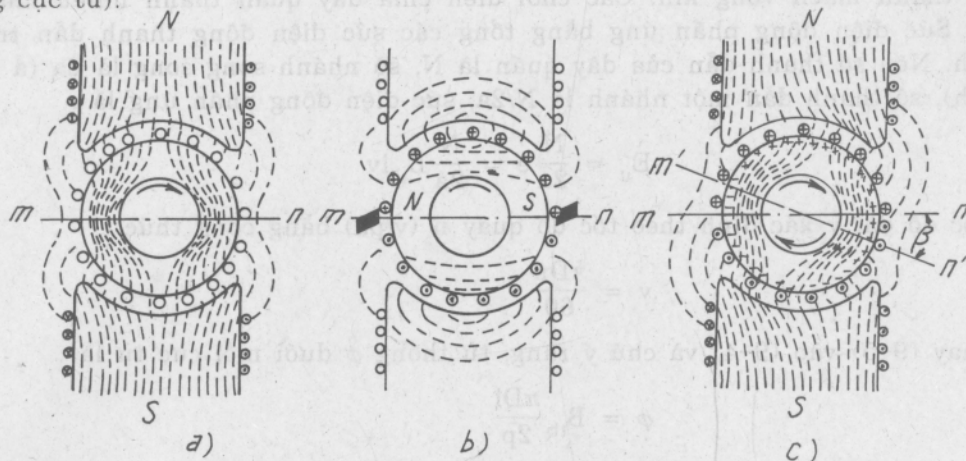
Khi máy điện một chiều không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là từ trường cực từ. Trên hình 9-9a vẽ từ trường cực từ. Từ trường cực từ phân bố đối xứng, ở đường trung tính hình học mn, cường độ từ cảm $B = 0$, thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sđđ.

Khi máy điện có tải, dòng điện I_u trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường phản ứng (hình 9-9b).

Từ trường phản ứng hướng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng, từ trường trong máy là từ trường tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phản ứng (hình 9-9c). Trên hình (9-9c) vẽ từ trường tổng hợp. Ở một móm cực, từ trường được tăng cường (ở đó từ trường phản ứng trùng chiều với từ trường cực từ), trong

khi đó ở mòm cực kia, từ trường bị yếu đi (ở đó từ trường phản ứng ngược chiều với từ trường cực từ).



Hình 9-9

Hậu quả của phản ứng phản ứng là :

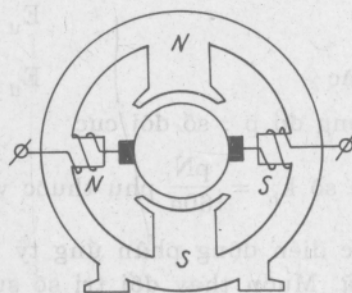
a) Từ trường trong máy bị biến dạng. Điểm có từ cảm $B = 0$ dịch chuyển từ trung tính hình học mn đến vị trí mới gọi là trung tính vật lý m'n'. Góc lệch β thường nhỏ và lệch theo chiều quay rôto khi là máy phát điện, và ngược chiều quay rôto khi là động cơ điện. Ở vị trí trung tính hình học, từ cảm $B \neq 0$, thanh dẫn chuyển động qua đó sẽ cảm ứng sđđ, gây ảnh hưởng xấu đến việc đổi chiều (sẽ xét ở tiết §9.5).

b) Khi tải lớn, dòng điện phản ứng lớn, từ trường phản ứng lớn, phần mòm cực từ trường được tăng cường bị bão hòa, từ cảm B ở đó tăng lên được rất ít, trong khi đó, mòm cực kia từ trường giảm đi nhiều, kết quả là từ thông ϕ của máy bị giảm xuống. Từ thông ϕ giảm kéo theo sức điện động phản ứng E_2 giảm, làm cho điện áp đầu cực máy phát U giảm. Ở chế độ động cơ, từ thông giảm, làm cho mômen quay giảm, và tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục hậu quả trên, người ta dùng cực từ phụ và dây quấn bù.

Từ trường của cực từ phụ và dây quấn bù ngược với từ trường phản ứng.

Để kịp thời khắc phục từ trường phản ứng khi tải thay đổi, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù đấu nối tiếp với mạch phản ứng (hình 9-10).



Hình 9-10

2. Sức điện động phản ứng

a) Sức điện động thanh dẫn. Khi quay rôto, các thanh dẫn của dây quấn phản ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động là :

$$e = B_{tb}lv \quad (9-3)$$

trong đó : B_{tb} cường độ từ cảm trung bình dưới cực từ
 v tốc độ dài của thanh dẫn.

l chiều dài hiệu dụng thanh dẫn.

b) *Sức điện động phần ứng* E_u . Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Sức điện động phần ứng bằng tổng các sức điện động thành phần dẫn trong một nhánh. Nếu số thanh dẫn của dây quấn là N , số nhánh song song là $2a$ (a là số đôi nhánh), số thanh dẫn một nhánh là $N/2a$, sức điện động phần ứng là :

$$E_u = \frac{N}{2a} e = \frac{N}{2a} B_{tb} l v \quad (9-4)$$

Tốc độ dài v xác định theo tốc độ quay n (v/ph) bằng công thức

$$v = \frac{\pi D n}{60} \quad (9-5)$$

Thay (9-5) vào (9-4) và chú ý rằng, từ thông ϕ dưới mỗi cực từ là :

$$\phi = B_{tb} \frac{\pi D l}{2p} \quad (9-6)$$

cuối cùng ta có :

$$E_u = \frac{pN}{60a} n \phi \quad (9-7a)$$

hoặc

$$E_u = k_E n \phi \quad (9-7b)$$

trong đó p : số đôi cực

Hệ số $k_E = \frac{pN}{60a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn phần ứng.

Sức điện động phần ứng tỷ lệ với tốc độ quay phần ứng và từ thông ϕ dưới mỗi cực từ. Muốn thay đổi trị số sức điện động, ta có thể điều chỉnh tốc độ quay, hoặc điều chỉnh từ thông, bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn đổi chiều sức điện động ta đổi chiều quay, hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

§9-4. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ. MÔMEN ĐIỆN TỪ CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Công suất điện từ của máy điện một chiều

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (9-8)$$

Thay giá trị E_u trong (9-7a) vào (9-8) ta có :

$$P_{dt} = \frac{pN}{60a} n \phi I_u \quad (9-9)$$

Mômen điện từ là :

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_r} \quad (9-10)$$

ω_r là tần số góc quay của rôto, được tính theo tốc độ quay n (v/ph) bằng biểu thức :

$$\omega_r = \frac{2\pi n}{60} \quad (9-11)$$

Thay (9-11) vào (9-10), cuối cùng ta có biểu thức của mômen điện từ là :

$$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \phi \quad (9-12a)$$

hoặc $M_{dt} = k_M I_u \phi \quad (9-12b)$

trong đó hệ số $k_M = \frac{pN}{2\pi a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn.

Mômen điện từ tỷ lệ với dòng điện phản ứng I_u và từ thông ϕ . Muốn thay đổi mômen điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phản ứng I_u hoặc thay đổi dòng điện kích từ I_{kt} . Muốn đổi chiều mômen điện từ phải đổi chiều hoặc dòng điện phản ứng hoặc dòng điện kích từ.

§9-5. TIA LỬA ĐIỆN TRÊN CỔ GÓP VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC

Khi máy điện làm việc, quá trình đổi chiều thường gây ra tia lửa giữa chổi điện và cổ góp. Tia lửa lớn có thể gây nên vành lửa xung quanh cổ góp, phá hỏng chổi điện và cổ góp, gây tổn hao năng lượng, ảnh hưởng xấu đến môi trường và gây nhiễu đến sự làm việc của các thiết bị điện tử. Sự phát sinh tia lửa trên cổ góp do các nguyên nhân sau :

1. Nguyên nhân cơ khí

Sự tiếp xúc giữa cổ góp và chổi điện không tốt, do cổ góp không tròn, không nhẵn, chổi than không đủ đúng quy cách, rung động của chổi than do cố định không tốt hoặc lực lò xo không đủ để tỳ sát chổi điện vào cổ góp.

2. Nguyên nhân điện từ

Khi rôto quay liên tiếp có phần tử chuyển từ mạch nhánh này sang mạch nhánh khác. Ta gọi các phần tử ấy là phần tử đổi chiều. Trong phần tử đổi chiều xuất hiện các sức điện động sau :

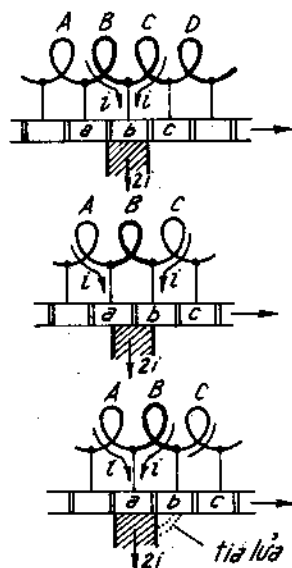
a) Sức điện động tự cảm e_L , do sự biến thiên dòng điện trong phần tử đổi chiều.

b) Sức điện động hồ cảm e_m , do sự biến thiên dòng điện của các phần tử đổi chiều khác lân cận.

c) Sức điện động e_q do từ trường của phần ứng gây ra.

Ở thời điểm chổi điện ngắn mạch phần tử đổi chiều (hình 9-11), các sức điện động trên sinh ra dòng điện i chạy quanh trong phần tử ấy, tích lũy năng lượng và phóng ra dưới dạng tia lửa khi vành góp chuyển động.

Để khắc phục tia lửa, ngoài việc loại trừ nguyên nhân cơ khí ta phải tìm cách giảm trị số các sức điện động trên và dùng cực từ phụ và dây quấn bù để tạo nên trong phần tử đổi chiều các sức điện động nhằm bù (triệt tiêu) tổng 3 sức điện động e_L , e_m và e_q . Từ trường của dây quấn bù và cực từ phụ phải ngược chiều với từ trường phần ứng. Đối với máy công suất nhỏ, người ta không dùng cực từ phụ mà đôi khi chuyển chổi than đến trung tính vật lý.



Hình 9-11

§9-6. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

1. Phân loại máy điện một chiều

Dựa vào phương pháp cung cấp dòng điện kích từ, người ta chia máy điện một chiều ra các loại sau :

a) *Máy điện một chiều kích từ độc lập.* Dòng điện kích từ của máy lấy từ nguồn điện khác không liên hệ với phần ứng của máy (hình 9-12a).

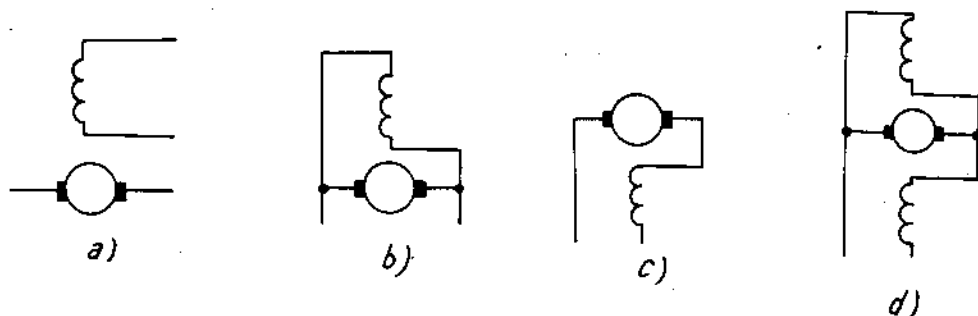
b) *Máy điện một chiều kích từ song song.* Dây quấn kích từ nối song song với mạch phần ứng (hình 9-12b).

c) *Máy điện một chiều kích từ nối tiếp.* Dây quấn kích từ mắc nối tiếp với mạch phần ứng (hình 9-12c).

d) *Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp.* Gồm 2 dây quấn kích từ : dây quấn kích từ song song và dây quấn kích từ nối tiếp, trong đó dây quấn kích từ song song thường là chủ yếu (hình 9-12d).

2. Máy phát điện một chiều kích từ độc lập

Sơ đồ máy phát điện kích từ độc lập vẽ trên hình 9-13a ; dòng điện phần ứng I_u



Hình 9-12

bằng dòng điện tải I .

Phương trình dòng điện là :

$$I_u = I \quad (9-13a)$$

Phương trình cân bằng điện áp là :

$$U = E_u - R_u I \quad (9-13b)$$

Mạch phần ứng :

$$U_{Kt} = I_{Kt} (R_{Kt} + R_{dc}) \quad (9-13c)$$

Mạch kích từ :

trong đó R_u là điện trở dây quấn phần ứng.

R_{Kt} là điện trở dây quấn kích từ

R_{dc} điện trở điều chỉnh

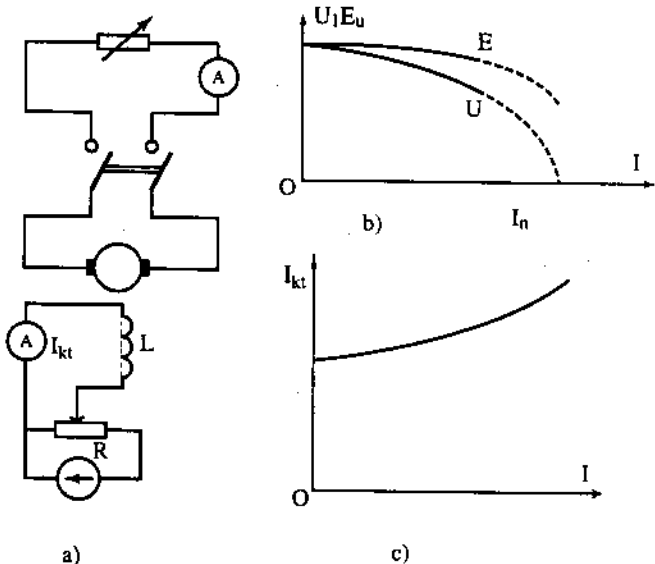
Khi dòng điện tải I tăng, dòng điện phần ứng tăng, điện áp U giảm xuống do 2 nguyên nhân sau :

- Tác dụng của từ trường phần ứng làm cho từ thông ϕ giảm, kéo theo sức điện động E_u giảm.

- Điện áp rơi trong mạch phản ứng $R_U I_U$ tăng.

Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi tốc độ và dòng điện kích từ không đổi, vẽ trên hình 9-13b. Khi tải tăng điện áp giảm, độ giảm điện áp khoảng $8 \div 10\%$ điện áp khi không tải.

Để giữ cho điện áp máy phát không đổi, phải tăng dòng điện kích từ. Đường đặc tính điều chỉnh $I_{kt} = f(I)$, khi giữ điện áp và tốc độ không đổi vẽ trên hình 9-13c.



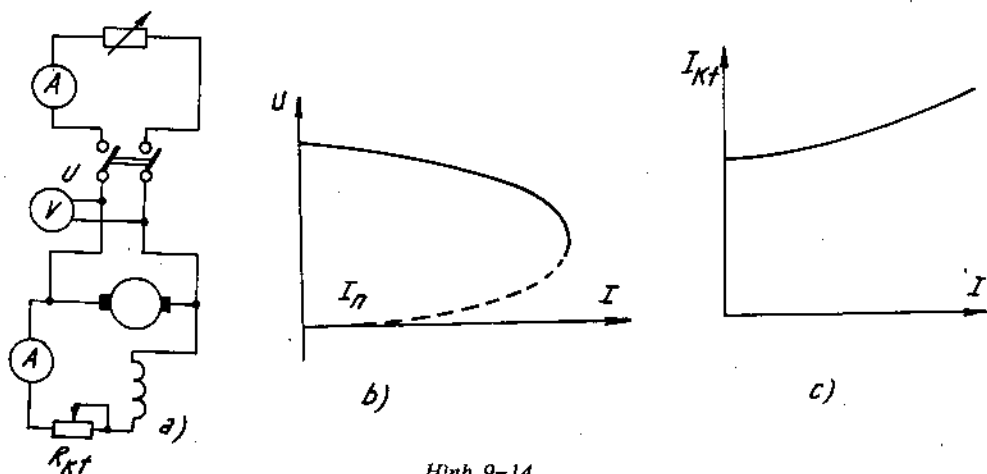
Hình 9-13

Máy phát kích từ độc lập có ưu điểm về điều chỉnh điện áp, thường gặp 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... song có nhược điểm là cần có nguồn điện kích từ riêng.

3. Máy phát điện kích từ song song

Sơ đồ máy phát điện kích từ song song vẽ trên hình 9-14a. Để thành lập điện áp cần thực hiện một quá trình tự kích từ.

Lúc đầu, máy không có dòng điện kích từ, từ thông trong máy do từ dư của cực



Hình 9-14

từ tạo ra, bằng khoảng $2 \div 3\%$ từ thông định mức. Khi quay phần ứng, trong dây quấn phần ứng sẽ có sức điện động cảm ứng do từ thông dư sinh ra. Sức điện động này khép mạch qua dây quấn kích từ (điện trở mạch kích từ ở vị trí nhỏ nhất), sinh ra dòng điện kích từ, làm tăng từ trường cho máy. Quá trình tiếp tục cho đến khi đạt điện áp ổn định. Để máy có thể thành lập điện áp, cần thiết phải có từ dư và

chiều từ trường dây quấn kích từ phải cùng chiều từ trường dư. Nếu không còn từ dư, ta phải mới 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 :

$$\text{Mạch phần ứng : } U = E_u - R_u I_u \quad (9-14a)$$

$$\text{Mạch kích từ : } U = I_{Kt}(R_{Kt} + R_{dc}) \quad (9-14b)$$

Phương trình dòng điện :

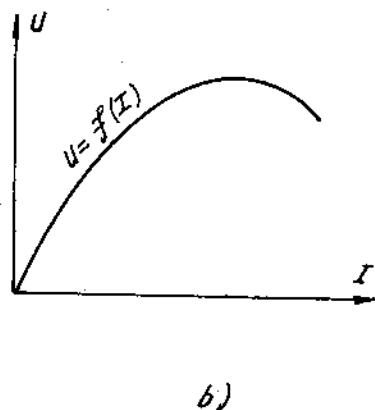
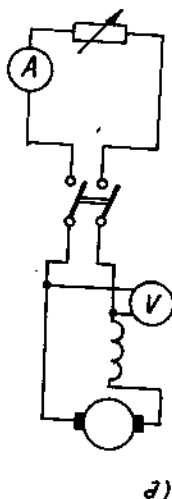
$$I_u = I + I_{Kt} \quad (9-14c)$$

Khi dòng điện tải tăng, dòng điện phần ứng tăng, ngoài 2 nguyên nhân làm điện áp U đầu cực giảm, như máy phát điện kích từ độc lập, ở máy kích từ song song, còn thêm một nguyên nhân nữa là khi U giảm, làm cho dòng điện kích từ giảm, từ thông và sức điện động càng giảm, chính vì thế đường đặc tính ngoài dốc hơn so với máy kích từ độc lập và có dạng như hình 9-14b. Từ đường đặc tính ta thấy, khi ngắn mạch, điện áp $U = 0$, dòng kích từ bằng không, sức điện động trong máy chỉ do từ dư sinh ra vì thế dòng điện ngắn mạch I_n nhỏ so với dòng điện định mức.

Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh $I_{Kt} = f(I)$, khi U , n không đổi vẽ trên hình 9-14c.

4. Máy phát điện kích từ nối tiếp

Sơ đồ nối dây như hình 9-15a - Dòng điện kích từ là dòng điện 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. Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ vẽ trên hình 9-15b. Dạng đường đặc tính ngoài được giải thích như sau : Khi tải tăng, dòng điện I_u tăng, từ thông Φ và E_u tăng, do đó U tăng, khi $I = (2 + 2,5)I_{dm}$, máy bão hòa, thì I tăng U sẽ giảm.



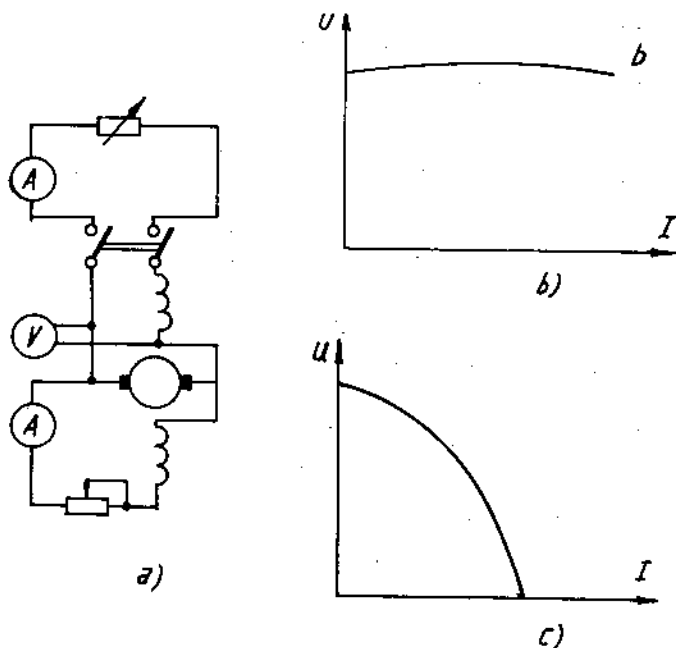
Hình 9-15

5. Máy phát điện kích từ hỗn hợp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 9-16a.

Khi nối thuận, từ thông của dây quấn kích từ nối tiếp cùng chiều với từ thông của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng, từ thông cuộn nối tiếp tăng làm cho từ thông của máy tăng lên, sức điện động của máy tăng, điện áp đầu cực của máy được giữ hầu như không đổi. Đây là ưu điểm rất lớn của máy phát điện kích từ hỗn hợp. Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ vẽ trên hình 9-16b.

Khi nối ngược chiều từ trường của dây quấn kích từ nối tiếp ngược với chiều từ trường của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng, điện áp giảm rất nhiều. Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ vẽ trên hình 6-16c. Đường đặc tính ngoài dốc, nên được sử dụng làm máy hàn điện một chiều.



Hình 9-16

§9-7. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dựa vào phương pháp kích từ, việc phân loại động cơ điện một chiều, giống như đã xét đối với máy phát một chiều.

Theo công thức (9-7a), sức điện động của động cơ điện một chiều là :

$$E_u = \frac{pN}{60a} n\phi \quad (9-15)$$

Đối với động cơ, dòng điện I_u ngược chiều với sức điện động, nên E_u còn gọi là sức phản điện.

Mômen điện từ của động cơ tính theo công thức (9-12a).

$$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \phi \quad (9-16)$$

Đối với động cơ, mômen điện từ là mômen quay, cùng chiều với tốc độ quay n .

1. Mở máy động cơ điện một chiều

Phương trình cân bằng điện áp ở mạch phản ứng là :

$$U = E_u + R_u I_u \quad (9-17a)$$

từ đó rút ra :

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \quad (9-17b)$$

Khi mở máy, tốc độ $n = 0$, sức phản điện $E_u = k_E n \phi = 0$, dòng điện phản ứng lúc mở máy là :

$$I_{u \text{ mở}} = \frac{U}{R_u} \quad (9-18)$$

Vì điện trở R_u rất nhỏ, cho nên dòng điện phản ứng lúc mở máy rất lớn khoảng $(20 + 30)I_{dm}$, làm hỏng cổ góp và chổi than. Dòng điện phản ứng lớn kéo theo dòng điện mở máy $I_{mở}$ lớn, làm ảnh hưởng đến lưới điện.

Để giảm dòng điện mở máy, đặt $I_{mở} = (1,5 \div 2)I_{dm}$, ta dùng các biện pháp sau :

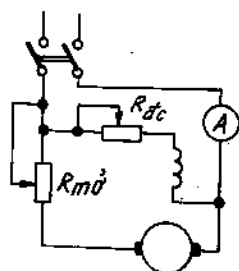
a) Dùng biến trở mở máy $R_{mở}$. Mắc biến trở mở máy vào mạch phần ứng (hình 9-17). Dòng điện mở máy phần ứng lúc có biến trở mở máy là :

$$I_{u\text{ mở}} = \frac{U}{R_u + R_{mở}} \quad (9-19)$$

Lúc đầu để biến trở $R_{mở}$ lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, sức điện động E_u tăng và điện trở mở máy giảm dần đến không, máy làm việc đúng điện áp định mức.

b) Giảm điện áp đặt vào phần ứng. Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể điều chỉnh điện áp, ví dụ trong hệ thống máy phát - động cơ, hoặc nguồn một chiều chỉnh lưu.

Cần chú ý rằng để mômen mở máy lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất, vì thế các thông số mạch kích từ phải điều chỉnh sao cho dòng điện kích từ lúc mở máy lớn nhất.



Hình 9-17

2. Điều chỉnh tốc độ

Từ phương trình (9-17a) rút ra.

$$E_u = U - R_u I_u$$

Thay trị số $E_u = k_E n \Phi$, ta có phương trình tốc độ là :

$$n = \frac{U - R_u I_u}{k_E \Phi} \quad (9-20)$$

Nhìn vào phương trình (9-20), một cách tổng quát, thấy rằng muốn điều chỉnh tốc độ, ta có các phương pháp sau :

a) Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phần ứng. Khi thêm điện trở vào mạch phần ứng, tốc độ giảm. Vì rằng dòng điện phần ứng lớn, nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ.

b) Thay đổi điện áp U . Dùng nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp cung cấp điện cho động cơ. Phương pháp này được sử dụng nhiều.

c) Thay đổi từ thông. Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng điện kích từ. Khi điều chỉnh tốc độ, ta kết hợp các phương pháp.

Ví dụ 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.

Dưới đây ta sẽ xét cụ thể các loại động cơ một chiều.

3. Động cơ điện kích từ song song

Sơ đồ nối dây như hình (9-18a), trong đó đã vẽ chiều dòng điện vào động cơ I , dòng điện phần ứng I_u , và dòng điện kích từ I_{Kt} .

Để mở máy ta dùng biến trở mở máy $R_{mở}$.

Để điều chỉnh tốc độ, thường điều chỉnh R_{dc} để thay đổi I_{Kt} , do đó thay đổi từ thông Φ . Phương pháp này sử dụng rất rộng rãi, song cần chú ý, khi giảm từ thông

Đ, có thể dòng điện phản ứng I_u tăng quá trị số cho phép, vì thế cần có bộ phận bảo vệ, cắt điện không cho động cơ làm việc, khi từ thông giảm quá nhiều.

a) *Đường đặc tính cơ* $n = f(M)$. Đường đặc tính cơ là đường quan hệ giữa tốc độ n và mômen quay M khi điện áp U và điện trở mạch phản ứng và mạch kích từ không đổi.

Từ công thức (9-20) ta có :

$$n = \frac{U}{k_E \phi} - \frac{R_u}{k_E \phi} I_u \quad (9-21)$$

Mặt khác theo biểu thức mômen điện từ $M = k_M I_u \phi$, rút ra

$$I_u = \frac{M}{k_M \phi}, \text{ thay vào biểu thức tốc độ ta có :}$$

$$n = \frac{U}{k_E \phi} - \frac{R_u}{k_E k_M \phi^2} M \quad (9-22a)$$

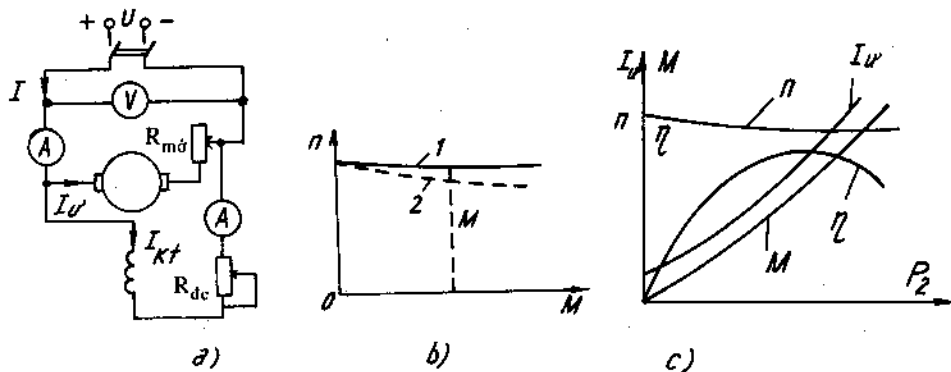
Nếu thêm điện trở R_p vào mạch phản ứng thì ta có phương trình :

$$n = \frac{U}{k_E \phi} - \frac{R_u + R_p}{k_E k_M \phi^2} M \quad (9-22b)$$

Trên hình 9-18b vẽ đường đặc tính cơ, đường 1 là đường đặc tính cơ tự nhiên ($R_p = 0$) ứng với phương trình (9-22a). Đường 2 với $R_p \neq 0$ ứng với phương trình (9-22b).

b) *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 quan hệ giữa tốc độ n , mômen M , dòng điện phản ứng I_u và hiệu suất η theo công suất cơ trên trục P_2 , được vẽ trên hình 9-18c.

Ta có nhận xét, động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng, và tốc độ hầu như không đổi khi công suất trên trục P_2 thay đổi, chúng được dùng nhiều trong các máy cắt kim loại, các máy công cụ v.v... Khi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ, ta dùng động cơ kích từ độc lập.

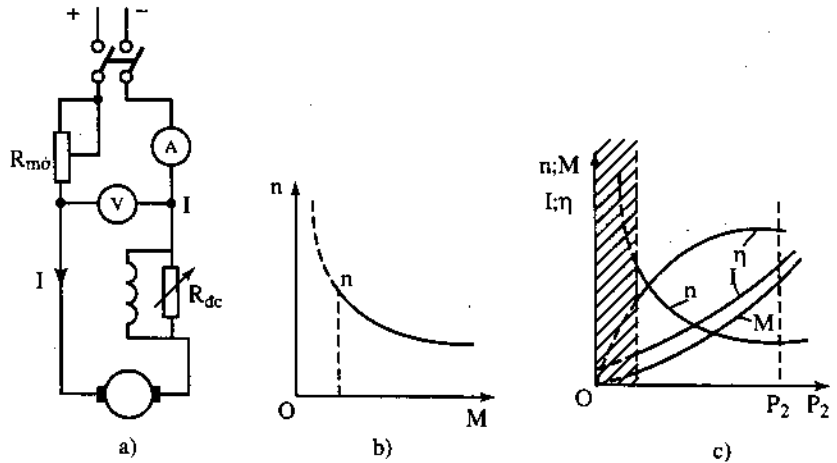


Hình 9-18

4. Động cơ kích từ nối tiếp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 9-19a.

Để mở máy ta dùng biến trở mở máy $R_{mở}$. Để điều chỉnh tốc độ ta có thể dùng các phương pháp đã nói ở mục 2 tiết này, song chú ý rằng, khi điều chỉnh từ thông, ta mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.



Hình 9-19

a) Đường đặc tính cơ $n = f(M)$. Khi máy không bão hòa, dòng điện phản ứng I_u và từ thông ϕ tỷ lệ với nhau, nghĩa là :

$$I_u = k_I \phi \quad (9-23)$$

do đó :

$$M = k_M I_u \phi = k_M k_I \phi^2 = k^2 \phi^2$$

hoặc là :

$$\phi = \frac{\sqrt{M}}{k} \quad (9-24)$$

trong đó

$$k = \sqrt{k_M k_I}$$

Thay biểu thức (9-23) và (9-24) vào (9-20) ta có :

$$n = \frac{kU}{k_E \sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E}$$

Đặt $\frac{k}{k_E} = a$, $\frac{k_I}{k_E} = b$, cuối cùng ta có :

$$n = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u \quad (9-25)$$

Từ biểu thức (9-25) thấy rằng, phương trình đặc tính cơ có dạng hypecbôn (hình 9-19b). 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 rất lớn có thể gây hỏng động cơ về mặt cơ khí, vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp mở máy không tải hoặc tải nhỏ.

b) Đường đặc tính làm việc. Trên hình 9-19c vẽ các đường đặc tính làm việc. Động cơ được phép làm việc với tốc độ n nhỏ hơn tốc độ giới hạn n_{gh} . Đường đặc tính trong vùng làm việc vẽ bằng đường nét liền.

Động cơ kích từ nối tiếp khi chưa bão hòa, mômen quay tỷ lệ với bình phương dòng điện, và tốc độ giảm theo tải, động cơ kích từ nối tiếp thích hợp trong chế độ tải nặng nề, được sử dụng nhiều trong giao thông vận tải hay các thiết bị cấu trúc.

5. Động cơ kích từ hỗn hợp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 9-20a.

Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường 2 dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược (từ trường 2 dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.

Đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (đường 1) sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ của động cơ kích từ song song (đường 2) và nối tiếp (đường 3) (hình 9-20b).

Các động cơ làm việc nặng nề, dây quấn kích từ nối tiếp là dây

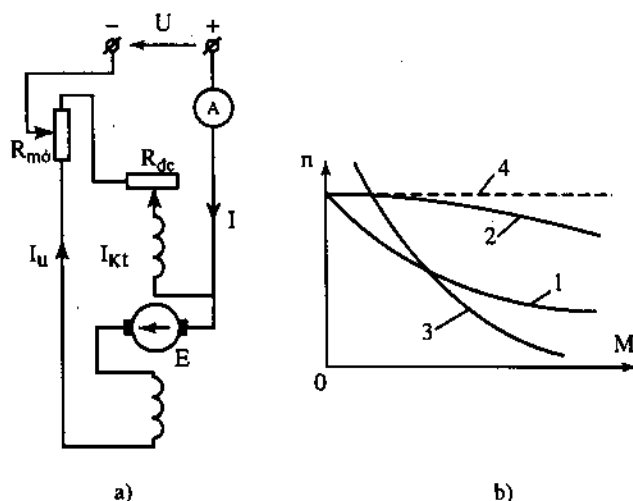
quấn kích từ chính, còn dây quấn kích từ song song là phụ và được nối thuận. Dây quấn kích từ song song bảo đảm tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi mômen nhỏ.

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 hình 9-20b, nghĩa là tốc độ quay hầu như không đổi khi mômen thay đổi. Thật vậy, khi mômen quay tăng, dòng điện phản ứng tăng, dây quấn kích từ song song làm tốc độ giảm một ít, nhưng vì có dây quấn kích từ nối tiếp được nối ngược, làm giảm từ thông trong máy, sẽ tăng tốc độ động cơ lên như cũ. Ngược lại khi nối thuận, sẽ làm cho đặc tính của động cơ mềm hơn, mômen mở máy lớn hơn, thích hợp với máy ép, máy bơm, máy nghiền, máy cán v.v...

6. Động cơ vạn năng

Trong công nghiệp cũng như trong các thiết bị điện sinh hoạt, người ta sử dụng rộng rãi loại động cơ có vành góp dùng được với dòng điện một chiều và cả dòng điện xoay chiều, nên gọi là động cơ vạn năng. Động cơ vạn năng thường có hai cực từ với dây quấn kích từ nối tiếp. Dòng kích từ là dòng phản ứng, nên từ thông và dòng phản ứng sẽ biến thiên đồng thời với nhau, bảo đảm chiều mômen quay động cơ không đổi.

Động cơ vạn năng thích hợp với chế độ làm việc nặng nề, nên nhiều nước sử dụng động cơ này trên đường sắt với lưới điện xoay chiều tần số 50Hz (hoặc 25 hay 16 2/3 Hz).



Hình 9-20

PHẦN III

ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN

Chương 10

ĐO LƯỜNG ĐIỆN

§10-1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN

1. Định nghĩa

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo với đơn vị của đại lượng đo.

Để tiến hành đo lường một đại lượng nào đó ta cần các phương tiện kĩ thuật là các mẫu và dụng cụ đo.

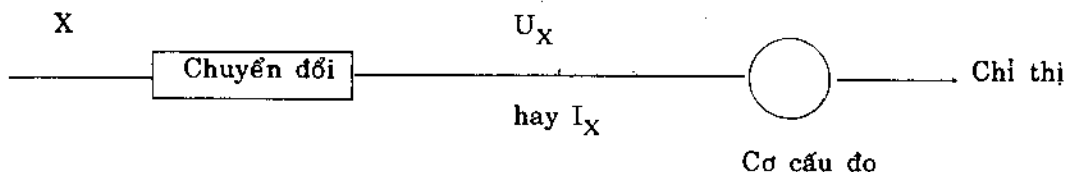
Mẫu đo dùng để tạo ra đại lượng vật lí có trị số cho trước như các điện trở mẫu, điện cảm và điện dung mẫu, pin mẫu.

Các dụng cụ đo dùng để gia công các tín hiệu trong quá trình đo thành các dạng có thể theo dõi hoặc điều chỉnh được.

2. Sơ đồ khối của dụng cụ đo

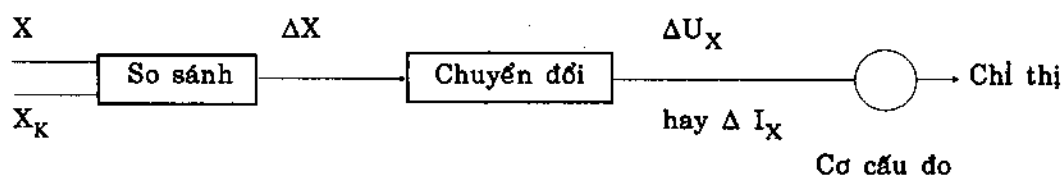
Theo quá trình đo ta có thể phân dụng cụ đo làm hai loại :

a) *Dụng cụ đo trực tiếp*: Đại lượng cần đo X được đưa vào bộ phận chuyển đổi để biến đổi thành biến thiên của dòng điện hay điện áp. Cơ cấu đo sẽ chuyển biến thiên của dòng điện hay điện áp thành chỉ thị bằng kim chỉ hay chỉ thị số (hình 10 - 1).



Hình 10-1. Dụng cụ đo trực tiếp

b) *Dụng cụ đo kiểu so sánh*. Ở dụng cụ đo kiểu so sánh đại lượng cần đo X được so sánh với một đại lượng chuẩn X_K , sai lệch $|X - X_K|$ sẽ được chuyển đổi thành biến thiên của dòng điện hay điện áp, sau đó tác động vào cơ cấu đo. Chỉ thị có thể là kim chỉ hay chỉ thị số (hình 10-2).



Hình 10-2. Dụng cụ đo kiểu so sánh

3. Sai số và cấp chính xác

Do lường bao giờ cũng có sai số do bản thân dụng cụ đo tiêu thụ công suất của mạch đo cũng như sai số do phép đo, do chỉ thị hoặc ảnh hưởng của môi trường xung quanh.

Sai số tuyệt đối Δx là hiệu số của kết quả đo X_d và trị số đúng của đại lượng cần đo.

$$\Delta x = | X_d - X |$$

Sai số tương đối δ được tính bằng tỷ số giữa sai số tuyệt đối và trị số đo X_d , thường được tính bằng phần trăm.

$$\delta\% = \pm \frac{\Delta x}{X_d} 100\%$$

Sai số của dụng cụ đo đặc trưng bởi sai số tương đối qui đổi.

$$\gamma\% = \frac{\Delta x}{X_{dm}} 100\%$$

Trong đó X_{dm} là trị số định mức của thang đo tương ứng. Nếu dụng cụ đo có chỉ thị kim chạy về hai phía của thang đo thì X_{dm} tính bằng tổng giá trị định mức của hai phía thang đo.

Sai số cơ bản của dụng cụ đo là sai số riêng của dụng cụ đo trong điều kiện làm việc tiêu chuẩn : nhiệt độ $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối là $(65 \pm 15)\%$ và áp suất khí quyển $(750 \pm 30) \text{ mmHg}$.

Căn cứ vào sai số cơ bản, người ta chia dụng cụ đo thành các cấp chính xác. Ví dụ dụng cụ có cấp chính xác 1 có nghĩa là sai số tương đối qui đổi của dụng cụ ở điều kiện làm việc tiêu chuẩn không vượt quá 1%.

Dụng cụ có cấp chính xác $< 0,5$ là cấp chính xác cao thường dùng làm dụng cụ mẫu. Các dụng cụ đo công nghiệp thường có cấp chính xác từ 1 đến 2,5.

Ví dụ : Ampemét có thang đo 5A, cấp chính xác 1 thì sai số tuyệt đối phạm phải là $5.1\% = 0,05\text{A}$.

Sai số tương đối của phép đo đại lượng X sẽ là : $\beta = \frac{\gamma \cdot D_x}{X}$ trong đó D_x là thang

đo của dụng cụ, ta nhận thấy khi $\frac{D_x}{X} \rightarrow 1$ sai số tương đối của phép đo $\beta = \gamma$ và sẽ nhỏ nhất, vì thế lúc đo một đại lượng nào đấy ta phải chọn dụng cụ có thang đo $D_x \approx X$ tức là số chỉ của dụng cụ phải ở phần cuối của thang đo.

4. Các thông số của dụng cụ đo

Ngoài cấp chính xác người ta còn đặc trưng dụng cụ đo bằng các thông số sau :

- Độ nhạy :

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}$$

trong đó $\Delta \alpha$ là biến thiên của chỉ thị đo và Δx là biến thiên của đại lượng cần đo.

Nếu dụng cụ đo gồm nhiều khâu chuyển đổi nối tiếp thì độ nhạy của chúng bằng tích độ nhạy của từng khâu.

$$S = S_1 \cdot S_2 \dots S_n$$

- Công suất tiêu thụ của dụng cụ đo. Để phép đo được chính xác, công suất tiêu thụ của dụng cụ phải nhỏ.

- Đặc tính động của dụng cụ đo đặc trưng bằng thời gian ổn định của dụng cụ. Đối với dụng cụ cơ kim chỉ, khi kim dao động nhỏ hơn 1% trị số của thang đo, dụng cụ đo xem như đã ổn định.

§10-2. CƠ CẤU BIẾN ĐỔI ĐIỆN CƠ

Trong dụng cụ đo trực tiếp, cơ cấu biến đổi điện cơ có nhiệm vụ biến đổi điện năng của đại lượng cần đo thành cơ năng làm dịch chuyển bộ phận chỉ thị.

Cơ cấu biến đổi điện cơ gồm phần tĩnh và phần quay. Tùy theo phương pháp biến đổi năng lượng điện từ người ta chia thành cơ cấu kiểu từ điện, kiểu điện từ, kiểu điện động, kiểu sắt điện động, kiểu cảm ứng và kiểu tĩnh điện.

Mômen quay của cơ cấu biến đổi điện cơ bằng tốc độ biến thiên của năng lượng điện từ W_{dt} theo góc quay α .

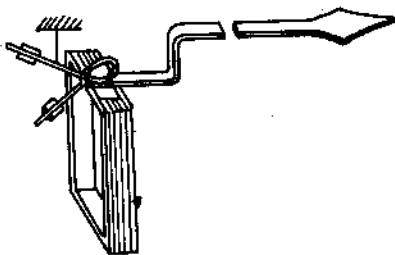
$$M_q = \frac{\partial W_{dt}}{\partial \alpha}$$

Khi phần động quay do lò xo (hình 10-3) hoặc dây treo (hình 10-4) bị xoắn lại sinh ra mômen cản tỉ lệ với góc quay

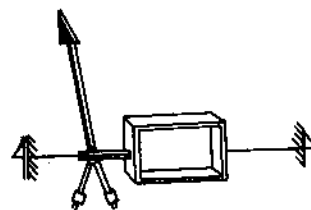
$$M_c = K \cdot \alpha$$

trong đó K là hệ số cản phụ thuộc vào vật liệu và kích thước của lò xo hoặc dây treo.

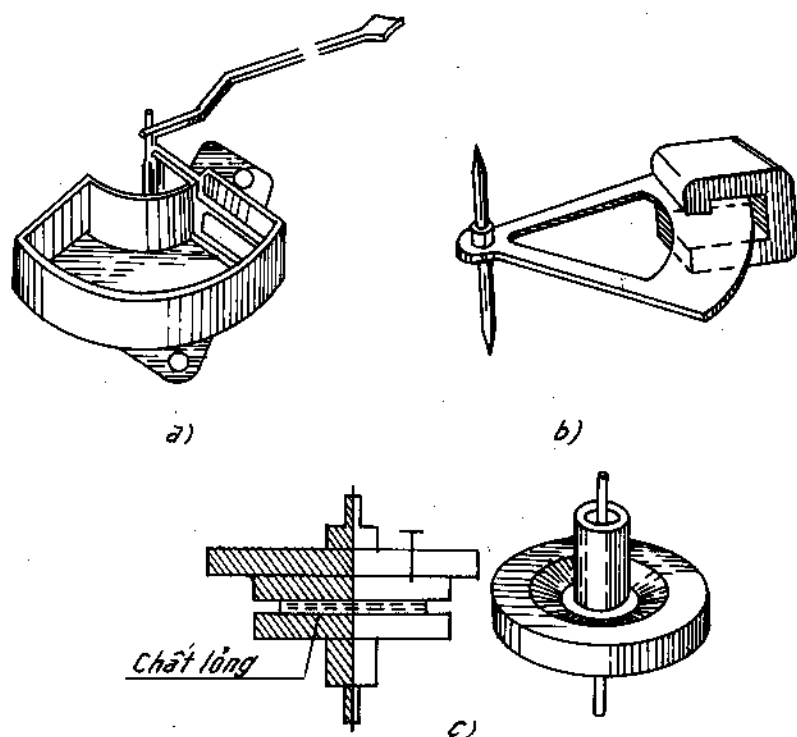
Phần động sẽ ở vị trí cân bằng khi $M_q = M_c$ do đó góc quay $\alpha = \frac{1}{K} M_q$ là hàm số của đại lượng cần đo.



Hình 10-3



Hình 10-4



Hình 10-5

điện cảm ứng trong lá nhôm lên từ trường của nam châm vĩnh cửu có xu hướng làm tắt dần chuyển động, trong loại cân đọi kiểu chất lỏng, ma sát thủy lực của chất lỏng làm tắt dần chuyển động.

Mômen cân đọi M_{cd} tỷ lệ với tốc độ chuyển động của phần động cơ cấu

$$M_{cd} = K_{cd} \frac{d\alpha}{dt}$$

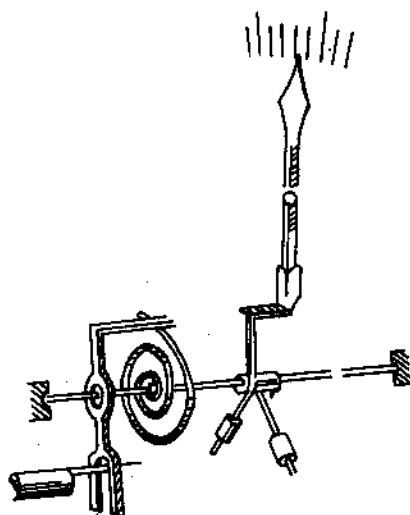
Ở đây K_{cd} là hệ số cân đọi. Thời gian cân đọi của dụng cụ nhiệt, dụng cụ tĩnh điện, dụng cụ dây treo có kim dài hơn 150 mm không được vượt quá 6 giây còn các dụng cụ khác là 4 giây.

Ngoài ra còn có các bộ phận như : Các đối trọng (hình 10-6) để cân bằng phần động, các bộ phận hiệu chỉnh vị trí ban đầu của kim.

Bộ phận chỉ thị có thể là kim chỉ (hình 10-7a), chỉ thị ánh sáng (hình 10-7b), thiết bị ghi (hình 10-7c) hay lưỡi rung (hình 10-7d)

Các ký hiệu ghi trên mặt của chỉ thị điện cơ :

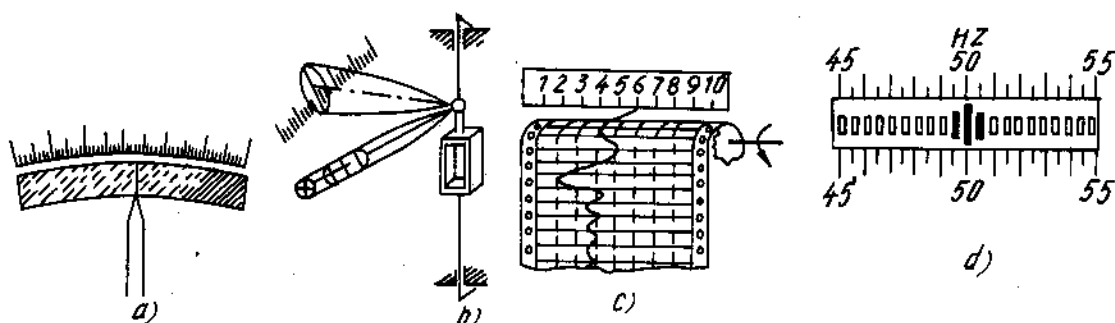
Trên mặt các chỉ thị điện cơ thường có ghi nhiều ký hiệu. Sau đây là những ký hiệu chủ yếu :



Hình 10-6

Để phần động chống ổn định các dụng cụ đo thường có bộ phận cân đọi. Có ba loại cân đọi : kiểu không khí (hình 10-5a), kiểu cảm ứng (hình 10-5b), kiểu chất lỏng (hình 10-5c). Trong loại cân đọi kiểu không khí, phần động là lá kim loại mỏng có thể chuyển động trong hộp rỗng. Lực cản của không khí có tác dụng làm cân chuyển động.

Trong loại cân đọi kiểu cảm ứng, phần động là lá nhôm chuyển động trong lòng của nam châm vĩnh cửu NS. Lực tác dụng giữa dòng



Hình 10-7

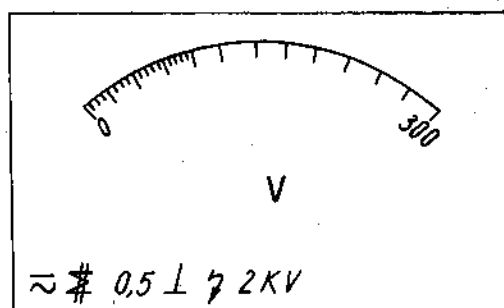
- Đại lượng cần đo và thang đo của dụng cụ :

V : vôn-mét

A : ampemét

- Kiểu dụng cụ đo

Cơ cấu đo	Ký hiệu
Cơ cấu từ điện	C
Cơ cấu điện từ	
Cơ cấu điện động	
Cơ cấu cảm ứng	



Hình 10-8

- Loại dòng điện : một chiều =

xoay chiều ~

xoay chiều ba pha ≈

- Cấp chính xác : Ví dụ 0,1.

- Vị trí đặt dụng cụ : nằm →

đứng ⊥ ↑

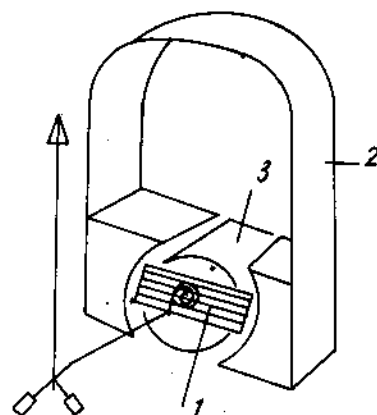
ngiêng 60°

- Điện áp thử cách điện.

Ví dụ : Hình 10-8 giới thiệu dụng cụ đo là von-mét, kiểu điện từ, cấp chính xác 0,5, đặt đứng, điện áp thử cách điện 2kV. Vôn-mét có thang đo lớn nhất là 300V và có thể đo điện áp một chiều hoặc xoay chiều.

1. Cơ cấu từ điện

a) Cấu tạo : Cơ cấu gồm cuộn dây phần động (1) có tiết diện nhỏ chuyển động trong lòng nam châm vĩnh cửu NS có từ cảm cao (2). Để tạo nên từ trường mạnh và đều giữa phần động và phần tĩnh có hình



Hình 10-9. Cơ cấu biến đổi từ điện

trống (3) bằng vật liệu dẫn từ tốt. Ngoài ra còn có lò xo phản, trục và kim chỉ thị, cơ cấu biến đổi từ điện được vẽ trên hình 10-9.

b) *Nguyên lý làm việc.* Cho dòng điện cần đo I qua lò xo phản vào cuộn dây phản động, vì dòng điện nằm trong từ trường của nam châm NS nên sẽ chịu tác dụng của lực điện từ và sinh ra mômen quay là :

$$M_q = WB/ID = K_q I$$

trong đó W là số vòng dây của phần động, B là cường độ từ cảm.

l là chiều dài tác dụng của khung dây phản động.

D là chiều rộng của khung.

Ta nhận thấy mômen quay tỉ lệ bậc nhất với dòng điện cần đo.

Ở vị trí cân bằng mômen quay bằng mômen cản :

$$K_q \cdot I = K \cdot \alpha$$

Góc quay của phần động

$$\alpha = \frac{K_q}{K} I = SI$$

$$S = \frac{WB/D}{K} \text{ là độ nhạy của dụng cụ.}$$

c) *Đặc điểm của dụng cụ*

- Vì góc quay α tỷ lệ bậc nhất với dòng điện nên dụng cụ chỉ đo được dòng điện một chiều và thang đo chia đều. Để đo dòng điện xoay chiều cần có bộ phận chỉnh lưu dòng điện xoay chiều ra một chiều.

- Dụng cụ có độ nhạy cao vì từ trường của nam châm vĩnh cửu mạnh.

- Độ chính xác cao, ít chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, tiêu thụ năng lượng ít.

- Khả năng quá tải ít vì cuộn dây phản động có tiết diện bé.

d) *Lôgômet từ điện.* Trên phần động ta đặt 2 cuộn dây gắn chặt vào nhau và có dòng điện I_1 và I_2 chạy qua sao cho chúng sinh ra hai mômen quay ngược chiều nhau (hình 10-10).

$$M_{q1} = K_{q1} B_1(\alpha) I_1$$

$$M_{q2} = K_{q2} B_2(\alpha) I_2$$

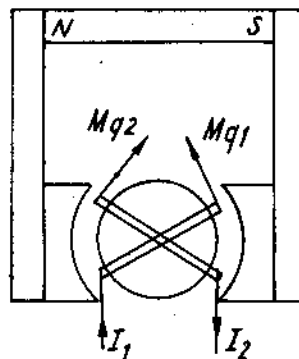
Ở vị trí cân bằng $M_{q1} = M_{q2}$ hay

$$K_{q1} B_1(\alpha) I_1 = K_{q2} B_2(\alpha) I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{K_{q2} B_2(\alpha)}{K_{q1} B_1(\alpha)} \text{ hay là}$$

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

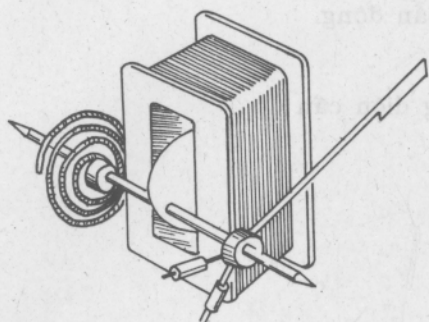
góc quay α là hàm số của tỷ số giữa hai dòng điện.



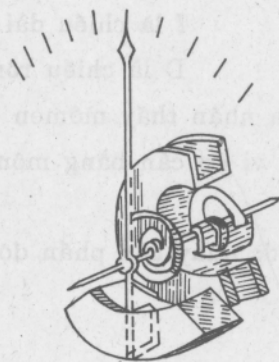
Hình 10-10. Lôgômet từ điện.

2. Cơ cấu điện từ

a) *Cấu tạo*. Cơ cấu gồm 2 loại chính. Kiểu cuộn dâyбет (hình 10 - 11a). Ở cơ cấu kiểu cuộn dâyбет phần tĩnh là cuộn dâyбет có dòng điện cần đo chạy qua, còn phần động là miếng sắt đặt lệch tâm có thể quay trong khe cuộn dâyбет phần tĩnh 2. Kiểu cuộn dây tròn : Phần tĩnh là cuộn dây tròn bên trong có gắn một miếng sắt. Phần động cũng là miếng sắt được gắn trên trục. Ngoài ra còn có bộ phận cân dọi lò xo phân, kim chỉ thị.



a) Cơ cấu điện từ cuộn dâyбет



b) Kiểu cuộn dây tròn

Hình 10-11

b) Nguyên lí làm việc

Khi dòng điện cần đo I vào cuộn dây phần tĩnh, năng lượng từ trường tích lũy ở cuộn dây $W_M = \frac{1}{2} LI^2$.

Hai miếng thép được từ hóa với cùng cực tính nên sẽ đẩy nhau làm phần động quay. Ở cơ cấu kiểu cuộn dâyбет là thép phần động sẽ bị hút vào khe cuộn dâyбет phần tĩnh.

Sự biến thiên năng lượng từ trường gây ra mômen quay là :

$$M_q = \frac{\partial W_M}{\partial \alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

$$\text{Ở vị trí cân bằng } M_q = M_c \text{ hay : } K \cdot \alpha = \frac{1}{2} I^2 \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

$$\text{Góc quay của phần động sẽ là : } \alpha = \frac{1}{2K} I^2 \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

c) Đặc điểm của cơ cấu

- Góc quay tỷ lệ với bình phương của dòng điện và thang đo chia không đều.
- Dụng cụ có thể đo được dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều vì khi thay đổi chiều dòng điện trong cuộn dây phần tĩnh các miếng thép luôn được từ hóa cùng cực tính.

Hình dáng miếng thép được chế tạo sao cho $\frac{\partial L}{\partial \alpha}$ giảm theo góc quay α để thang đo có thể chia tương đối đều.

- Dụng cụ chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài vì khe hở không khí giữa phần động và phần tĩnh lớn, hơn nữa từ trường bản thân của cơ cấu cũng nhỏ.
- Độ chính xác thấp do có tổn hao trong lõi thép
- Khả năng quá tải của cơ cấu tốt vì cuộn dây có dòng điện cần đo ở phần tĩnh, tiết diện dây có thể lớn.
- Cơ cấu đơn giản, rẻ tiền, chủ yếu dùng để đo dòng điện và điện áp xoay chiều tần số công nghiệp.

3. Cơ cấu điện động

a) *Cấu tạo.* Cơ cấu gồm 2 cuộn dây. Cuộn dây phần tĩnh có tiết diện lớn, ít vòng dây và thường chia làm hai phần đoạn.

Cuộn dây phần động là một khung dây có số vòng nhiều và tiết diện nhỏ. Ngoài ra còn có kim chỉ thị, bộ phận cân dọi (hình 10 -12).

b) *Nguyên lý làm việc.* Khi cho dòng điện cần đo I_1 và I_2 vào cuộn dây phần tĩnh và phần động, năng lượng từ trường tích lũy trong lòng cuộn dây

$$W_M = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M I_1 I_2$$

trong đó L_1 , L_2 là điện cảm của cuộn dây không phụ thuộc vào góc quay α . M là hệ số cảm của hai cuộn dây, M thay đổi khi phần động quay.



Hình 10-12. Cơ cấu điện động

Mômen quay $M_q = \frac{\partial W_M}{\partial \alpha} = I_1 I_2 \frac{\partial M}{\partial \alpha}$

Ở vị trí cân bằng $M_q = M_c$ hay $I_1 I_2 \frac{\partial M}{\partial \alpha} = K \cdot \alpha$

Góc quay của phần động sẽ là : $\alpha = \frac{I_1 I_2}{K} \frac{\partial M}{\partial \alpha}$

c) *Đặc điểm*

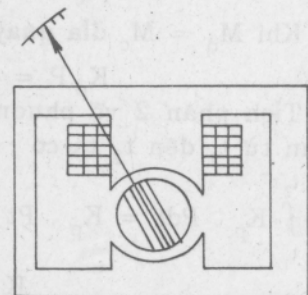
- Mômen quay tỷ lệ với tích số của hai dòng điện. Thường dòng điện qua cuộn dây phần động tỷ lệ với điện áp cần đo, dòng điện qua cuộn dây phần tĩnh là dòng điện tải, vì vậy mômen quay tỷ lệ với công suất tải tiêu thụ, dụng cụ có thể dùng để đo công suất.

- Độ nhạy của dụng cụ thấp vì hệ số cảm giữa hai cuộn dây nhỏ.

- Chịu ảnh hưởng nhiều của từ trường ngoài.

- Độ chính xác cao vì không có tổn hao trong lõi thép.

- Khả năng quá tải kém vì cuộn dây phần động kích thước nhỏ



Hình 10-13.
Cơ cấu sắt điện động

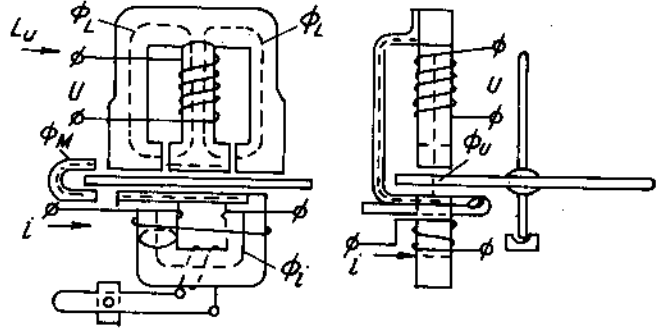
- Cấu tạo phức tạp đắt tiền.

Để tăng độ nhạy người ta chế tạo cơ cấu sắt điện động (hình 10-13) trong đó cuộn dây phần tĩnh có lõi sắt từ, làm tăng từ thông của cuộn dây và do đó tăng mômen quay.

4. Cơ cấu cảm ứng

a) *Cấu tạo.* Phần tĩnh của cơ cấu gồm 2 cuộn dây có lõi thép. Cuộn dòng điện có tiết diện lớn, số vòng ít nối tiếp với mạch điện cần đo, cuộn điện áp có số vòng nhiều và tiết diện bé nối song song với mạch cần đo (hình 10-14).

Phần động của cơ cấu là đĩa nhôm gắn với trục.



Hình 10-14. Cơ cấu kiểu cảm ứng

b) *Nguyên lý làm việc.* Cho dòng điện i vào cuộn dòng điện tạo nên từ thông ϕ_i trùng pha với dòng điện từ thông ϕ_i xuyên qua đĩa nhôm ở hai chỗ. Nếu đặt điện áp vào cuộn điện áp, dòng điện i_u qua cuộn dây sẽ tỷ lệ với điện áp u . Vì điện cảm của cuộn dây điện áp lớn nên góc lệch pha giữa dòng i_u và điện áp u gần bằng $\pi/2$. Từ thông ϕ_u của cuộn điện áp chia làm hai phần ϕ_L khép mạch qua lõi không xuyên qua đĩa nhôm và ϕ_u xuyên qua đĩa nhôm và khép mạch qua gông từ.

Đồ thị vectơ của các từ thông và dòng điện cho trên hình 10-15.

Mômen quay tác dụng lên đĩa nhôm do lực tác dụng tương hỗ giữa các dòng điện cảm ứng trong đĩa và các từ thông ϕ_u, ϕ_i .

Mômen quay được tính bằng biểu thức

$$M_q = K.f.\phi_u.\phi_i.\sin\psi = K_p UI \cos\varphi = K_p P$$

Vì từ thông ϕ_u tỷ lệ với điện áp U và ϕ_i tỷ lệ với dòng điện tải I , mặt khác vì $\psi = 90^\circ - \varphi$ nên ta có mômen quay tỷ lệ với công suất P tải tiêu thụ.

Khi đĩa nhôm quay trong từ trường của nam châm vĩnh cửu sẽ sinh ra mômen cản tỷ lệ với tốc độ quay

$$M_c = K_c \cdot n$$

Khi $M_q = M_c$ đĩa quay với tốc độ đều

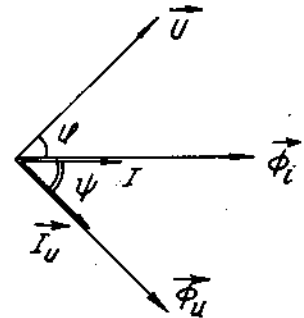
$$K_p P = K_c \cdot n$$

Tích phân 2 vế phương trình trên trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 ta có :

$$\int_{t_1}^{t_2} K_p \cdot P dt = K_p \cdot P t = \int_{t_1}^{t_2} K_c \cdot n dt = K_c \cdot N$$

$$\text{hay là : } P \cdot t = A = \frac{K_c}{K_p} \cdot N$$

trong đó A là điện năng tiêu thụ



Hình 10-15

N là số vòng quay của đĩa trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 .

$\frac{K_c}{K_p}$ là hằng số của dụng cụ

c) *Đặc điểm của cơ cấu*

- Số vòng quay của phần động tỷ lệ với điện năng tiêu thụ nên cơ cấu được chế tạo làm công tơ đo điện năng.
- Độ chính xác thấp vì khi làm việc dòng điện xoáy trong đĩa nhôm gây tổn hao công suất.
- Cơ cấu phụ thuộc vào tần số.

5. Cơ cấu tĩnh điện

a) *Cấu tạo* : Phần tĩnh là bản cực kim loại, phần động cũng là các bản cực cố gắn trục hoặc dây treo. Giữa phần tĩnh và phần động là điện môi không khí và hình thành tụ điện có điện dung C (hình 10-16).

b) *Nguyên lý làm việc*. Khi đặt điện áp U lên các bản cực của phần tĩnh và phần động thì tụ C sẽ tích lũy năng lượng điện trường $W_E = \frac{1}{2} CU^2$. Lực tác dụng giữa hai bản cực khi đặt vào điện áp U làm phần động quay. Mômen quay của cơ cấu là

$$M_q = \frac{\partial W_E}{\partial \alpha} = \frac{1}{2} U^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha}$$

Ở vị trí cân bằng $M_q = M_c$ hay là

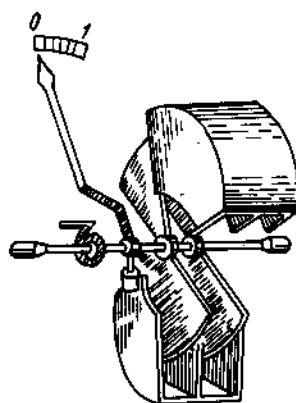
$$K_c \alpha = \frac{1}{2} U^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha}$$

Góc quay của phần động :

$$\alpha = \frac{1}{2K_c} U^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha}$$

c) *Đặc điểm của cơ cấu tĩnh điện*

- Góc quay α tỷ lệ với bình phương của điện áp đặt vào, nên có thể đo điện áp một chiều và xoay chiều. Giới hạn đo điện áp từ 10V đến hàng chục kV, tần số từ 10Hz đến 10MHz.
- Cơ cấu có độ nhạy cao và tiêu thụ rất ít công suất. Độ chính xác cao, có thể đạt cấp chính xác 0,05.
- Không chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài và dạng đường cong của điện áp.



Hình 10-16. Cơ cấu tĩnh điện

§10-3. ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP

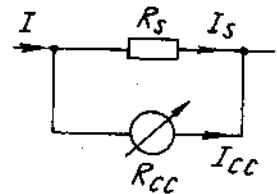
Trong các đại lượng điện, dòng điện và điện áp là hai đại lượng cơ bản nhất có quan hệ chặt chẽ với nhau.

1. Đo dòng điện

Để đo dòng điện ta mắc nối tiếp ampemet với mạch điện cần đo.

Để ampemet không làm thay đổi dòng điện trong mạch thì điện trở trong của ampemet phải càng nhỏ càng tốt.

Để đo dòng điện một chiều có thể dùng các ampemet từ điện và điện từ. Để mở rộng thang đo với dòng điện một chiều người ta dùng điện trở sun R_s nối song song với cơ cấu đo (hình 10-17).



Hình 10-17

Dòng điện qua cơ cấu đo là

$$I_{cc} = I \cdot \frac{R_s}{R_s + R_{cc}}$$

trong đó I là dòng điện cần đo, R_{cc} là điện trở của cơ cấu đo.

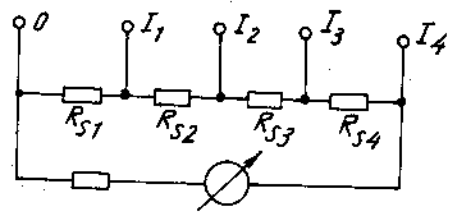
Nếu muốn mở rộng thang đo n lần tức là $\frac{I}{I_{cc}} = n = \frac{R_s + R_{cc}}{R_s}$

Suy ra điện trở của sun R_s là :

$$R_s = \frac{R_{cc}}{n - 1}$$

Hình 10-18 là sơ đồ sun của dụng cụ từ điện có nhiều thang đo khác nhau.

Để đo dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp có thể dùng các ampemet điện từ hay điện động. Với dòng điện xoay chiều người ta dùng máy biến dòng để mở rộng thang đo. Ampemet điện từ nhiều thang đo được chế tạo bằng cách phân đoạn cuộn dây phân tính thành nhiều phân đoạn bằng nhau và có thể nối song song hoặc nối tiếp (hình 10-19)



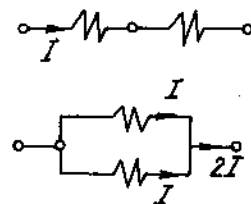
Hình 10-18

Để đo dòng điện xoay chiều bằng dụng cụ từ điện người ta phải chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều. Hình 10-20a là sơ đồ với chỉnh lưu một nửa chu kỳ, còn hình 20b, 20c là sơ đồ với chỉnh lưu cả chu kỳ.

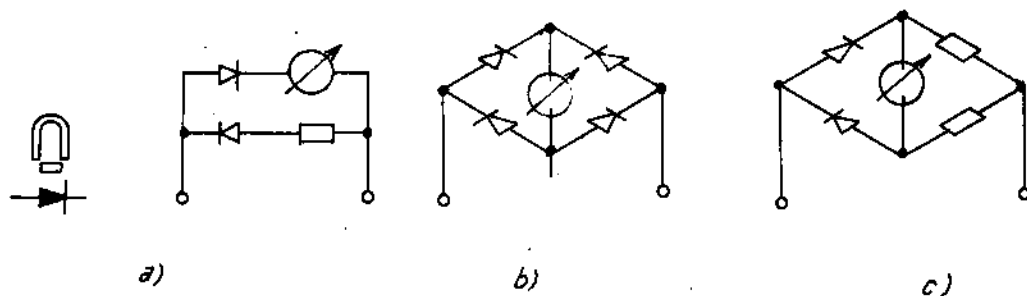
2. Đo điện áp

Để đo điện áp U người ta dùng vônmet mắc song song với mạch cần đo. Để kết quả đo chính xác thì điện trở trong của vônmet phải càng lớn càng tốt.

Để mở rộng thang đo người ta dùng điện trở phụ mắc nối tiếp với cơ cấu đo (hình 10-21).



Hình 10-19. Ampemet điện từ hai thang đo.



Hình 10 - 20. Sơ đồ dụng cụ chỉnh lưu.

Giả thiết cơ cấu đo có điện áp định mức là điện áp làm cho kim chỉ hết thang đo U_{cc} , muốn mở rộng thang đo m lần nghĩa là $U/U_{cc} = m$ thì

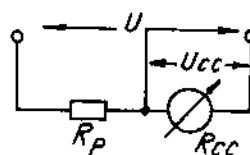
$$\frac{R_p}{R_{cc}} = \frac{U - U_{cc}}{U_{cc}} = m - 1 \text{ hay là}$$

$$R_p = R_{cc} (m - 1).$$

Khi cần đo điện áp rất lớn (cỡ kV) người ta dùng máy biến điện áp.

Để đo điện áp và dòng điện nhỏ người ta thường dùng điện kế từ điện. Để tăng độ nhạy ở điện kế từ điện người ta tăng từ cảm khe hở không khí, giảm hệ số phản kháng của dây treo và dùng hệ thống chỉ thị ánh sáng.

Để nâng cao độ chính xác của phép đo, người ta tiến hành đo bằng phương pháp bù. Nội dung cơ bản của phương pháp bù là so sánh điện áp cần đo U_x với điện áp mẫu đã biết U_k có độ chính xác cao (Hình 10-22). Độ chênh lệch điện áp

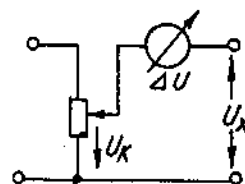


Hình 10-21

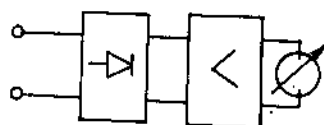
$\Delta U = U_x - U_k$ được phát hiện bằng cơ cấu chỉ không. Ở vônmet điện tử điện áp cần đo được chỉnh lưu và đưa vào bộ khuếch đại một chiều (hình 10-23).

Đầu ra của khuếch đại một chiều là cơ cấu từ điện.

Ưu điểm của vônmet điện tử là có độ nhạy cao, điện trở vào lớn có thể đạt tới 100 MΩ công suất tiêu thụ rất ít, khoảng tần số làm việc rộng, dễ dàng điều chỉnh và mở rộng thang đo.



Hình 10-22



Hình 10-23. Vônmet điện tử.

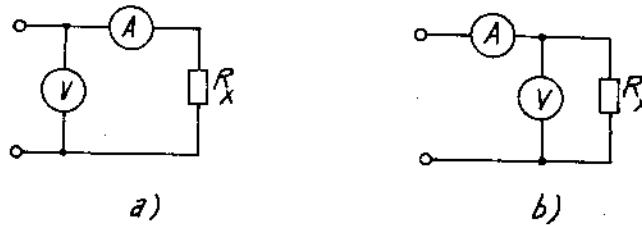
§10-4. ĐO CÁC THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN

1. Đo điện trở

a) *Phương pháp vônmet và amperemet.* Để đo điện trở ta có thể dùng amperemet đo dòng điện I và vônmet đo điện áp U . Điện trở cần đo

$$r_x = \frac{U}{I}$$

Trên sơ đồ hình 10-24 a có $R_x + R_a = U/I$, điện trở amperemet R_a gây sai số của phép đo, nếu điện trở cần đo nhỏ thì ảnh hưởng của điện trở amperemet R_a càng lớn vì thế sơ đồ dùng để đo điện trở trung bình và lớn.



Hình 10-24. Đo điện trở bằng amperemet và vônmet.

Trên sơ đồ hình 10-24b ta có :

$$I = \frac{U}{R_x} + \frac{U}{R_v} \quad \text{do đó}$$

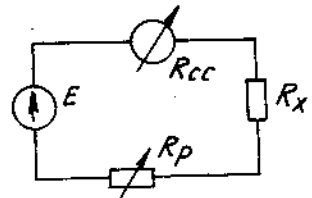
$$R_x = \frac{U \cdot R_v}{IR_v - U} = \frac{1}{\frac{I}{U} - \frac{1}{R_v}}$$

điện trở vônmet R_v gây nên sai số của phép đo, nếu điện trở cần đo càng nhỏ thì điện trở vônmet R_v ảnh hưởng càng ít vì thế sơ đồ dùng để đo điện trở nhỏ.

b) *Ôm mét.* Nếu điện áp U là không đổi thì điện trở tỷ lệ nghịch với dòng điện I , do đó biết dòng điện suy ra ngay điện trở. Đây là nguyên lý làm việc của ômmét. Hình 10-25 là sơ đồ nguyên lý của ômmét. Dòng điện

$$I = \frac{E}{R_p + R_{cc} + R_x} = f(R_x)$$

ở đây R_p là điện trở phụ để điều chỉnh vị trí không, R_{cc} là điện trở của cơ cấu từ điện.



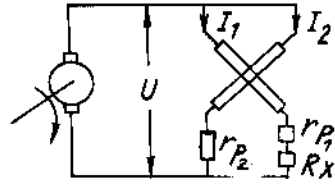
Hình 10-25

c) *Megômét.* Là dụng cụ đo điện trở lớn, ví dụ điện trở cách điện. Trong megômét cơ cấu đo là lôgômét từ điện, nguồn điện là máy phát điện một chiều quay tay có điện áp từ 100V đến 500V (hình 10-26)

Trên hình 10-26 dòng điện

$$I_1 = \frac{U}{r_{p1} + r_1 + R_x} \text{ và } I_2 = \frac{U}{r_{p2} + r_2}$$

trong đó r_1, r_2 là điện trở của cuộn dây phần động, r_{p1}, r_{p2} là điện trở phụ để điều chỉnh.



Hình 10-26

Góc quay α của megômmét tỷ lệ với tỷ số của hai dòng điện nghĩa là :

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{r_{p2} + r_2}{r_{p1} + r_1 + R_x}\right)$$

d) Cầu đo điện trở. Để đo điện trở chính xác hơn người ta dùng phương pháp so sánh với điện trở mẫu bằng cầu điện trở.

Hình 10-27a là sơ đồ của cầu đo điện trở, điện trở cần đo R_x là một nhánh của cầu, các điện trở mẫu R_2, R_3, R_1 có thể điều chỉnh được. Nguồn cung cấp E nối vào một đường chéo của cầu, còn đường chéo kia là cái chỉ không.

Điều chỉnh các điện trở cho điện kế chỉ không, khi đó điện thế 2 điểm c, d bằng nhau ta gọi là cầu đã cân bằng, khi đó ta được.

$$I_1 = I_2, I_3 = I_4$$

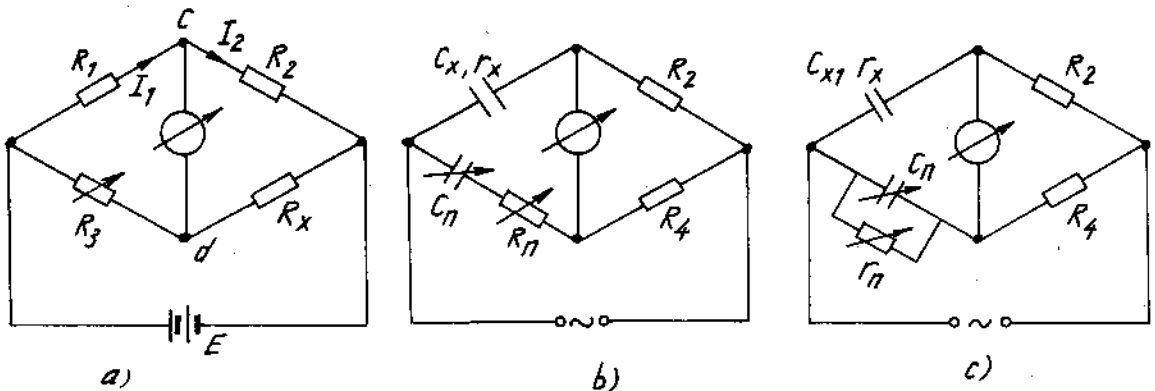
$$R_1 I_1 = R_3 I_3 \text{ và } R_2 I_2 = R_4 I_4$$

Chia các biểu thức trên cho nhau ta được :

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} \text{ hay là } R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

Trong các cầu đo, thường tỷ số R_2/R_1 chọn bằng 1, 10, 100.

Khi đo các điện trở rất nhỏ ảnh hưởng của điện trở dây nối và điện trở tiếp xúc là đáng kể, để khử các ảnh hưởng này người ta thường dùng cầu kép.



Hình 10-27

2. Đo tổng trở

Tổng trở của mạch điện $\bar{Z} = R + jX$ có thể đo gián tiếp bằng ampemet, vônmet và oatmet, hoặc đo trực tiếp bằng các cầu đo tổng trở.

Trong cách đo gián tiếp ta có các biểu thức tính toán

$$z = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{P}{I^2}$$

$$X = \sqrt{z^2 - R^2}$$

Để đo chính xác, ta dùng các cầu đo xoay chiều. Khi cân bằng, quan hệ của các tổng trở các nhánh tương tự như ở cầu đo điện trở.

a) Cầu đo điện dung C . Trên hình 10-27b là cầu để đo điện dung tụ điện có tổn hao ít. Tụ được xem là gồm điện dung C_x nối tiếp với r_x nên ta bố trí cầu có 2 điện trở R_2, R_4 có trị số xác định với tỷ số nhất định còn điện dung mẫu so sánh C_n được nối nối tiếp với điện trở r_n để cùng tính chất với C_x và r_x

Khi cầu cân bằng $\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_4 = \bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3$.

Ở đây
$$\bar{Z}_1 = r_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$\bar{Z}_2 = R_2$$

$$\bar{Z}_3 = r_n + \frac{1}{j\omega C_n}$$

$$\bar{Z}_4 = R_4$$

Suy ra
$$r_x = r_n \cdot \frac{R_2}{R_4} \text{ và } C_x = C_n \cdot \frac{R_4}{R_2}$$

Đối với tụ điện có tổn hao lớn C_x được xem như nối song song với r_x (hình 10-27c)

Ta có
$$\bar{Z}_1 = \frac{1}{\frac{1}{r_x} + j\omega C_x}; \quad \bar{Z}_2 = R_2$$

$$\bar{Z}_3 = \frac{1}{\frac{1}{r_n} + j\omega C_n}; \quad \bar{Z}_4 = R_4$$

Khi cầu cân bằng có:
$$\frac{R_2}{\frac{1}{r_x} + j\omega C_x} = \frac{R_4}{\frac{1}{r_n} + j\omega C_n}$$

từ đó suy ra
$$C_x = C_n \cdot \frac{R_4}{R_2}$$

$$r_x = r_n \cdot \frac{R_2}{R_4}$$

b) Cầu đo điện cảm

Để đo điện cảm L_x của cuộn dây ta dùng cầu xoay chiều hình 10-28.

Ta có
$$\bar{Z}_1 = r_x + j\omega L_x$$

$$\bar{Z}_2 = r_2$$

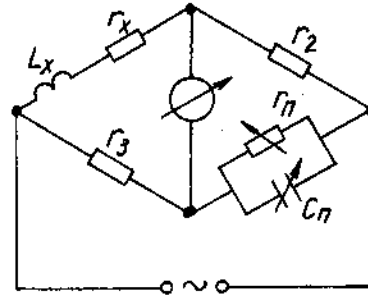
$$\bar{Z}_3 = r_3$$

$$\bar{Z}_4 = \frac{r_n}{1 + j\omega C_n r_n}$$

Cầu cân bằng khi $\frac{(r_x + j\omega L_x)r_n}{1 + j\omega C_n r_n} = r_2 r_3$

Suy ra $r_x = r_2 \cdot \frac{r_3}{r_n}$

$$L_x = C_n \cdot r_2 r_3$$

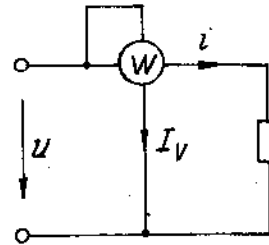


Hình 10-28. Cầu đo điện cảm.

§10-5. DO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG

1. Oatmét một pha kiểu điện động

Hình 10-29 là sơ đồ nguyên lý của oatmét (còn viết là Wmét) một pha kiểu điện động. Cuộn dây dòng điện được nối tiếp với phụ tải cần đo. Cuộn dây điện áp được nối song song với mạch cần đo. Góc quay của cơ cấu điện động tỷ lệ với tích số của hai dòng điện i và i_v trong đó i_v tỷ lệ với điện áp u vì thế góc quay tỷ lệ với công suất tác dụng $P = UI \cos \varphi$.



Hình 10-29

2. Đo công suất tác dụng của mạch ba pha

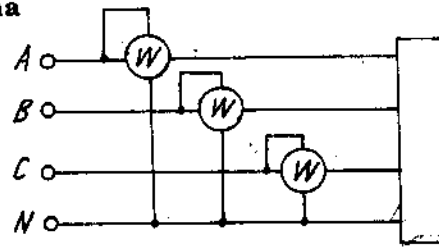
Để đo công suất của mạch ba pha ta có thể dùng các Wmet mắc trên từng pha của mạch ba pha bốn dây (hình 10-30).

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A$$

$$P_B = U_B I_B \cos \varphi_B$$

$$P_C = U_C I_C \cos \varphi_C$$

$$P_{3 \text{ pha}} = P_A + P_B + P_C$$



Hình 10-30. Đo công suất tác dụng của mạch ba pha bốn dây.

Có thể dùng 2 Wmet nối theo sơ đồ hình 10-31 để đo công suất mạch ba pha ba dây, trong đó Wmet thứ nhất đo công suất

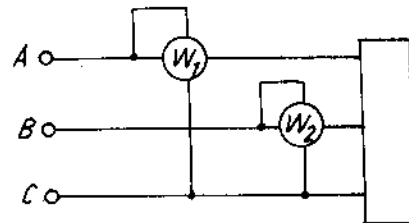
$$W_1 = U_{AC} I_A \cos(\vec{U}_{AC} \cdot \vec{I}_A)$$

còn Wmet thứ 2 đo công suất

$$W_2 = U_{BC} I_B \cos(\vec{U}_{BC} \cdot \vec{I}_B)$$

Trong đó $\vec{U}_{AC} = \vec{U}_A - \vec{U}_C$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C$$



Hình 10-31. Đo công suất tác dụng bằng phương pháp hai Wmet.

Vậy trong số chỉ của 2 Wmet là :

$$W_1 + W_2 = (\vec{U}_A - \vec{U}_C)\vec{I}_A + (\vec{U}_B - \vec{U}_C)\vec{I}_B = \vec{U}_A\vec{I}_A + \vec{U}_B\vec{I}_B - \vec{U}_C(\vec{I}_A + \vec{I}_B)$$

Vì $\vec{I}_A + \vec{I}_B = -\vec{I}_C$ nên ta có :

$$W_1 + W_2 = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = P_{3\text{ pha}}$$

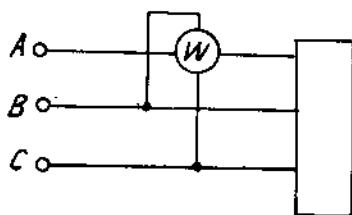
3. Đo công suất phản kháng trong mạch ba pha

Để đo công suất phản kháng của mạch ba pha đối xứng có thể dùng sơ đồ hình 10-32 trong đó Wmet một pha có dòng điện I_A còn điện áp dây là U_{BC} (đồ thị vectơ hình 10-33). Chỉ số của Wmet sẽ là :

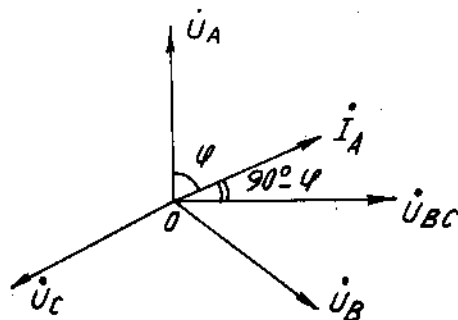
$$W = U_{BC} I_A \cos (\vec{U}_{BC} \vec{I}_A) = U_d I_d \cos (90^\circ - \varphi) = U_d I_d \sin \varphi = \frac{Q_{3\text{ pha}}}{\sqrt{3}}$$

Do đó công suất phản kháng của mạch ba pha sẽ là :

$$Q_{3\text{ pha}} = \sqrt{3} W.$$



Hình 10-32. Đo công suất phản kháng trong mạch ba pha đối xứng.



Hình 10-33.

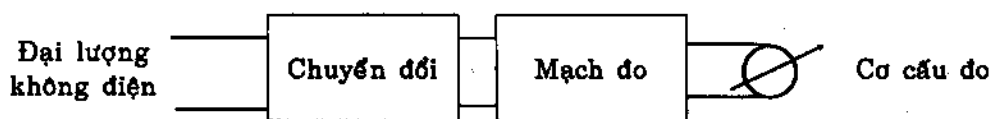
§10-6. ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

1. Những khái niệm chung

Các đại lượng không điện như nhiệt độ, di chuyển, ứng suất... có thể được đo một cách chính xác bằng phép đo lường điện. Ưu điểm cơ bản của phương pháp đo là có độ chính xác cao, có thể đo tự động, đo từ xa và tự ghi kết quả.

Sơ đồ khối cơ bản của dụng cụ đo lường các đại lượng không điện bao gồm các khâu chủ yếu sau đây : (hình 10-34)

- Chuyển đổi đo lường : để biến đổi các đại lượng không điện thành biến thiên của các đại lượng điện như điện áp, điện trở, điện cảm, điện dung v.v...
- Các khâu trung gian nhằm khuếch đại, bù ảnh hưởng của nhiệt độ hay tần số.
- Cơ cấu đo lường ở đầu ra như vônmet, điện thế kế v.v... thường có thang chia theo đại lượng không điện.



Hình 10-34. Sơ đồ khối đo lường các đại lượng không điện.

Sau đây ta sẽ giới thiệu sơ lược một số chuyển đổi và mạch đo một số đại lượng không điện.

2. Chuyển đổi đo lường

Chuyển đổi đo lường là khâu chức năng nhằm biến các đại lượng cần đo khác nhau thành các đại lượng điện.

- Người ta phân chia các chuyển đổi đo lường theo nguyên lý tác động của nó. Ví dụ có thể phân chia các chuyển đổi thành :

- Chuyển đổi điện trở
- Chuyển đổi điện từ
- Chuyển đổi tĩnh điện
- Chuyển đổi điện từ
- Chuyển đổi hóa điện v.v...

a) *Chuyển đổi điện trở.* Biến trở (hình 10-35) là một ví dụ đơn giản nhất của chuyển đổi.

Điện trở của biến trở

$$R_x = R \cdot \frac{l_x}{l}$$

trong đó R là điện trở toàn bộ của biến trở

l chiều dài toàn bộ biến trở

l_x khoảng di chuyển của con chạy tính từ đầu biến trở. Biến trở loại này dùng để đo di chuyển thẳng. Nếu chế tạo biến trở quay quanh trục có thể dùng để đo di chuyển góc.

b) *Chuyển đổi nhạy với lực căng.* Cấu tạo gồm miếng giấy mỏng làm đế, trên đó dán một sợi dây mảnh hình răng lược (hình 10-36) bằng constantan nicrom. Mặt trên chuyển đổi lại dán một lớp giấy mỏng để bảo vệ.

Chuyển đổi được dán lên trên các chi tiết cần đo biến dạng, sao cho các dây răng lược theo chiều biến dạng.

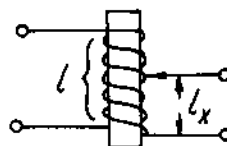
Sự biến thiên của điện trở chuyển đổi

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\sigma}{E}$$

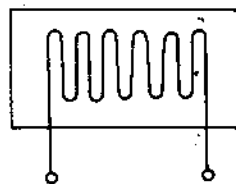
Trong đó : K là độ nhạy của chuyển đổi

σ là ứng suất tác dụng lên chuyển đổi cần đo

E là môđun đàn hồi.



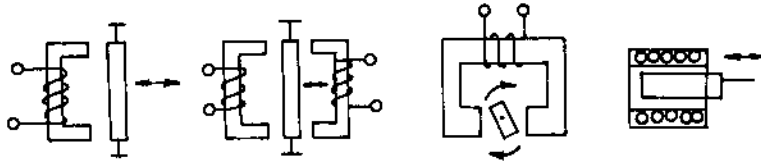
Hình 10-35. Biến trở



Hình 10-36. Chuyển đổi nhạy với lực căng

c) Chuyển đổi điện từ

Là chuyển đổi trong đó đại lượng không điện (thường là các di chuyển thẳng hay góc) dẫn đến thay đổi điện cảm, hồ cảm hoặc xuất hiện sức điện động cảm ứng ở cuộn dây. Hình 10-37 vẽ nguyên lý của một số chuyển đổi điện từ. Sự di chuyển của phần động mạch từ làm thay đổi điện cảm của cuộn dây.



Hình 10-37. Một số chuyển đổi điện từ.

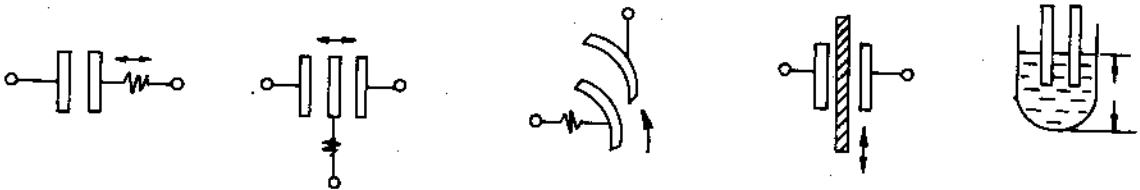
d) Chuyển đổi điện dung. Điện dung của tụ điện (hình 10-38)

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

trong đó : ϵ là hằng số điện môi

S là diện tích bản cực

d là khoảng cách giữa các bản cực



Hình 10-38. Sơ đồ của một số chuyển đổi điện dung

Sự di chuyển của khoảng cách giữa hai điện cực, góc quay hay chiều dày của điện môi có thể dẫn tới biến thiên của điện dung tụ điện.

e) **Chuyển đổi nhiệt điện.** Trong chuyển đổi nhiệt điện, sự biến thiên của nhiệt độ dẫn tới sự xuất hiện sức điện động cảm ứng (nhiệt ngẫu) hay dẫn tới thay đổi điện trở của nó (nhiệt điện trở).

Quá trình có liên hệ chặt chẽ với môi trường xung quanh, diện tích trao đổi nhiệt, tốc độ chuyển động của môi trường, nồng độ của môi trường dẫn điện vì thế các chuyển đổi nhiệt không những chỉ dùng đo nhiệt độ mà còn dùng để đo độ ẩm, tốc độ, di chuyển v.v...

3. Một số mạch đo lường các lượng không điện

a) **Đo ứng suất.** Để đo ứng suất tại một điểm người ta dán chuyển đổi nhạy với lực căng và là một nhánh của cầu (hình 10-39). Sự biến thiên của điện áp ra trên đường chéo của cầu được khuếch đại và đưa vào cơ cấu đo.

b) *Đo nhiệt độ.* Ta dùng các chuyển đổi nhiệt ngẫu hoặc nhiệt điện trở. Hình 10-40 là sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo nhiệt độ bằng nhiệt ngẫu. Mạch đo bằng phương pháp bù. Dòng điện làm việc xác định chính xác bằng pin mẫu E_N và điện trở mẫu r_n .

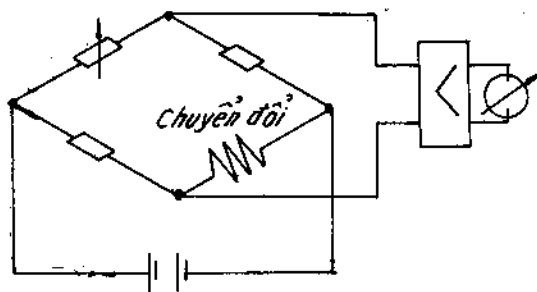
Đóng cầu dao về vị trí 1 và điều chỉnh biến trở r cho điện kế chỉ không ta có :

$$I_{iv} = \frac{E_N}{r_n}$$

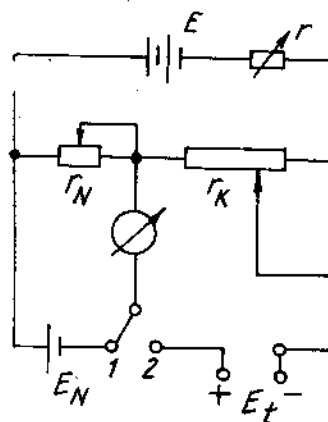
Đóng cầu dao về vị trí 2 và điều chỉnh r_K để cầu cân bằng ta có $E_t = r_K \cdot I_{iv}$. Chú ý là không thay đổi biến trở r để cho dòng điện làm việc không đổi.

Biết trị số sức điện động E_t ta dễ dàng suy nhiệt độ cần đo.

Sau đây là một số đặc tính của các nhiệt ngẫu thường gặp



Hình 10-39. Đo ứng suất.



Hình 10-40. Đo nhiệt độ bằng nhiệt ngẫu dùng phương pháp bù.

Tên nhiệt ngẫu	Giới hạn nhiệt độ		sdd nhiệt, mV/100°C
	liên tục	gián đoạn	
Platin - Hợp kim (90% Pt + 10% Rh)	1300	1750	0,64
Cromen (90% Ni + 10% Cr)-			
Alumen (90% Ni + 5% Al)	900	1300	4,10
Cromen - Cope (56% Cu + 44% Ni)	600	800	6,95
Đồng - copen	350	500	4,75
Đồng - Constantan	350	500	4,15

§10-7. ĐO LƯỜNG SỐ

Ngày nay đo lường số là tiến bộ kỹ thuật quan trọng trong các dụng cụ đo vì có độ chính xác cao và gắn liền với hệ thống tính toán, điều khiển số. Trong đo lường số bộ phận chỉ thị thường có 2 loại :

1. **Chỉ thị số đèn phóng điện nhiều cực**, đó là một đèn nêông gồm 1 anốt và 10 catốt có hình các số từ 0 đến 9. Khi có điện áp giữa anốt và catốt nào đó thì catốt đó sẽ sáng lên và con số đó xuất hiện. Ưu điểm của chỉ thị này là có độ sáng rõ nhưng tiêu thụ công suất lớn, điện áp cao.

2. Chỉ thị diốt phát quang hoặc tinh thể lỏng ghép 7 thanh (hình 10-41)

Diốt phát quang là chất bán dẫn phát sáng khi đặt vào điện áp một chiều, còn tinh thể lỏng dưới tác dụng của điện áp sẽ chuyển pha từ trạng thái trong suốt sang trạng thái mờ và ta có thể nhìn thấy mẫu sắc ở nền đằng sau. Tinh thể lỏng tiêu thụ công suất rất nhỏ ($0,1 \mu A$ một thanh) còn diốt phát quang là $10mA$.

Để chỉ thị số tác động cần có bộ giải mã để biến mã nhị phân thành điện áp điều khiển các đèn chỉ thị hay các thanh sáng của diốt phát quang.

Muốn vậy ta cần phải biến đổi tín hiệu tương tự cần đo thành số (bộ biến đổi AD). Quá trình biến đổi có thể có nhiều nguyên lý khác nhau, phổ biến nhất là biến đổi đại lượng tương tự thành tần số hoặc khoảng thời gian.

Sơ đồ nguyên lý của dụng cụ đo lường số điển hình, như vonmét số, được vẽ trên hình 10-42a. Đồ thị thời gian của nó vẽ trên hình 10-42b.

Vào thời điểm t_1 ta phát lệnh đo, nhờ khối chuyển trạng thái (tri-gơ), các công việc sau đây được thực hiện cùng một lúc :

- Khóa K nối thông mạch để các tín hiệu xung có tần số f_0 của khối phát xung chuẩn đưa vào bộ đếm.

- Điện áp không đổi U_0 bắt đầu được lấy tích phân và đưa vào bộ so sánh, ở đó tích phân của điện áp U_0 luôn luôn được so sánh với điện áp cần đo U_x .

Tới thời điểm t_2 , khi mà

$$U_x = \int_{t_1}^{t_2} U_0 dt,$$

dấu ra của bộ so sánh sẽ tự động phát lệnh đến khối trigơ để kết thúc công việc.

Như vậy thời gian bộ đếm làm việc là :

$$\begin{aligned} t_x &= t_2 - t_1 \\ &= U_x/k, \end{aligned}$$

k - là hằng số.

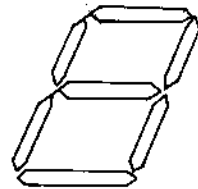
Trong khoảng thời gian ấy số xung N đếm được

$$\begin{aligned} N &= t_x/T_0 \\ &= t_x \cdot f_0 \\ &= U_x \cdot f_0/k \end{aligned}$$

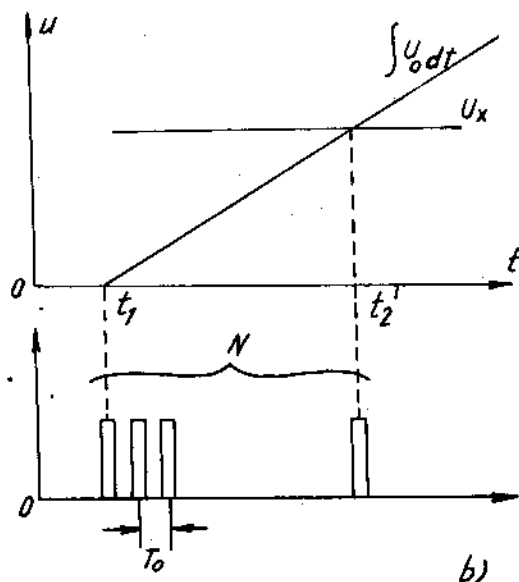
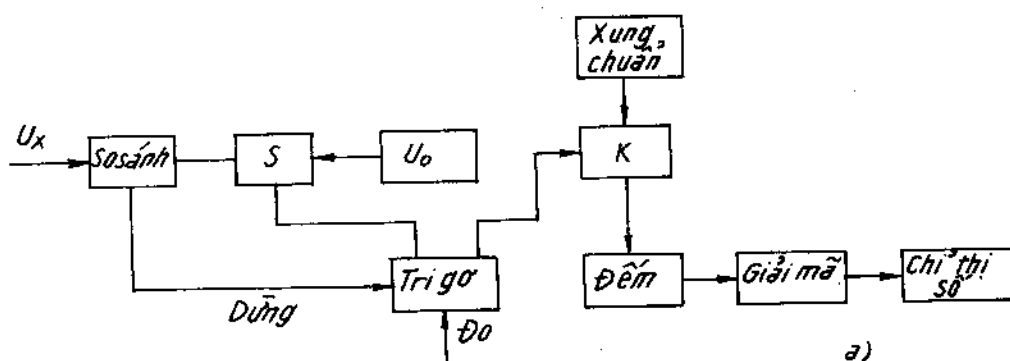
$$\text{hay } U_x = \frac{k}{f_0} \cdot N,$$

T_0 - chu kỳ của xung chuẩn.

Thông qua khối giải mã sẽ hiện số giá trị của U_x .



Hình 10-41. Chỉ thị số ghép 7 thanh



Hình 10-42

Đo dòng điện bằng ampe mét số, thực chất là đo điện áp rơi trên điện trở mẫu đã biết bằng vôn mét số.

Ôm mét số gồm một cầu đo điện trở trong đó điện trở cần đo là một nhánh của cầu. Điện áp xuất hiện trên đường chéo của cầu được đo bằng vôn mét số.

Chương 11

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN

Điều khiển máy điện là lĩnh vực nghiên cứu ứng dụng các thiết bị, khí cụ và sơ đồ điều khiển nhằm mục đích đảm bảo sự vận hành các loại máy phát điện và động cơ điện theo yêu cầu thực tiễn.

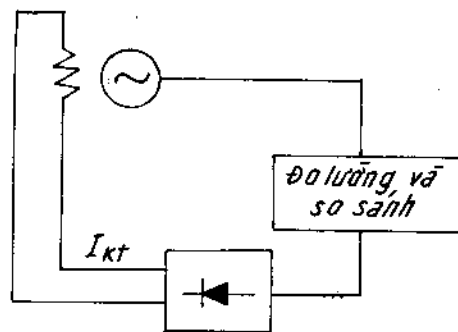
Phần lớn các máy sản xuất được truyền động bằng động cơ điện. Động cơ điện được sử dụng rộng rãi do có hiệu suất cao, tác động nhanh, dễ dàng điều khiển và tự động hóa, làm việc tin cậy, hệ thống cung cấp năng lượng tiện lợi và kinh tế. Các máy phát điện là nguồn điện chủ yếu cung cấp cho phụ tải, chất lượng điện năng phụ thuộc vào điện áp và tần số của máy phát điện.

§11-1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN MÁY PHÁT ĐIỆN

Việc vận hành máy phát điện cần thiết phải tự động điều chỉnh điện áp và tần số. Ngoài ra còn cần điều chỉnh công suất tác dụng, công suất phản kháng và các biện pháp để hòa đồng bộ các máy phát điện.

1. Tự động điều chỉnh điện áp của máy phát điện

Điện áp của máy phát đồng bộ được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Có nhiều sơ đồ điều khiển khác nhau như dùng máy biến áp tổng hợp, cuộn kháng có điều khiển hoặc chỉnh lưu có điều khiển. Nguyên lý chung của việc tự động điều chỉnh điện áp được trình bày trong sơ đồ khối hình 11-1. Khối đo lường và so sánh thực hiện chức năng đo và so sánh điện áp chuẩn với điện áp trên đầu cực của máy phát, sai lệch sẽ được chỉnh lưu và làm biến thiên dòng điện kích từ để giữ điện áp không đổi.



Hình 11-1. Sơ đồ nguyên lý tự động điều chỉnh điện áp của máy phát đồng bộ.

Ở máy phát kích từ bằng máy phát điện một chiều khối đo lường và so sánh cho sai lệch và được chỉnh lưu để biến thiên dòng điện kích từ của máy phát điện một chiều.

Việc tự động điều chỉnh tần số được thực hiện bằng cách điều chỉnh tốc độ quay của động cơ sơ cấp. Các máy phát điện được điều chỉnh tần số bằng cơ cấu ly tâm của Watt. Khi tốc độ thay đổi, lực ly tâm tác động vào cơ cấu thay đổi sẽ dẫn đến đóng hoặc mở lượng hơi hoặc nước vào tua bin giữ cho tốc độ của động cơ sơ cấp không đổi.

2. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng.

Trong chương máy điện đồng bộ đã phân tích việc điều chỉnh công suất tác dụng bằng cách điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp nghĩa là điều chỉnh lượng hơi hoặc lượng nước vào tua bin. Điều chỉnh công suất phản kháng bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ của máy phát.

§11 - 2. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

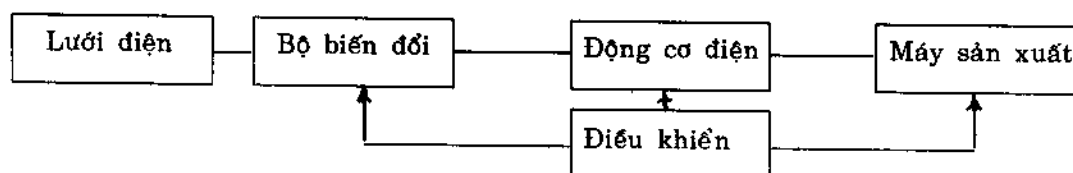
Truyền động điện là hệ thống thiết bị điện cơ dùng để truyền dẫn và điều khiển quá trình chuyển động của máy sản xuất.

Các phần tử cơ bản của hệ thống truyền động điện bao gồm :

1. Động cơ điện : Biến đổi điện năng thành cơ năng quay các máy sản xuất.
2. Máy sản xuất : Là thiết bị cơ khí thực hiện chức năng theo công nghệ sản xuất đòi hỏi.
3. Bộ biến đổi : Dùng để biến đổi nguồn điện lưới thành nguồn điện phù hợp với động cơ về điện áp, tần số.
4. Hệ thống điều khiển và bảo vệ nhằm thực hiện các chức năng cơ bản sau đây :

- Mở máy và hãm máy thực hiện chức năng hạn chế dòng điện và mômen của động cơ trong giới hạn cho phép.
- Điều chỉnh tốc độ của động cơ theo yêu cầu của công nghệ đòi hỏi.
- Duy trì chế độ làm việc của động cơ khi có dao động của điện áp lưới, của tải trên trục động cơ.
- Bảo vệ động cơ khi quá tải và ngắn mạch.

Sơ đồ khối của một hệ thống truyền động điện cho trên hình 11 - 2.



Hình 11 - 2. Sơ đồ khối hệ thống truyền động điện.

§11-3. MÔMEN TÁC ĐỘNG TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

1. Phương trình chuyển động của truyền động điện

Khi hệ thống truyền động điện làm việc có các loại mômen sau đây tác động lên hệ thống :

- Mômen động cơ M_d là mômen quay do động cơ tạo nên đóng vai trò làm chuyển động hệ thống truyền động.
- Mômen cản M_c là mômen cản của tải, quy luật biến thiên của nó phụ thuộc vào tính chất tải của máy sản xuất.

Giả thiết mômen quán tính của hệ thống truyền động điện là J và tốc độ quay của hệ thống là ω thì phương trình truyền động của hệ thống sẽ là :

$$M_d - M_c = \frac{d(J\omega)}{dt} \quad (11-1)$$

Nếu mômen quán tính không đổi thì :

$$M_d - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (11-2)$$

Khi $M_d > M_c$ ta thấy $\frac{d\omega}{dt} > 0$ động cơ tăng tốc

Khi $M_d < M_c$ thì $\frac{d\omega}{dt} < 0$ động cơ giảm tốc

Khi $M_d = M_c$ thì $\frac{d\omega}{dt} = 0$ động cơ làm việc ở chế độ xác lập và có tốc độ quay không đổi.

Phương trình (11-1), (11-2) là phương trình cơ bản của truyền động điện. Nhờ phương trình (11-2) có thể tính toán gần đúng thời gian mở máy hoặc hãm máy đến tốc độ ω khi biết mômen mở máy hay mômen hãm trung bình và mô men cản tĩnh không phụ thuộc vào tốc độ.

Khi mở máy ta có thời gian mở máy $t_{mở}$:

$$t_{mở} = \frac{J \cdot \omega}{M_{tb} - M_c}$$

trong đó M_{tb} là mômen mở máy trung bình của động cơ.

Khi hãm máy đến dừng ta có thời gian hãm $t_{hãm}$:

$$t_{hãm} = \frac{J \cdot \omega}{M_{hãm} + M_c}$$

trong đó $M_{hãm}$ là mômen hãm trung bình của động cơ hoặc thiết bị hãm.

Khi cắt động cơ ra khỏi lưới điện không có thiết bị hãm

$$t_{hãm} = \frac{J \cdot \omega}{M_c}$$

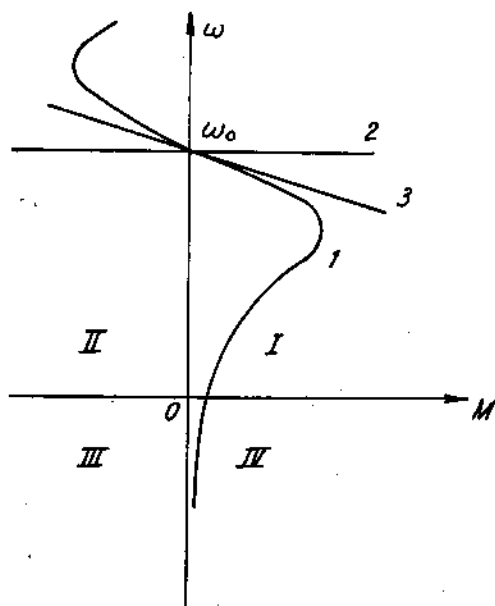
2. Đặc tính cơ của động cơ điện

Trong các chương trước ta đã nghiên cứu đặc tính cơ của các loại động cơ điện. Khi nghiên cứu truyền động điện đặc tính cơ của động cơ được xét trên cả bốn góc phần tư của hệ tọa độ $M(\omega)$, (hình 11-3).

Trên góc phần tư thứ nhất và thứ ba mômen và tốc độ cùng chiều máy điện làm việc ở chế độ động cơ.

Ở góc phần tư thứ hai và thứ tư mômen ngược chiều với tốc độ máy điện làm việc ở chế độ hãm, ở phần tư thứ hai là chế độ hãm máy phát còn ở góc thứ tư là hãm ngược.

Trên hình 11-3 đường 1 là đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ, đường 2 là của động cơ đồng bộ còn đường 3 là của động cơ một chiều kích từ song song.



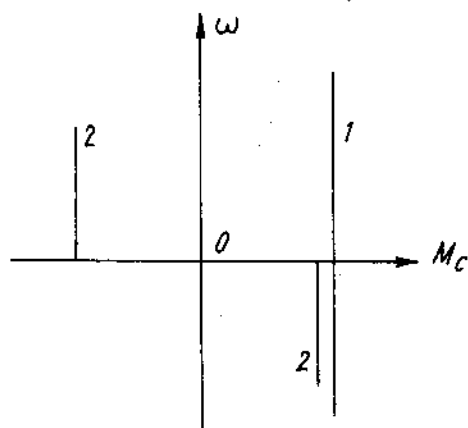
Hình 11-3. Đặc tính cơ của động cơ điện.

3. Đặc tính cơ của máy sản xuất

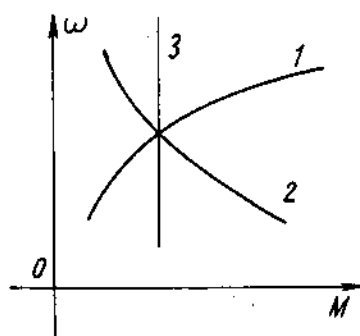
Các máy sản xuất tạo nên mômen cản đối với động cơ. Có hai loại mômen cản : Mômen cản tĩnh tác dụng và mômen cản tĩnh phản kháng. Mômen cản tĩnh tác dụng có chiều không đổi khi thay đổi chiều quay do các nguồn năng lượng cơ tạo nên, ví dụ như trọng lực của các tải trọng khi nâng hạ, lực cản, lực uốn v.v... và được biểu diễn trên đường 1 hình 11-4.

Mômen cản tĩnh phản kháng luôn có chiều ngược với chiều chuyển động do đó có chiều thay đổi khi đổi chiều quay (đường 2 hình 11-4). Ví dụ mômen cản của các máy gia công cơ khí, của máy bơm, quạt gió v.v...

Sự phụ thuộc giữa tốc độ quay ổn định và mômen cản tĩnh của máy sản xuất gọi là đặc tính cơ của máy. Hình 11-5 trình bày đặc tính cơ của một số máy sản xuất. Đường 1 là đặc tính cơ của quạt, bơm li tâm, máy nén có mômen cản tăng khi tốc độ tăng. Đường 2 là đặc tính cơ của một số máy cắt gọt kim loại, đường 3 là đặc tính cơ của cơ cấu nâng chuyển.



Hình 11-4. Mômen cân tác dụng và phản kháng.



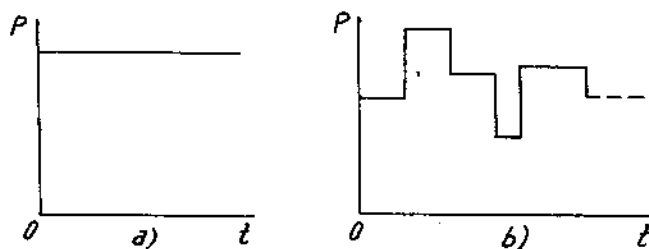
Hình 11-5. Đặc tính cơ của máy sản xuất.

§11-4. TÍNH CÔNG SUẤT VÀ CHỌN ĐỘNG CƠ

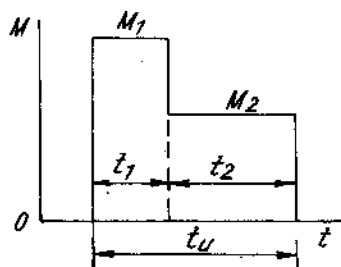
Việc tính đúng công suất của động cơ điện sẽ bảo đảm độ tin cậy và tính kinh tế của truyền động điện. Động cơ có công suất nhỏ sẽ không bảo đảm nhiệm vụ truyền động máy sản xuất, chống hư hỏng, ngược lại động cơ có công suất lớn hơn sẽ làm việc với hiệu suất thấp, giá thành thiết bị tăng. Khi làm việc tổn hao năng lượng trong động cơ gây ra phát nóng, do đó một trong những điều kiện cơ bản để chọn đúng động cơ là việc phát nóng của chúng. Động cơ sẽ có công suất sao cho khi làm việc, nhiệt độ của động cơ nhỏ hơn hay bằng nhiệt độ cho phép để không phá hủy cách điện và các phần tử của động cơ

1. Phân loại các chế độ làm việc

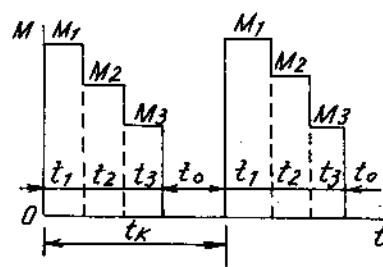
Xuất phát từ đặc điểm phát nóng và làm mát của động cơ, có ba chế độ làm việc chính của động cơ : dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại. Tuy nhiên khi xét đến các chế độ cụ thể của tải có thể chia thành nhiều chế độ khác nhau như tải thay đổi, tải không đổi, có xét đến quá trình mở máy, quá trình hãm máy, có nhiều cấp tốc độ v.v... Ở chế độ làm việc dài hạn động cơ làm việc liên tục, nhiệt độ tất cả các phần tử kể cả phần tử truyền động đạt đến nhiệt độ xác lập, như truyền động các máy nén khí, quạt, thông gió v.v... Đồ thị phụ tải vẽ trên hình 11 - 6.



Hình 11 - 6. Đồ thị phụ tải làm việc dài hạn : Phụ tải không đổi (a), thay đổi (b).



Hình 11-7 Phụ tải động cơ làm việc ngắn hạn.



Hình 11-8 Phụ tải động cơ làm việc ngắn hạn lặp lại.

Ở chế độ làm việc ngắn hạn động cơ chỉ làm việc trong thời gian ngắn, nhiệt độ của các phần tử kể cả phần tử truyền động chưa đạt đến nhiệt độ xác lập, thời gian nghỉ tương đối dài nên nhiệt độ của động cơ giảm đến nhiệt độ của môi trường xung quanh. Đồ thị tải vẽ trên hình 11 - 7. Động cơ làm việc ở chế độ này như các động cơ mở cửa đập.

Ở chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại động cơ làm việc và nghỉ với tần số không đổi. Trong thời gian làm việc nhiệt độ của động cơ chưa đạt đến nhiệt độ xác lập, đồng thời sau thời gian nghỉ nhiệt độ chưa giảm đến nhiệt độ của môi trường xung quanh.

Thời gian làm việc và nghỉ của một chu kỳ gọi là chu trình t_{ct} . Thời gian chu trình t_{ct} không vượt quá 10 phút. Đồ thị phụ tải vẽ trên 11 - 8. Động cơ các cầu trục, các máy cắt kim loại làm việc ở chế độ này. Đặc trưng của chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại là hệ số làm việc tương đối TS% :

$$TS = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + t_o} 100\% \approx \frac{t_{lv}}{t_{ct}} 100\% \quad (11 - 3)$$

2. Tính công suất và chọn động cơ làm việc chế độ dài hạn

Động cơ làm việc chế độ dài hạn khi phụ tải không đổi có thể tiến hành chọn công suất theo lý lịch máy. Động cơ có công suất định mức P_{dm} lớn hơn hay bằng công suất tải P_j ($P_{dm} \geq P$).

Một vài thiết bị làm việc dài hạn có mômen cản không đổi có thể có công thức gần đúng để xác định công suất tải của động cơ sau :

Với máy nén khí :

$$P = \frac{QA}{\eta_n \cdot \eta_{td}} 10^{-3} \text{ kW} \quad (11 - 4)$$

trong đó Q - lưu lượng máy nén, m^3/s .

A - hệ số tính toán để máy nén khí ép 1m^3 khí từ áp suất $1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ đến áp suất p yêu cầu, đo bằng N/m^2 ;

η_n và η_{td} - là hiệu suất máy nén và hiệu suất truyền động.

Với quạt gió :

$$P = \frac{k_d Q p}{\eta_q \cdot \eta_{td}} 10^{-3} \text{ kW} \quad (11-5)$$

trong đó : k_d là hệ số dự trữ (với công suất dưới 1kW - $k_d = 2$, dưới 2kW - $k_d = 1,5$; dưới 5kW - $k_d = 1,1 + 1,5$);

Q - lưu lượng gió, m^3/s ;

p - áp suất, N/m^2 ;

η_q và η_{td} - hiệu suất quạt và hiệu suất truyền động.

$$\text{Với máy bơm : } P = \frac{k_d Q H \gamma}{1,02 \eta_b \eta_{td}} 10^{-3} \text{ kW} \quad (11-6)$$

trong đó k_d - hệ số dự trữ (công suất dưới 50kW - $k_d = 1,2$; công suất từ 50 đến 350kW - $k_d = 1,1,5$; công suất lớn hơn 350kW - $k_d = 1,1$);

Q - lưu lượng bơm, m^3/s ;

H - chiều cao cột nước bơm, m ;

γ - khối lượng riêng chất lỏng, kg/m^3

η_b và η_{td} - hiệu suất bơm và hiệu suất truyền động.

Khi phụ tải biến đổi phải dựa vào đồ thị tải để tính toán nhiệt đối với động cơ. Tuy nhiên việc tính toán rất cồng kềnh và phức tạp, để thuận lợi người ta dùng phương pháp tổn hao trung bình. Cơ sở của phương pháp này là chọn điều kiện công suất tổn hao trung bình trong chu trình làm việc không được vượt quá trị số công suất tổn hao định mức của động cơ, nghĩa là :

$$\begin{aligned} \Delta p_{tb} &\leq \Delta p_{dm} \\ \text{Ta có : } \Delta p_{dm} &\geq \frac{\Delta p_1 t_1 + \Delta p_2 t_2 + \dots}{t_{ct}} \end{aligned} \quad (11-7)$$

Chọn theo biểu thức (11 - 7) là để lượng nhiệt tỏa ra khi làm việc theo đồ thị phụ tải không được lớn hơn khi làm việc với công suất định mức trong cùng một thời gian.

Dựa trên phương pháp tổn hao trung bình với một số điều kiện đơn giản hóa cho phép ta có thể dùng các phương pháp trị số tương đương.

Nếu xem tổn hao không đổi trong động cơ không phụ thuộc vào tải, còn tổn hao đồng tỷ lệ với trị số bình phương của dòng điện ta có thể xác định dòng điện tương đương về nhiệt của động cơ như sau :

$$I_{td} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots}{t_{ct}}} \quad (11-8)$$

Chọn động cơ có dòng điện định mức $I_{dm} \geq I_{td}$.

Phần lớn các động cơ điện có mômen tỷ lệ với dòng điện nên từ phương pháp dòng điện tương đương có thể suy ra phương pháp mômen nhiệt tương đương :

$$M_{td} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots}{t_{ct}}} \quad (11-9)$$

Phương pháp này không sử dụng với các động cơ có từ thông biến đổi như động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp, động cơ điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông v.v...

Nếu động cơ điện có đồ thị phụ tải theo công suất $p(t)$ và loại động cơ có tốc độ thay đổi không đáng kể, có thể dùng phương pháp công suất nhiệt tương đương :

$$P_{td} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots}{t_{ct}}} \quad (11-10)$$

Sau khi chọn động cơ có lượng định mức lớn hơn các lượng tương đương tính toán (11-8), (11-9) và (11-10) theo đồ thị phụ tải, cần phải tiến hành kiểm tra khả năng quá tải và mô men mở máy.

Theo đồ thị phụ tải có thể có những thời điểm động cơ bị quá tải, do đó trị số quá tải cho phép của động cơ được chọn phải lớn hơn trị số cực đại của đồ thị tải. Khả năng quá tải của động cơ đặc trưng bởi hệ số quá tải. Hệ số quá tải của động cơ không đồng bộ bằng tỉ số mô men cực đại và mô men định mức của động cơ có kể đến diện áp các pha của động cơ giảm :

$$k_{qt} = (0,8 - 0,85) \frac{M_{max}}{M_{dm}} \quad (11-11)$$

trong đó k_{qt} là hệ số quá tải

M_{max} là mômen cực đại động cơ

M_{dm} là trị số mômen định mức của động cơ.

Đối với máy điện một chiều khả năng quá tải giới hạn do dòng điện ở vành góp. Với động cơ điện một chiều kích từ song song và hỗn hợp chọn $I_{max}/I_{dm} = 2 + 2,5$; với động cơ kích từ nối tiếp $I_{max}/I_{dm} = 2,5 + 3$. Với động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc phải kiểm tra điều kiện mômen mở máy vì loại động cơ này có mômen mở máy nhỏ. Để động cơ có thể làm việc được mômen mở máy $M_{mở}$ phải lớn hơn mômen tải ban đầu M_{bd} .

3. Tính công suất và chọn động cơ làm việc ở chế độ ngắn hạn

Người ta chế tạo riêng loại động cơ chuyên làm việc ở chế độ ngắn hạn. Do đó phải chọn động cơ chuyên làm việc ngắn hạn có công suất định mức P_{dm} lớn hơn công suất tính toán của tải ngắn hạn $P_{nh} : P_{dm} > P_{nh}$.

Có thể dùng động cơ chế tạo ở chế độ làm việc dài hạn cho trường hợp tải ngắn hạn. Tuy nhiên để tận dụng hết khả năng chịu phát nóng của động cơ, ta cho động cơ làm việc quá tải nghĩa là chọn $P_{dm} < P_{nh}$:

$$P_{dm} = \frac{P_{nh}}{k_{qt}} \quad (11-12)$$

trong đó k_{qt} là hệ số quá tải, với động cơ một chiều $k_{qt} = 2 + 2,5$; động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc $1,7 + 2,2$;

Động cơ không đồng bộ rôto dây quấn $2 + 2,5$.

4. Tính công suất và chọn động cơ làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại

Người ta cũng chế tạo riêng các loại động cơ chuyên làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại, ứng với các hệ số làm việc tương đối $TS\% = 15, 25, 40, 60\%$.

Ở chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại ngoài việc tính công suất theo đồ thị tải P_{nhll} còn phải tính hệ số làm việc tương đối $TS\%$.

Nhìn vào biểu thức xác định tỷ số làm việc tương đối TS% (11-3) thấy rằng TS% tăng khi thời gian nghỉ t_0 giảm nghĩa là động cơ làm việc nặng nhọc hơn. Tính đối công suất P_{nhl} của động cơ ứng với hệ số làm việc TS% này sang hệ số làm việc TS% khác theo biểu thức :

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{TS_1\%}{TS_2\%}} \quad (11-13)$$

Ví dụ : Động cơ có công suất 28 kW ứng với hệ số TS% = 15%, khi TS% = 40% sẽ có công suất là :

$$P_2 = 28 \sqrt{\frac{15}{40}} = 17,1 \text{ kW}$$

và khi làm việc dài hạn (TS% = 100%) có công suất là :

$$P_2 = 28 \sqrt{\frac{15}{100}} = 10,86 \text{ kW}$$

§11-5. CHỌN LOẠI ĐỘNG CƠ

Để truyền động các máy phải chọn động cơ điện sao cho thỏa mãn được các yêu cầu kinh tế kỹ thuật. Cần thiết chọn động cơ điện có điều khiển đơn giản, độ tin cậy cao trong vận hành, giá thành, trọng lượng, kích thước nhỏ, cũng như các chỉ tiêu về năng lượng phải cao. Trong các động cơ điện chỉ có động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc có thể thỏa mãn yêu cầu trên. Vì thế động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc được sử dụng rộng rãi trong tất cả các lãnh vực của nền kinh tế quốc dân. Khi cần yêu cầu mômen mở máy lớn có thể dùng động cơ lồng sóc kép hoặc rãnh sâu.

Động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có trọng lượng, kích thước, giá thành lớn, độ tin cậy trong vận hành nhỏ, được dùng khi có yêu cầu mô men mở máy lớn, hoặc khi có yêu cầu điều chỉnh tốc độ trong phạm vi hẹp.

Đối với truyền động điện công suất trung bình và lớn, không điều chỉnh, làm việc liên tục thì nên sử dụng động cơ đồng bộ. Loại động cơ này có hiệu suất cao và cho phép điều chỉnh hệ số công suất, cần thiết cho những nơi có yêu cầu bù công suất phản kháng.

Động cơ điện một chiều kích từ song song sử dụng khi có yêu cầu điều chỉnh tốc độ sâu, bằng phẳng hoặc khi cần tốc độ thấp.

Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp được dùng rộng rãi trong giao thông vận tải, trong thiết bị nâng hạ, vì đặc tính cơ của chúng có độ cứng thay đổi, khi mômen lớn độ cứng lớn hơn khi mômen nhỏ.

Ngoài ra còn phải chọn động cơ có cấu trúc phù hợp với môi trường xung quanh. Ứng với các môi trường không bình thường người ta chế tạo các loại động cơ chịu hóa chất, động cơ chịu ẩm ướt, động cơ kiểu kín làm việc trong môi trường nhiều bụi, động cơ phòng nổ v.v...

Cần chú ý chọn động cơ có điện áp và tần số định mức trùng với điện áp và tần số lưới. Động cơ có tốc độ định mức phù hợp với máy công tác, vì sử dụng thiết bị truyền sẽ làm giảm hiệu suất và tăng giá thành thiết bị. Ngoài ra cũng cần chú ý đến số pha và cách đấu dây động cơ.

CÁC THIẾT BỊ VÀ SƠ ĐỒ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN

§12-1. CÁC THIẾT BỊ ĐIỀU KHIỂN

Trong quá trình làm việc cần thiết phải mở máy, điều chỉnh tốc độ, hãm, đảo chiều quay v.v... Các thiết bị điều khiển bằng tay hay tự động làm nhiệm vụ điều khiển và bảo vệ truyền động điện.

Đối với các máy phát điện cần điều chỉnh điện áp, công suất, tần số, bảo vệ quá tải và ngắn mạch.

Các thiết bị điều khiển bằng tay được sử dụng khi yêu cầu đóng cắt mạch điện không thường xuyên, công suất không lớn như các cầu dao, nút ấn, chuyển mạch...

Để đóng cắt không thường xuyên ta thường dùng aptômát (hình 12-1). Trong aptômát hệ thống tiếp điểm có bộ phận dập hồ quang và các bộ phận tự động cắt mạch để bảo vệ quá tải và ngắn mạch. Bộ phận cắt mạch điện bằng tác động điện từ theo dòng điện cực đại. Khi dòng điện vượt quá trị số cho phép chúng sẽ cắt mạch điện để bảo vệ ngắn mạch, ngoài ra còn có role nhiệt để bảo vệ quá tải.

Phần tử cơ bản của role nhiệt là bản lưỡng kim 1 gồm 2 miếng kim loại khác chất có độ giãn nở khác nhau hàn lại (hình 12-2). Bản lưỡng kim được đốt nóng bằng điện trở 2 có dòng điện của mạch cần bảo vệ chạy qua. Khi làm việc bình thường ($I = I_{dm}$) sự phát nóng không đủ làm bản lưỡng kim biến dạng. Khi dòng điện vượt quá định mức, bản lưỡng kim bị nóng và biến dạng sẽ giải phóng tay đòn 7. Dưới tác dụng của lò xo 4 tay đòn 7 sẽ quay quanh trục 8 cắt tiếp điểm 6 của mạch điều khiển. Nút ấn 3 dùng để đưa role nhiệt về vị trí ban đầu sau khi đã nguội.

Các role điện từ, công tác cơ tác dụng nhờ lực hút điện từ. Hình 12-3 là cơ cấu role điện từ gồm các bộ phận chính sau :

1. Cuộn dây hút
2. Mạch từ tĩnh làm bằng vật liệu sắt từ.
3. Phần động (còn gọi là phần ứng).
4. Hệ thống tiếp điểm.

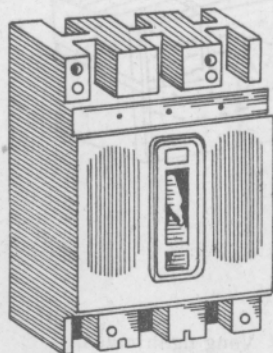
Mạch từ của role có dòng điện một chiều chạy qua làm bằng thép khối, còn của role xoay chiều làm bằng lá thép kĩ thuật điện. Ngoài ra để chống rung vì lực hút của nam châm điện có dạng xung trên mặt cực người ta đặt vòng ngắn mạch (hình 12-4).

Sức điện động cảm ứng trong vòng ngắn mạch sẽ tạo ra dòng điện và làm cho từ thông qua vòng ngắn mạch lệch pha với từ thông chính, nhờ đó lực hút phần ứng không bị gián đoạn, các tiếp điểm luôn được tiếp xúc tốt.

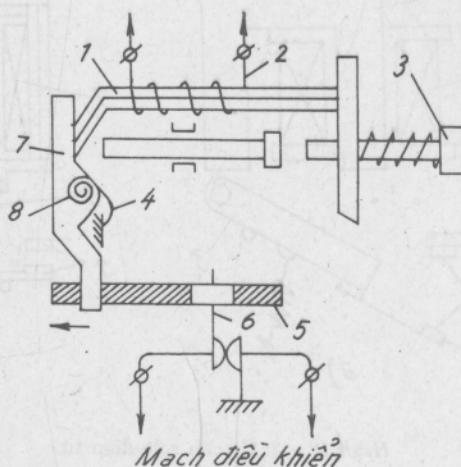
Tùy theo nguyên lí tác động người ta chế tạo nhiều loại thiết bị điều khiển khác nhau như role dòng điện, role điện áp, role thời gian v.v...

Hệ thống tiếp điểm có cấu tạo khác nhau và thường được mạ bạc hay thiếc để đảm bảo tiếp xúc tốt. Các thiết bị đóng cắt mạch động lực có dòng điện lớn, hệ thống tiếp điểm chính có bộ phận dập tắt hồ quang, ngoài ra có tiếp điểm phụ để đóng cắt mạch điều khiển. Tùy theo trạng thái tiếp điểm người ta chia ra các loại tiếp điểm thường đóng, thường mở, thường đóng hoặc thường mở có thời gian v.v...

Bảng 12-1 là kí hiệu thường gặp trong các sơ đồ điều khiển. Cùng với sự phát triển của kĩ thuật điện tử và điện tử công suất người ta đã chế tạo các thiết bị điều khiển không tiếp điểm.



Hình 12 - 1. Hình dáng và ký hiệu của aptomat.

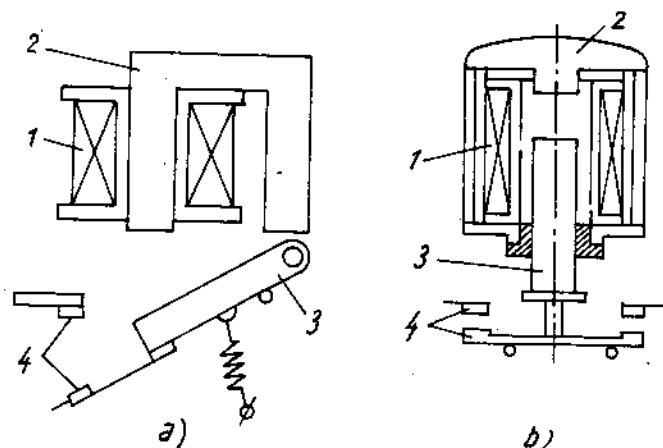


Hình 12 - 2. Cấu tạo của role nhiệt.

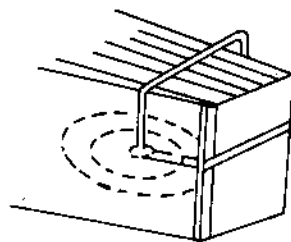
Bảng 12-1

Ký hiệu trong các sơ đồ điều khiển

TT	Tên gọi	Ký hiệu
1	Tiếp điểm cầu dao, máy cắt, aptomat	
	a- thường mở	
	b- thường đóng	
2	Tiếp điểm công tắc tơ, khởi động từ, role	
	a- thường mở	
	b- thường đóng	
	c- thường mở khi đóng có thời gian	
	d- thường mở khi mở có thời gian	
	đ- thường đóng khi đóng có thời gian	
	e- thường đóng khi mở có thời gian	
3	Tiếp điểm có bộ phận dập hồ quang	
	a- thường mở	
	b- thường đóng	
4	Tiếp điểm có bộ phận trả lại vị trí ban đầu bằng tay.	
	a- thường mở	
	b- thường đóng	
5	Nút ấn thường mở	
6	Nút ấn thường đóng	
7	Cuộn dây role, công tắc tơ, khởi động từ	
8	Cuộn dây role nhiệt	



Hình 12-3. Cơ cấu role điện từ.



Hình 12-4. Vòng ngắn mạch.

§12-2. NGUYÊN TẮC TỰ ĐỘNG ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH MỞ MÁY VÀ HẠM ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tùy thuộc vào tính chất của động cơ điện mà có những phương pháp mở máy, dừng máy khác nhau. Trong nhiều trường hợp khi mở máy động cơ người ta dùng các phương pháp hạn chế dòng điện mở máy bằng các điện trở phụ. Khi tốc độ động cơ tăng lên thì dòng điện giảm dần và tiến hành cắt bỏ dần các điện trở phụ đi cho đến khi quá trình mở máy hoàn thành. Việc cắt các điện trở phụ được tiến hành qua những khoảng thời gian xác định ở những tốc độ xác định và ở các độ lớn xác định của dòng điện. Như vậy điều khiển quá trình mở máy của động cơ có thể thực hiện theo các nguyên tắc thời gian, dòng điện và tốc độ.

1. Điều khiển mở máy theo hàm thời gian

Trong sơ đồ điều khiển động cơ phải có các thiết bị kiểm tra thời gian đó là các role thời gian. Mỗi role thời gian sẽ điều khiển một công tác tơ ứng với mỗi mức của điện trở mở máy. Khi mômen cản cơ khí $M_c = \text{const}$ thì thời gian tăng tốc độ của một cấp mở máy là :

$$t_{m\ddot{o},i} = T_{M_i} \ln (M_{b\ddot{d},i} - M_c) / (M_{c\ddot{u}\ddot{o}i,i} - M_c) \quad (12-1)$$

trong đó $T_M = \frac{J(\omega_{c\ddot{u}\ddot{o}i,i} - \omega_{b\ddot{d},i})}{M_{b\ddot{d},i} - M_c}$ là hằng số thời gian điện cơ của cấp thứ i .

J - mômen quán tính của truyền động

$\omega_{b\ddot{d},i}, M_{b\ddot{d},i}, \omega_{c\ddot{u}\ddot{o}i,i}, M_{c\ddot{u}\ddot{o}i,i}$ - tốc độ và mô men ban đầu và cuối cấp thứ i .

2. Điều khiển mở máy theo hàm tốc độ

Điều khiển mở máy theo hàm tốc độ được tiến hành nhờ các thiết bị kiểm tra tốc độ của động cơ. Tùy theo trị số của tốc độ các thiết bị này sẽ cho tín hiệu để đóng các công tắc tơ của các biến trở mở máy. Thông thường dùng phương pháp đo tốc độ gián tiếp qua các đại lượng tỉ lệ với tốc độ như sdd phản ứng của động cơ điện một

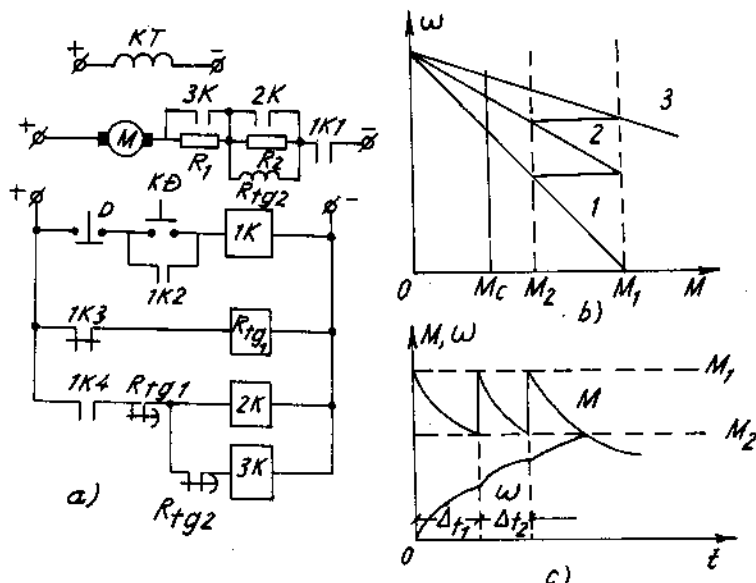
chiều, tần số dòng điện rôto của động cơ không đồng bộ rôto kiểu dây quấn. Trong các trường hợp này có thể gọi là điều khiển theo hàm sức điện động hay hàm tần số dòng điện rôto.

3. Điều khiển mở máy theo hàm dòng điện

Phương pháp này sử dụng các role dòng điện

cực tiểu, các role sẽ đóng các công tắc tơ cắt các điện trở mở máy khi dòng điện của động cơ giảm đến trị số cho phép.

Trong thực tế đối với động cơ điện một chiều thường điều khiển theo hàm thời gian hoặc hàm sức điện động, với động cơ không đồng bộ và đồng bộ điều khiển theo hàm tần số hay hàm dòng điện.



Hình 12 - 5. Sơ đồ điều khiển động cơ một chiều (a);
Đặc tính cơ (b) và đặc tính động (c).

§12-3. SƠ ĐỒ ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

1. Sơ đồ điều khiển mở máy động cơ điện một chiều theo hàm thời gian

Hình 12-5a giới thiệu sơ đồ điều khiển mở máy theo hàm thời gian của động cơ điện một chiều M có hai cấp điện trở mở máy R_1 và R_2 .

Khi đóng điện, role thời gian R_{tg1} có điện. Ấn nút mở máy KD , công tắc tơ $1K$ đóng điện: đóng tiếp điểm chính $1K_1$ cấp điện cho phần ứng động cơ qua hai điện trở phụ R_1 và R_2 , đóng tiếp điểm phụ $1K_2$ để tự duy trì; cắt tiếp điểm phụ $1K_3$ để cắt điện role thời gian R_{tg1} và bắt đầu tính thời gian; đóng tiếp điểm $1K_4$ chuẩn bị cấp điện cho các công tắc tơ $2K$ và $3K$.

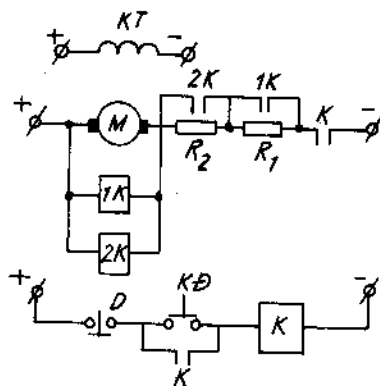
Khi role thời gian R_{tg1} mất điện, sau khoảng thời gian Δt_1 tiếp điểm R_{tg1} đóng, cuộn dây công tắc tơ $2K$ có điện, đóng tiếp điểm $2K$ để ngắn mạch điện trở mở máy R_2 , tốc độ của động cơ tăng lên. Đồng thời do tiếp điểm $2K$ ngắn mạch điện trở R_2 nên role thời gian R_{tg2} mất điện, bắt đầu tính thời gian giai đoạn hai. Sau khoảng thời gian Δt_2 tiếp điểm R_{tg2} sẽ đóng điện cho công tắc tơ $3K$, tiếp điểm $3K$ ngắn mạch điện trở mở máy R_1 , động cơ tiếp tục tăng tốc độ cho đến khi mở máy hoàn thành.

Ở giai đoạn Δt_1 động cơ làm việc ở đặc tính cơ đường 1 (hình 12-5b) ở giai đoạn Δt_2 động cơ làm việc trên đường 2, sau Δt_2 sẽ làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên (đường 3). Đặc tính động $M(t)$ và $\omega(t)$ của quá trình mở máy vẽ trên hình 12-5c.

Phương pháp trên tỏ ra đơn giản, độ tin cậy cao, có thể chỉnh định được thời gian và dùng cùng một loại role thời gian.

2. Sơ đồ điều khiển mở máy động cơ điện một chiều theo hàm tốc độ

Hình 12-6 vẽ sơ đồ điều khiển mở máy động cơ điện một chiều theo hàm tốc độ (hàm sức điện động). Trường hợp từ thông trong động cơ không đổi, điện áp trên phần ứng tỉ lệ với tốc độ quay. Hai công tắc tơ 1K và 2K được chỉnh định với điện áp tác động U_1 và U_2 . Khi ấn nút KD công tắc tơ K tác động đóng tiếp điểm K để phần ứng của động cơ được cấp điện qua hai điện trở mở máy R_1 và R_2 . Động cơ quay và khi tốc độ tăng điện áp trên phần ứng sẽ tăng. Khi điện áp phần ứng đạt trị số U_1 , công tắc tơ 1K tác động, đóng tiếp điểm 1K, ngắn mạch điện trở R_1 ; và khi điện áp phần ứng tiếp tục tăng đến U_2 thì công tắc tơ 2K sẽ tác động ngắn mạch điện trở R_2 .

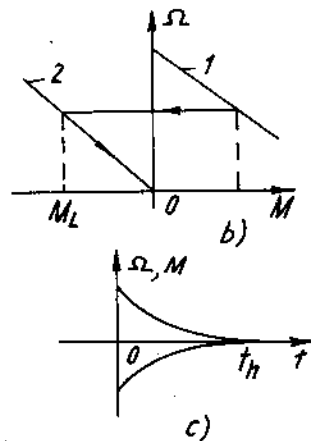
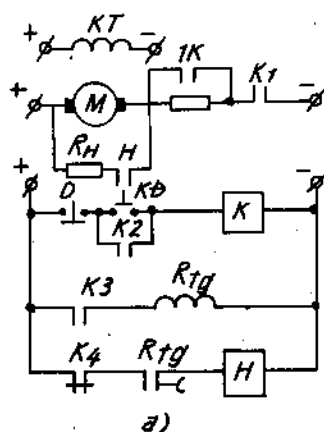


Hình 12 - 6. Điều khiển mở máy động cơ điện một chiều theo hàm tốc độ.

Việc điều chỉnh điện áp tác động của các công tắc tơ bị hạn chế nên phương pháp này sử dụng có những khó khăn nhất định.

Hình 12-7 giới thiệu sơ đồ điều khiển máy bằng hàm động năng của động cơ điện một chiều theo hàm thời gian.

Giả thiết động cơ đang làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên (đường 1 hình 12-7b). Khi dừng máy ta ấn nút D (sơ đồ hình 12-7a) công tắc tơ K mất điện mở tiếp điểm K_1 cắt động cơ khỏi lưới điện đồng thời tiếp điểm K_3 cắt role thời gian R_{tg} để bắt đầu tính thời gian, tiếp điểm K_4 đóng điện cho công tắc tơ hãm H để đóng phần ứng động cơ qua điện trở hãm R_H , tiến hành hãm động năng (đặc tính cơ đường 2 hình 12-7b). Sau thời gian Δt tiếp điểm R_{tg} sẽ cắt điện của công tắc tơ H kết thúc quá trình hãm. Đặc tính động $\omega(t)$ và $M(t)$ của quá trình hãm vẽ trên hình 12-7.

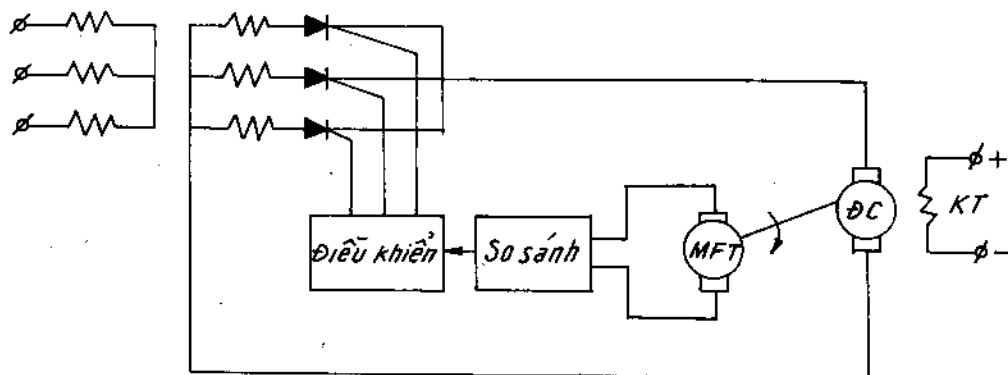


Hình 12 - 7. Hãm động năng động cơ điện một chiều (a) đặc tính cơ (b), đặc tính động (c).

3. Điều chỉnh tốc độ của động cơ điện một chiều

Hình 12-8 là sơ đồ tự động điều chỉnh tốc độ của động cơ một chiều. Tốc độ của động cơ được đo bằng máy phát tốc. Máy phát tốc là máy điện một chiều công suất rất nhỏ, điện áp của nó tỉ lệ thuận với tốc độ. Biến thiên tốc độ của động cơ được so sánh và dẫn đến khối điều khiển chỉnh lưu có điều khiển. Điện áp cung cấp cho động cơ được lấy từ bộ chỉnh lưu ba pha hình tia có điều khiển. Khi tốc độ động cơ thay đổi, máy phát tốc có điện áp thay đổi. Tín hiệu ra của bộ so sánh tác động vào khối điều khiển. Khối điều khiển

sẽ thay đổi góc mở của tiristo làm trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu thay đổi. Do điện áp đặt vào phần ứng của động cơ thay đổi sẽ làm cho tốc độ quay của động cơ thay đổi theo nhằm giữ cho tốc độ ổn định ở trị số cho trước.



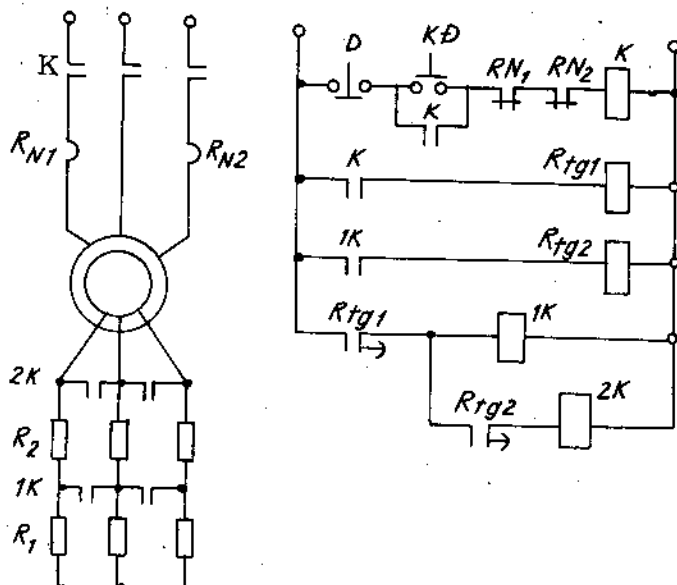
Hình 12 - 8. Tự động điều chỉnh tốc độ của động cơ một chiều.

§12-4. SƠ ĐỒ ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Điều khiển mở máy động cơ dây quấn

Hình 12-9 trình bày sơ đồ điều khiển mở máy động cơ không đồng bộ rôto dây quấn theo hàm thời gian.

Khi ấn nút KD công tắc tơ K có điện sẽ đóng các tiếp điểm chính K để động cơ mở máy với các điện trở phụ R_1 và R_2 . Đồng thời tiếp điểm phụ K đóng điện cho role thời gian R_{tg1} để bắt đầu tính thời gian. Sau khoảng thời gian Δt_1 , tiếp điểm R_{tg1} đóng điện công tắc tơ 1K. Các tiếp điểm chính 1K đóng sẽ ngắt mạch điện trở mở máy R_1 đồng thời tiếp điểm phụ 1K đóng điện cho role thời gian R_{tg2} . Sau khoảng thời gian Δt_2 tiếp điểm R_{tg2} đóng điện cho công tắc tơ 2K. Các tiếp điểm 2K sẽ ngắt mạch điện trở mở máy R_2 để động cơ tiếp tục làm việc với đặc tính cơ tự nhiên.



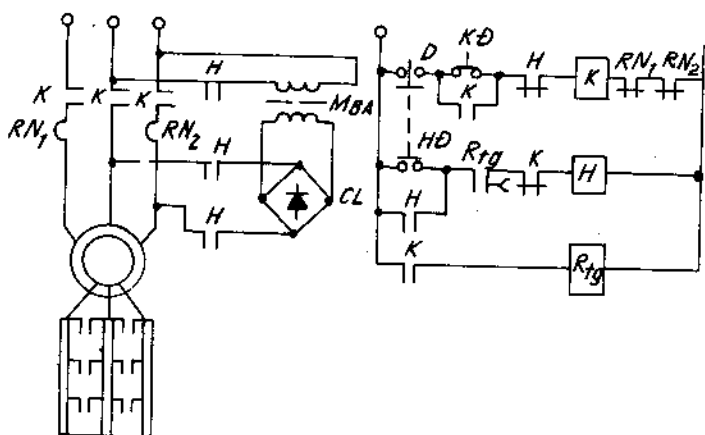
Hình 12 - 9. Điều khiển mở máy động cơ không đồng bộ rôto dây quấn.

2. Điều khiển hãm động cơ dây quấn

Quá trình hãm động năng của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn, thực hiện bằng sơ đồ hình 12-10.

Giả thiết động cơ đang làm việc, khi ấn nút dừng D công tắc K mất điện: mở các tiếp điểm chính K cắt dây quấn xtato khỏi lưới điện; do liên động cơ khí nên sẽ ấn nút hãm H và tiếp điểm phụ K đóng sẽ cấp điện cho công tắc tơ hãm H, các tiếp điểm của công tắc tơ H sẽ đóng máy biến áp MĐA và chỉnh lưu CL để cấp điện một chiều, tiến hành hãm động năng; đồng thời tiếp điểm phụ K cắt điện role thời gian R_{tg} để bắt đầu tính thời gian.

Sau khoảng thời gian Δt tiếp điểm R_{tg} cắt điện công tắc tơ hãm H, để kết thúc quá trình hãm. Tiếp điểm phụ H trong mạch công tắc tơ K bảo đảm trong quá trình hãm không thể mở máy động cơ.

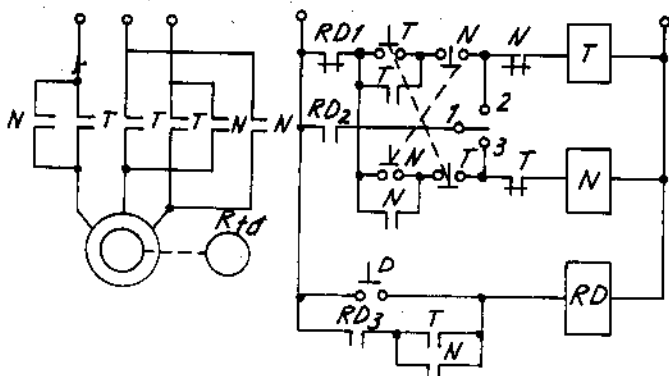


Hình 12-10. Hãm động năng.

3. Điều khiển hãm động cơ lồng sóc

Đối với động cơ rôto lồng sóc khi tiến hành hãm ngược có thể sử dụng sơ đồ điều khiển hình 12-11.

Hệ thống điều khiển của sơ đồ này bảo đảm việc đảo chiều quay của động cơ nhờ công tắc tơ thuận T đóng điện động cơ theo thứ tự thuận và công tắc tơ ngược N đóng điện theo thứ tự ngược. Để bảo đảm an toàn thiết bị, sơ đồ có các liên động cơ khí và điện khi điều khiển quay thuận và ngược: trong mạch công tắc tơ T có các nút ấn thường đóng N, tiếp điểm thường đóng N, và ngược lại trong mạch công tắc tơ N có nút ấn thường đóng T, tiếp điểm thường đóng T.



Hình 12-11. Điều khiển hãm ngược động cơ lồng sóc

Khi muốn dừng, ấn nút D để role dừng RD có điện: tiếp điểm thường đóng RD1 sẽ mở, cắt điện các công tắc tơ T và N. Tiếp điểm RD2 đóng, đồng thời role tốc độ R_{td} làm việc đóng công tắc tơ T hoặc N để tiến hành hãm ngược động cơ. Khi động cơ dừng thì role R_{td} ngừng làm việc mở các tiếp điểm, kết thúc quá trình dừng máy.

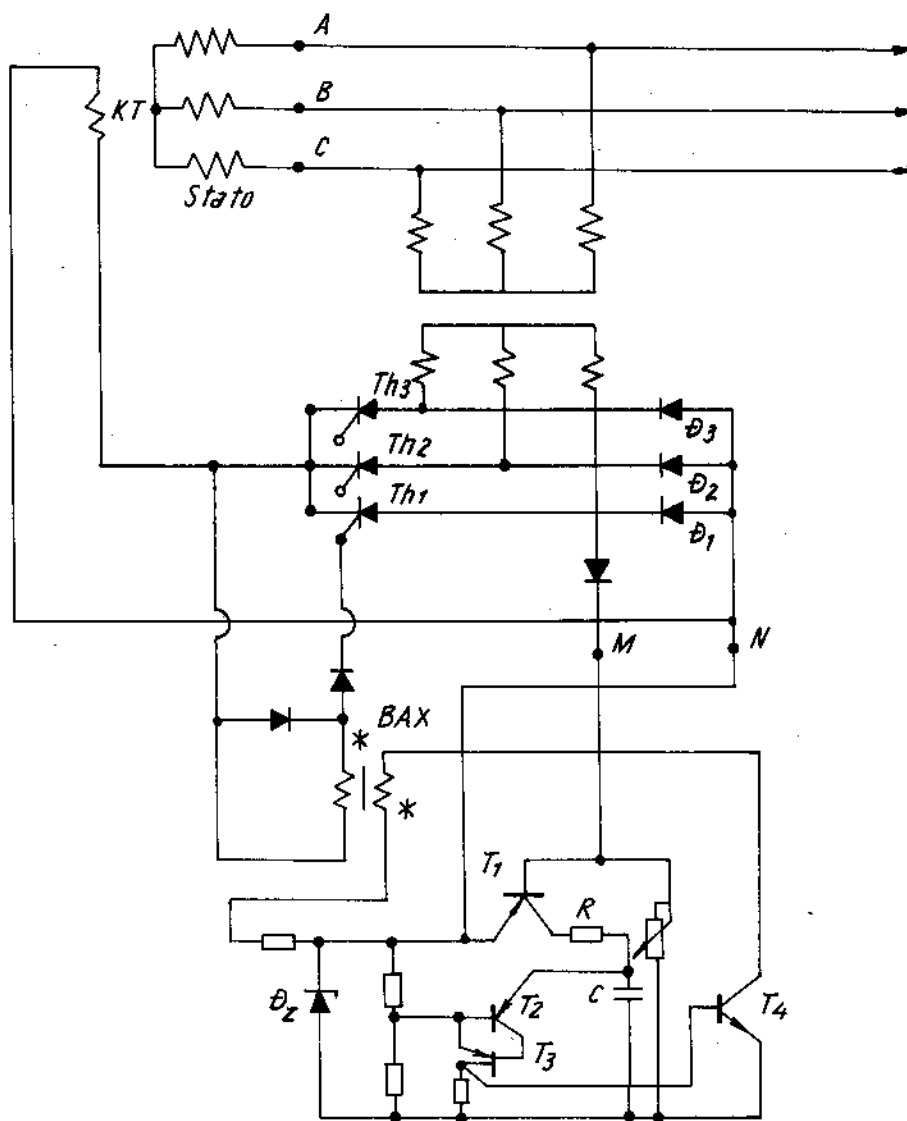
§12-5. TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Điện áp của máy phát đồng bộ được giữ ổn định bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ.

Trên sơ đồ hình 12-12 dòng kích từ được lấy từ bộ chỉnh lưu có điều khiển theo sơ đồ cầu ba pha không đối xứng trong đó 3 tiristo $Th1$, $Th2$, $Th3$ là một nhánh của cầu, còn nhánh kia là 3 diốt D_1 , D_2 , D_3 . Để đơn giản sơ đồ mạch điều khiển chỉ vẽ cho 1 pha, 2 pha kia tương tự.

Mạch điều khiển gồm khối đồng pha lấy từ điện áp phản hồi U_{MN} , khối tạo xung gồm mạch dao động tranzito T_2 , T_3 , khuếch đại xung T_4 và biến áp xung BAX. Tranzito T_1 là khâu so sánh.

Nếu điện áp trên cực máy phát giảm, điện áp phản hồi U_{MN} giảm. Tranzito T_1 có thiên áp ngược đặt vào cực phát và cực gốc giảm do đó T_1 sẽ mở nhiều hơn, thời gian



Hình 12-12. Tự động điều chỉnh điện áp máy phát đồng bộ.

nạp tụ C_1 nhanh hơn, kết quả là tần số của bộ dao động sẽ tăng lên và xung điều khiển làm tiristo mở với góc bé hơn, vì thế trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu tăng lên làm tăng dòng điện kích từ và điện áp trên cực máy phát tăng tới giá trị định mức.

Khi điện áp trên cực máy phát tăng, điện áp U_{MN} tăng, tranzito T_1 sẽ bị khóa nhiều hơn, thời gian nạp tụ C_1 tăng vì thế các tiristo sẽ mở với góc mở lớn hơn. Kết quả là điện áp chỉnh lưu giảm, dòng kích từ giảm kéo điện áp trên cực máy phát về giá trị định mức.

PHỤ LỤC I

MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

§I-1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

1. Các phần tử và đặc tính phi tuyến

Trong các chương trước ta thường gặp mạch điện chứa các phần tử tuyến tính, đó là mạch chứa các thông số r , L , C không đổi, không phụ thuộc vào dòng điện hoặc điện áp. Đặc tính $U(I)$ hoặc $I(U)$ là các đường thẳng.

Trong thực tế ta thường gặp các phần tử có thông số r , L , C biến đổi phụ thuộc vào dòng điện hay điện áp, đó là các phần tử phi tuyến. Để đặc trưng cho các phần tử phi tuyến người ta dùng các đường đặc tính $U(I)$ hoặc $I(U)$.

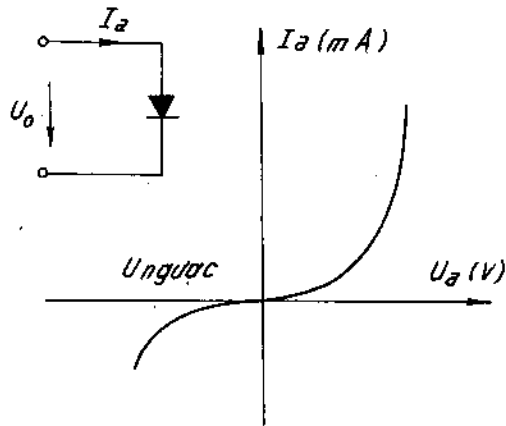
Hình I-1 là đặc tính $U(I)$ của một diốt. Nhìn vào đồ thị ta thấy điện trở của diốt phụ thuộc vào trị số của điện áp đặt vào.

Hình I-2 vẽ đặc tính $U(I)$ của nhiệt điện trở (termistor). Đó là chất bán dẫn có điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ.

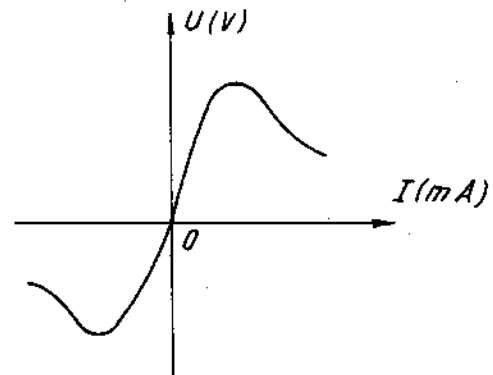
Hình I-3 là đặc tính từ thông - dòng điện $\psi(i)$ của cuộn dây có lõi thép. Khi từ hóa bằng dòng điện lớn đặc tính $\psi(i)$ cũng là phi tuyến vì khi dòng điện từ hóa đủ lớn, mạch từ trở nên bão hòa. Điện cảm của cuộn dây $L = \frac{\psi}{I}$ phụ thuộc vào dòng điện.

Hình I-4 là đặc tính điện tích - điện áp $q(u)$ của tụ điện có điện môi sêcnhét hoặc titanát-bari. Đặc tính này có dạng đường cong trễ.

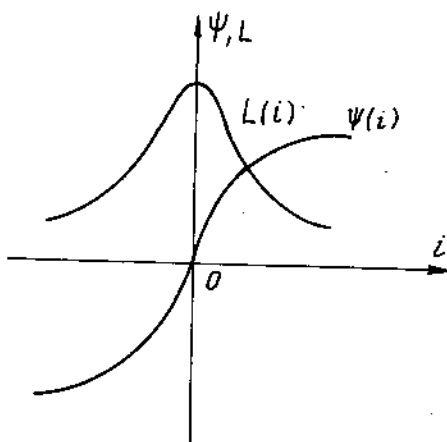
Đối với các phần tử phi tuyến ngoài các thông số tĩnh $R = \frac{U}{I}$, $L = \frac{\psi}{I}$, $C = \frac{q}{i}$ như đã xét ở phần tuyến tính, người ta dùng khái niệm thông số động được định nghĩa như sau :



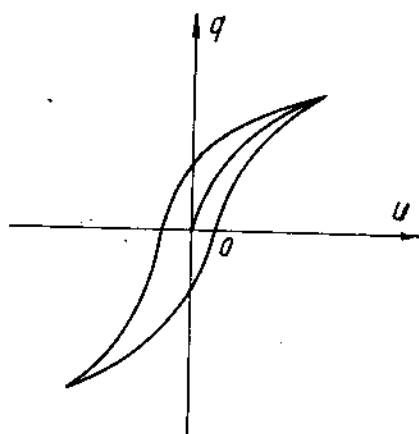
Hình I-1



Hình I-2



Hình 1-3



Hình 1-4

Điện trở động $R_d = \frac{du}{di}$

Điện cảm động $L_d = \frac{d\psi}{di}$

Điện dung động $C_d = \frac{dq}{du}$

Vì các đặc tính đã nêu ở trên là phi tuyến nên các thông số động R_d , L_d , C_d là hàm số của dòng điện hay điện áp, nó đặc trưng cho phần tử phi tuyến tại mỗi điểm trên đường đặc tính.

2. Các tính chất cơ bản của mạch phi tuyến

Do quan hệ phi tuyến giữa đáp ứng và kích thích nên mạch phi tuyến có những tính chất khác hẳn trong mạch tuyến tính.

a) *Mạch phi tuyến không có tính xếp chồng nghiệm.* Ví dụ một điện trở phi tuyến có đặc tính $i = 2u^2$. Nếu kích thích u là tổng của hai kích thích u_1 và u_2 nghĩa là $u = u_1 + u_2$ và các đáp ứng riêng rẽ là $i_1 = 2u_1^2$ và $i_2 = 2u_2^2$ thì

$$i = 2(u_1 + u_2)^2 = 2u_1^2 + 4u_1u_2 + 2u_2^2 \neq 2u_1^2 + 2u_2^2$$

b) *Mạch phi tuyến có tính chất tạo tần số.* Nếu nguồn kích thích là hình sin thì do quan hệ phi tuyến đáp ứng của mạch sẽ không sin và có thể phân tích thành một tổng các điều hòa có tần số khác nhau.

Ví dụ : Đặc tính phi tuyến $y = ax^2$ nếu kích thích $x = A \sin \omega t$ thì đáp ứng $y = A^2 \sin^2 \omega t = \frac{A^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$.

Ta nhận thấy đáp ứng y chứa thành phần một chiều có trị số $\frac{A^2}{2}$ và thành phần xoay chiều có tần số góc 2ω . Trong trường hợp tổng quát đáp ứng có thể chứa các điều hòa bậc n bằng số hạng cao nhất của hàm số phi tuyến $y(x)$. Người ta ứng dụng tính chất trên trong kĩ thuật nhân, chia tần số.

Do tính nhiều vẻ của các đặc tính phi tuyến nên ở mạch phi tuyến còn có nhiều hiện tượng khác không có ở mạch tuyến tính như hiện tượng ổn áp, ổn dòng, trigơ v.v...

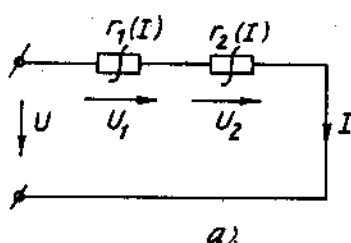
§1-2. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH MẠCH PHI TUYẾN

Không có một phương pháp giải tích nào để tìm nghiệm chính xác của mạch phi tuyến, do đó để phân tích mạch phi tuyến ta thường dùng các phương pháp giải gần đúng. Các phương pháp gần đúng chủ yếu là phương pháp đồ thị, phương pháp số và phương pháp biểu diễn gần đúng các đường đặc tính bằng các hàm xấp xỉ.

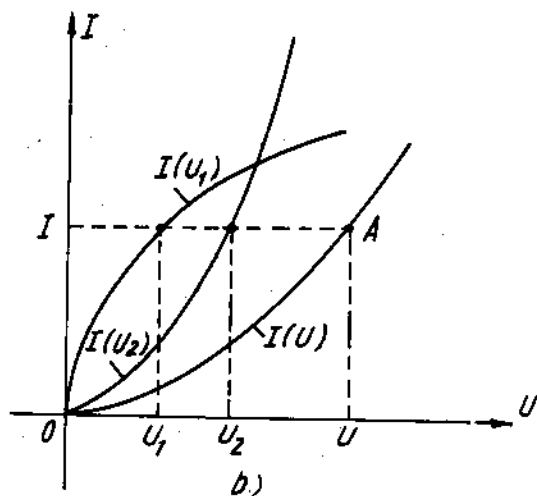
1. Phương pháp đồ thị

Nội dung của phương pháp đồ thị là từ các đường đặc tính của các phần tử vẽ đặc tính chung của mạch, sau đó xác định điểm làm việc của mạch. Ta hãy xét hai trường hợp cơ bản nối các phần tử phi tuyến.

a) *Mạch nối tiếp.* Cho mạch gồm hai phần tử phi tuyến $r_1(I)$ và $r_2(I)$ ghép nối tiếp (hình I-5a) đặt vào điện áp một chiều. Hình I-5b cho biết các đặc tính V-A của chúng là $I(U_1)$ và $I(U_2)$



Vì mạch gồm hai phần tử ghép nối tiếp có cùng dòng điện I chạy qua nên theo định luật Kiếchốp 2 ta có : $U = U_1 + U_2$, đặc tính $I(U)$ của toàn mạch vẽ bằng cách cộng hai đặc tính $I(U_1)$ và $I(U_2)$ theo trục hoành. Với giá trị điện áp nguồn U đã cho theo đặc tính $I(U)$ của toàn mạch ta xác định được điểm làm việc A ứng với dòng điện I và điện áp trên từng phần tử riêng rẽ U_1 và U_2 .



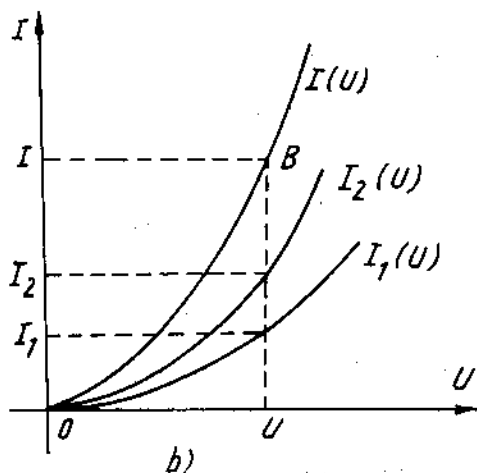
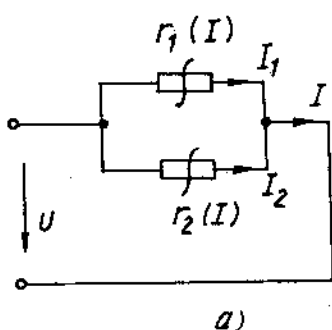
Hình I-5

b) *Mạch song song.* Cho mạch gồm 2 phần tử phi tuyến ghép song song đóng vào nguồn một chiều U (hình I-6a). Đặc tính V-A của các phần tử này là $I_1(U)$ và $I_2(U)$ cho trên hình I-6b.

Vì điện áp U là chung cho hai phần tử và $I = I_1 + I_2$, đặc tính $I(U)$ cho toàn mạch được vẽ bằng cách cộng theo trục tung đồ thị $I_1(U)$ và $I_2(U)$.

Với dòng điện I đã cho theo đặc tính $I(U)$ chúng ta xác định được điểm làm việc là B ứng với điện áp U và dòng điện qua từng phần tử phi tuyến là I_1 và I_2 .

Nếu mạch phức tạp gồm nhiều phần tử phi tuyến ghép nối tiếp và song song ta sẽ lần lượt nhóm các phần tử phi tuyến như đã làm ở hai mục trên.



Hình 1-6

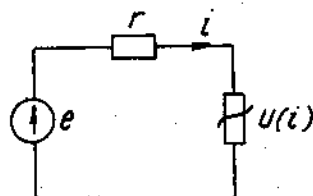
2. Phương pháp số

Trong các bài toán phức tạp chứa nhiều phần tử phi tuyến việc giải bằng đồ thị sẽ trở nên khó khăn và gặp sai số lớn. Trong các trường hợp này ta thường dùng các phương pháp số. Một trong các phương pháp số có độ hội tụ nhanh là phương pháp lặp.

Giả thiết mạch phi tuyến hình 1-7 chứa một phần tử phi tuyến có đặc tính cho bằng hàm $u(i)$

Phương trình dòng điện i được tính là :

$$i = \frac{e - u(i)}{r}$$



Để tìm dòng điện i bằng phương pháp lặp ta tùy ý chọn giá trị ban đầu của dòng điện i_0 . Theo đặc tính $u(i)$ ta xác định được dòng điện là :

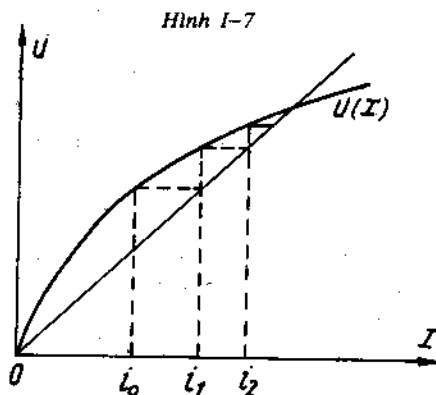
$$i_1 = \frac{e - u(i_0)}{r}$$

Dòng điện tại bước tiếp theo được tính bằng

$$i_2 = \frac{e - u(i_1)}{r}$$

Dòng điện tại bước n được tính theo dòng điện tại bước $n - 1$ là :

$$i_n = \frac{e - u(i_{n-1})}{r}$$



Hình 1-8

Quá trình tính lặp được tiếp tục cho đến khi sai lệch $|i_n - i_{n-1}|$ nhỏ hơn giá trị cho phép. Quá trình lặp trên được minh họa trên đồ thị hình 1-8 và dễ dàng được tính trên máy tính.

Phương pháp lặp Niuton có độ hội tụ nhanh được dùng rộng rãi để tính mạch phi tuyến. Nếu hàm phi tuyến $g(x) = 0$ đã cho thì nghiệm gần đúng của bước tính đầu tiên được tính bằng biểu thức :

$$x_1 = x_0 - \frac{g(x_0)}{g'(x_0)}$$

Quá trình lặp tiếp tục cho tới bước thứ $(n + 1)$, nghiệm x_{n+1} được xác định bằng biểu thức

$$x_{n+1} = x_n - \frac{g(x_n)}{g'(x_n)}$$

trong đó g' là đạo hàm bậc nhất của g .

Ví dụ : Cho mạch phi tuyến hình I-7 với giá trị $E = 1V$, $R = 10^4\Omega$, đặc tính phi tuyến cho hàm số mũ $i = 20.10^{-6} (e^{38,6u} - 1)$.

Phương trình định luật Kiếchốp 2 viết cho mạch trên là :

$$Ri + u - e = 0$$

Ta có hàm $g(u) = 0,2(e^{38,6u} - 1) + u - 1 = 0$

đạo hàm $g'(u) = 1 + 7,72e^{38,6u}$

Ta chọn giá trị ban đầu $u_0 = 0,01V$. Suy ra $i_0 = 20.10^{-6}(e^{38,6u} - 1) = 0,942.10^{-5}A$. Quá trình lặp theo phương pháp Niuton cho trên bảng sau:

Bước lặp	Điện áp u , V	Dòng điện i , mA
1	0,01	$0,942.10^{-2}$
2	0,824	0,462
3	0,0628	0,204
4	0,0500	0,117
6	0,0457	0,097
7	0,0454	0,095

Với sai số $\Delta i < 0,01$ mA ta có nghiệm gần đúng $i = 0,095mA$

3. Biểu diễn gần đúng các đặc tính phi tuyến bằng các hàm giải tích

Để nghiên cứu các mạch phi tuyến bằng phương pháp giải tích ta thường làm xấp xỉ các đặc tính phi tuyến bằng các hàm giải tích rồi thế chúng vào các phương trình mạch, sau đó chọn các biện pháp giải và khảo sát phù hợp nhất.

Một đường đặc tính có thể biểu diễn xấp xỉ bằng các hàm giải tích khác nhau. Ví dụ một đặc tính phi tuyến đối xứng qua gốc có thể được biểu diễn bằng đa thức và hàm số lẻ sau :

$$y = ax + bx^3$$

$$y = kx^n \text{ (n lẻ)}$$

$$y = ashbx \text{ v.v...}$$

Các hệ số a , b , k , n được xác định sao cho hàm cần tìm đi qua một số điểm (x, y) trên đường đặc tính xét.

Ví dụ : Đặc tính lưới $i(u)$ của đèn ba cực cho ở hình I-9. Nếu điện áp lưới là $u = \sin\omega t$, tính dòng điện anot i . Đặc tính lưới được làm gần đúng bằng đa thức bậc 2.

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$$

Đầu tiên ta xác định các hệ số a_0, a_1, a_2 bằng cách lấy 3 điểm đặc trưng trên đặc tính lưới (hình I-9)

Tại điểm $u = -1$ có

$$i(-1) = a_0 - a_1 + a_2 \quad (1)$$

Tại điểm $u = 0$ có

$$i_0 = a_0 \quad (2)$$

Tại điểm $u = +1$ có :

$$i_{(+1)} = a_0 + a_1 + a_2 \quad (3)$$

Giải hệ thống phương trình (1), (2), (3) ta có :

$$a_0 = i_0$$

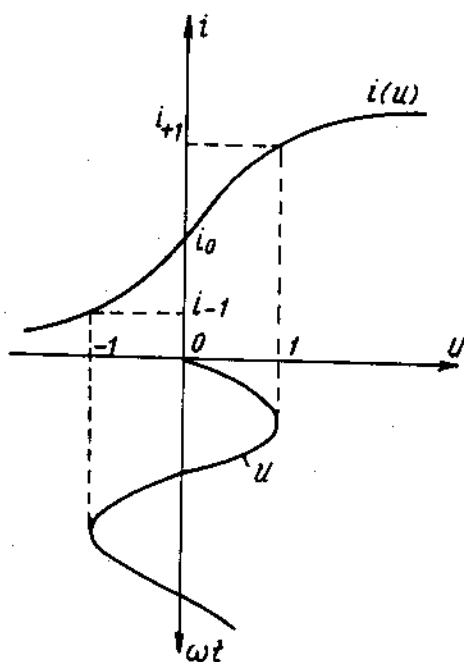
$$a_1 = \frac{1}{2} (i_{+1} - i_{-1})$$

$$a_2 = \frac{1}{2} (i_{+1} + i_{-1}) - i_0$$

Kết quả ta tìm được đáp ứng

$$i = i_0 + \frac{1}{2} (i_{+1} - i_{-1}) \sin \omega t + \left(\frac{i_{+1} + i_{-1}}{2} - i_0 \right) \cdot \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad \text{Hình I-9}$$

$$= \frac{i_0}{2} + \frac{i_{+1} + i_{-1}}{4} + \frac{1}{2} (i_{+1} - i_{-1}) \sin \omega t + \left(\frac{i_0}{2} - \frac{i_{+1} + i_{-1}}{4} \right) \cos 2\omega t$$



PHỤ LỤC II

ỨNG DỤNG MÁY TÍNH ĐỂ PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

Để phân tích mạch điện ta thường gặp hai dạng bài toán thông dụng sau đây :

§ II-1. PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN TUYẾN TÍNH Ở CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

Giải mạch điện tuyến tính ở chế độ xác lập bằng các phương pháp khác nhau thường dẫn tới việc giải hệ phương trình đại số tuyến tính bậc n dạng

$$AX = B$$

trong đó A là ma trận vuông hệ số phức ($n \times n$)

X là ma trận cột ẩn số có thể là dòng điện nhánh, dòng điện vòng hay điện thế điểm nút ($n \times 1$)

B là ma trận cột vế phải của phương trình đại số ($n \times 1$).

Để giải hệ phương trình đại số hệ số phức ta dùng các phương pháp số. Thuật toán giải hệ phương trình đại số tuyến tính bậc n bằng phương pháp Gauss như sau :

Giả thiết có hệ phương trình tuyến tính dạng

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i ; i, j = 1, n$$

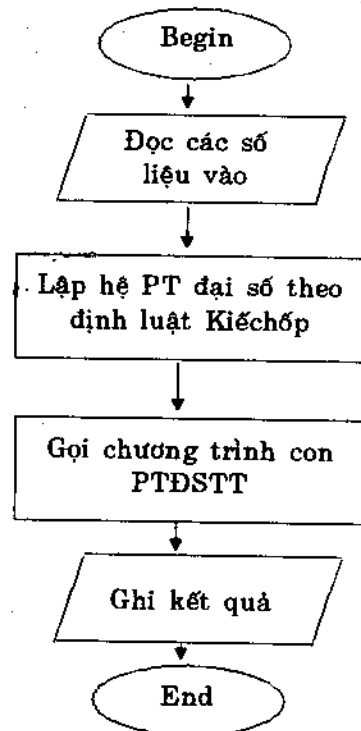
Nếu $a_{11} \neq 0$ ta chia phương trình đầu tiên cho a_{11} có

$$x_1 + \sum_{j=2}^n C_{ij} x_j = d_i ; j = 2, n$$

thay x_1 vào các phương trình khác ta được hệ phương trình

$$\sum_{j=2}^n a_{ij}^{(1)} x_j = b_i^{(1)} ; i, j = 2, n$$

Các hệ số $a_{ij}^{(1)}$, $b_i^{(1)}$ xác định theo a_{ij} và b_i lần lượt tính ta đi đến phương trình cuối chỉ chứa ẩn x_n , do đó ta tính ngay được x_n , sau đó thay thế tìm lần lượt x_{n-1} cuối cùng là x_1 .



Hình II-1.

Thuật toán trên được viết thành chương trình con phương trình đại số tuyến tính bằng ngôn ngữ PASCAL. Trong chương trình này các hệ số a_{ij} , b_i được đưa vào từ bàn phím. Kết quả cho dưới dạng ma trận là các dòng điện nhánh, điện thế điểm nút hay dòng điện vòng. Quá trình tính toán được diễn tả bằng lưu đồ hình II-1.

```

Program PTTT ;
  const
    max Size = 50 ;
  Var
    i, j, k, n : integer ;
    t, t1 : boolean ;
    OK : char ;
    C : real ;
    a : array [1... maxSize, 1.. maxSize + 1]
      of real ;
    x : array [1... maxSize] of real ;
  Begin
    writeln (": 4,
    *** Giải hệ PTTT bằng phương pháp khử GAUSS ***");
    write (' Vào số phương trình n = ');
    readln (n);
    writeln (' Vào ma trận hệ số mở rộng a (', n+1, ' số') );
    for i := 1 to n do
      begin
        writeln (' vào hàng thứ ', i, ': ');
        for j := 1 to n + 1 do
          begin
            write ('a [', i, ', ', j, '] = ');
            readln (a [i, j]);
          end ;
        writeln ;
      end ;
    OK := " ";
    t := true ;
    while t do
      begin
        write (' có sửa số liệu không (c/k) : ');
        readln (OK);
        if upcase (OK) = 'C' then
          begin
            writeln (' Chỉ số hàng, cột của phần tử cần sửa );
            write (' Chỉ số hàng i = '); readln (i);
            write (' Chỉ số cột j = '); readln (j);
            write (' a' a[', i, ', ', j, '] = '); readln (a [i, j]);
          end ;
        if upcase (OK) <> ' C' then t := false ;
      end ;
    i := 1 ;
    t1 := true ;

```

```

while t1 and ( i < n) do
  begin
    if a [i, i] = 0 then
      begin
        t := true ;
        k := i + 1 ;
        while t and (k <= n) do
          if a [k, i] <> 0
            then
              begin
                for j := i to n + 1 do
                  begin
                    c := a [i, j] ;
                    a [i, j] := a [k, j] ;
                    a [k, j] := c ;
                  end ;
                  t := false ;
                end
                else k := k + 1 ;
                if k = n + 1 then
                  begin
                    if a [i, k] = 0
                      then writeln ( ' HE VO DINH ' )
                      else writeln ( ' HE VO NGHIEM ' ) ;
                    t1 := false ;
                  end ;
                end ;
              end ;
            if a [i, i] <> 0
              then
                begin
                  c := a [i, i] ;
                  for j := i + 1 to n + 1 do
                    a [i, j] := a [i, j] / c ;
                  for k := i + 1 to n do
                    begin
                      c := a [k, i] ;
                      for j := i + 1 to n + 1 do
                        a [k, j] := a [k, j] - a[i, j] * c ;
                      end ;
                    end ;
                  i := i + 1 ;
                end ;
              if t1 then
                begin
                  x[n] := a[n, n+1] / a [n, n] ;
                  for i := n - 1 downto 1 do
                    begin
                      x [i] := a[i, n + 1] ;
                      for j := n down to i + 1 do
                        x[i] := x[i] - a[i, j] * x[j] ;

```

```

        end ;
    writeln ;
    writeln ( ' MA TRAN KET QUA ' ) ;
    writeln ;
    for i : = 1 to n do
        begin
            for j : = 1 to n + 1 do
                write ( a [ i, j ] : 10 : 2 ) ;
                writeln ;
            end ;
            writeln ;
            writeln ( ' NGHIỆM CUA PHUONG TRINH ' ) ;
            writeln ;
            for i : = 1 to n do
                writeln ( ' x [ , i, ' ] = ' , x [ i ] : 10 : 2 ) ;
            end ;
        end ;
    End.

```

II-2. Phân tích quá trình quá độ trong mạch tuyến tính.

Quá trình quá độ (QTGD) trong mạch tuyến tính được diễn tả bằng hệ phương trình vi phân (PTVP) cấp n dạng tổng quát :

$$\frac{d}{dt}X = F(X, t)$$

thỏa mãn sơ kiện $t = 0, X = X_0$, trong đó X là ma trận cột ẩn số có thể là dòng điện hoặc điện áp quá độ ; $F(X, t)$ là ma trận cột vế phải của PTVP.

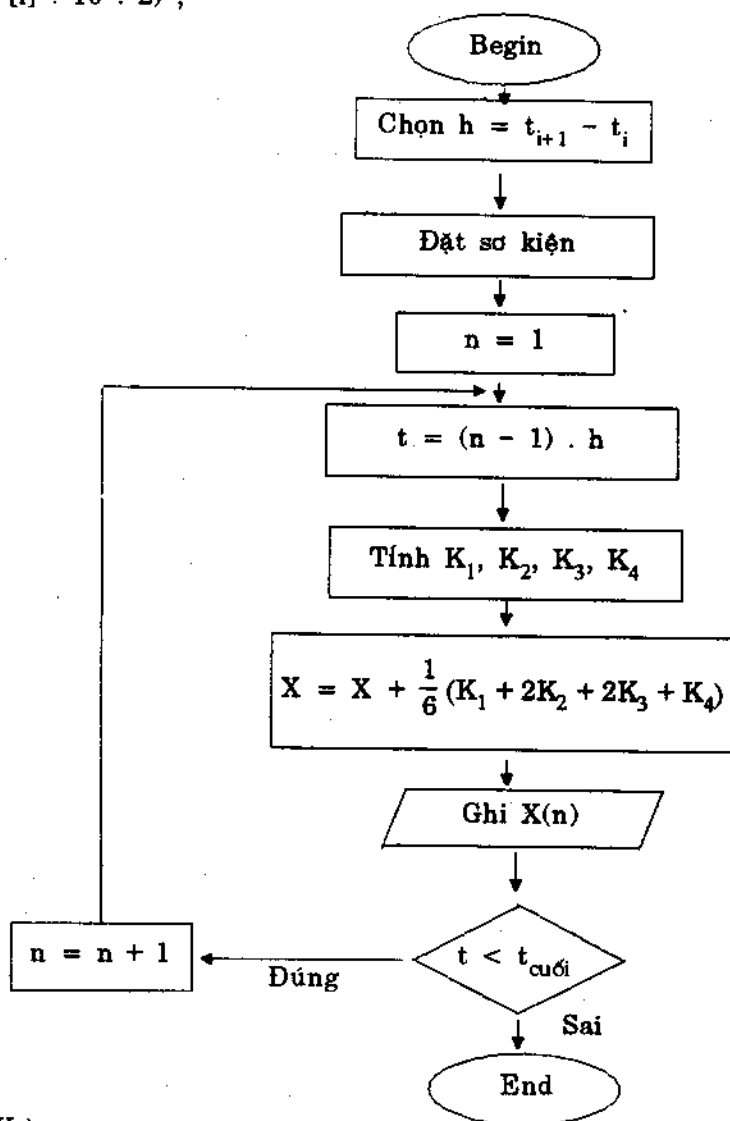
Để tích phân hệ PTVP này ta có thể dùng các phương pháp số khác nhau. Ở đây giới thiệu phương pháp Runge - Kutta. Quá trình tính toán bằng phương pháp Runge - Kutta theo thuật toán sau đây :

- Gọi bước tích phân

$h = t_{i+1} - t_i$ tùy chọn, nghiệm ở bước tính $i + 1$ được tính theo công thức sau :

$$\begin{aligned}
 x_{i+1} &= \\
 &= x_i + \frac{1}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)
 \end{aligned}$$

trong đó



Hình II - 2

$$K_1 = h.f(t_i, x_i)$$

$$K_2 = h.f\left(t_i + \frac{h}{2}, x_i + \frac{K_1}{2}\right)$$

$$K_3 = h.f\left(t_i + \frac{h}{2}, x_i + \frac{K_2}{2}\right)$$

$$K_4 = h.f\left(t_i + h, x_i + K_3\right)$$

Sơ đồ khối của phương pháp Runge - Kutta cho phương trình vi phân cấp 4 vẽ trên hình II-2.

Chương trình con để giải hệ PTVP tuyến tính cấp n.

Trong đó hệ PTVP được đưa vào bằng Procedure G. Ở đây lấy ví dụ cụ thể

$$\frac{dy_1}{dx} = y_1 + 2y_2 + y_3 + \sin x$$

$$\frac{dy_2}{dx} = 3y_1 - y_2 + 5y_3 - \cos x$$

$$\frac{dy_3}{dx} = y_1 - 5y_2 + 3y_3$$

Ngoài ra có thể tùy ý chọn phương pháp Runge - Kutta cấp 2, 3 hoặc cấp 4

Program HE PTVPTT - CAP N ;

Type

vec = array [1..20] of real ;

Var

i, n, p, k : integer ;

h, x, x₀ : real ;

c1, c2, c3, c4, v, y, z, w : vec ;

Procedure G(n : integer ; x : real ; y : vec ; var w : vec) ;

Begin

w[1] := y [1] + 2*y[2] + y[3] + sin(x) ;

w[2] := 3*y [1] - y[2] + 5*y[3] - cos(x) ;

w[3] := y[1] - 5*y[2] + 3*y[3]

End ;

Begin

Writeln (' GIAI HE PTVPTT cấp n') ;

Write (' Số phương trình n = ') ;

readln (n) ;

Write (' Chọn p.p Runge - Kutta nào ? Cấp p (2, 3, 4) = ') ;

readln (p) ;

Write (' Cho bước h = ') ;

readln (h) ;

Write (' Cho sơ kiện x₀ = ') ;

readln (x₀) ;

Write (' Cho sơ kiện y[1] = ') ; readln (y[1]) ;

Write (' Cho sơ kiện y[2] = ') ; readln (y[2]) ;

Write (' Cho sơ kiện $y[3] = '$); readln (y[3]) ;

Case p of

2 : Begin

G(n, x, y, w) ;

For k : = 1 to n do

begin

c1[k] : = h * w[k] ;

v[k] : = y[k] + c1 [k] ;

end ;

G(n, x + h, v, w) ;

For k : = 1 to n do

c2[k] : = h*w[k] ;

For k : = 1 to n do

z[k] : = y[k] + (c1 [k] + c2[k])/2 ;

End ;

3 : Begin

G(n, x, y, w) ;

For k : = 1 to n do

begin

c1[k] : = h*w[k] ;

v[k] : = y[k] + c1[k]/2 ;

end ;

G(n, x + h/2, v, w) ;

For k : = 1 to n do

begin

c2[k]' : = h*w[k] ;

v[k] : = y[k] + (c1 [k] + 2*c2[k]) ;

end ;

G(n, x + h, v, w) ;

For k : = 1 to n do

c3[k] : = h*w[k] ;

For k : = 1 to n do

z[k] : y[k] + (c1 [k] + 4.0*c2 [k] + c3[k])/6 ;

End ;

4 : Begin

G(n, x, y, w) ;

For k : = 1 to n do

begin

c1[k] : = h*w[k] ;

v[k] : = y[k] + c1[k]/2 ;

end ;

G(n, x + h/2, v, w) ;

For k : = 1 to n do

begin

c2[k] : = h*w[k] ;

v[k] : = y[k] + c2[k]/2 ;

end ;

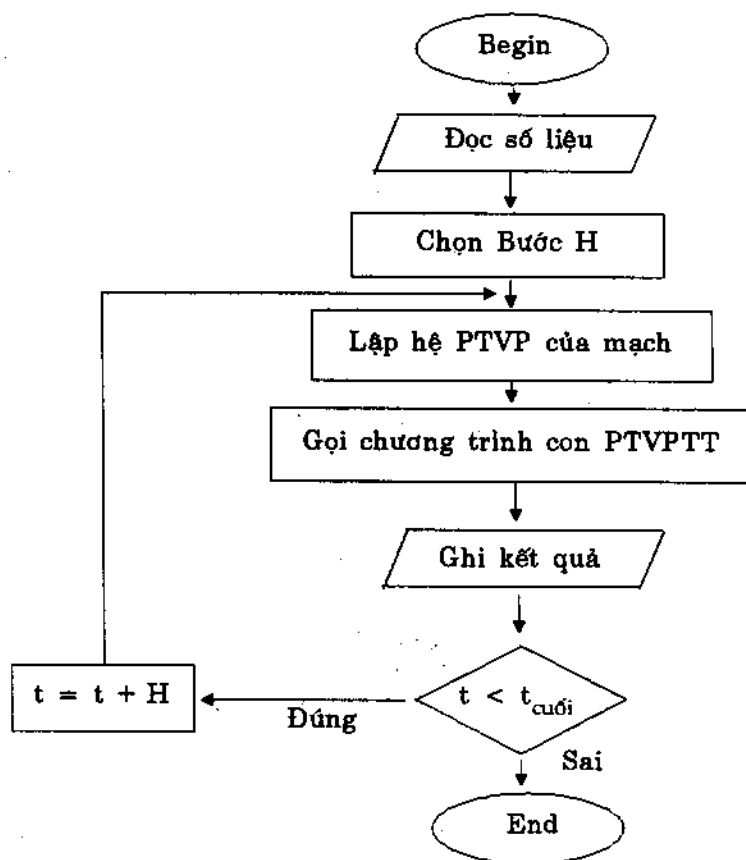
G(n, x + h/2, v, w) ;

For k : = 1 to n do

```

begin
  c3[k] := h*w[k] ;
  v[k] := y[k] + c3[k] ;
end ;
G(n, x + h, v, w) ;
For k := 1 to n do c4[k] := h*w[k] ;
For k := 1 to n do
  Begin
    z[k] := y[k] + (c1 [k] + 2*c2[k] + 2*c3[k] + c4[k])/6 ;
  End ;
End ;
End ;
Writeln ('***** NGHIỆM của PTVPTT ***** ') ;
For k := 1 to n do
  For i := 1 to 100 do
    Begin
      x := x0 + i*h ;
      Writeln (' x = ', x : 10 : 3 ', Z[', k, '] = ', z[k] : 10 : 3) ;
    End ;
  End.

```



Hình II-3

Ví dụ : Cho mạch điện hình II-4 có thông số ghi trên sơ đồ. Biết sơ kiện $u_1(0) = 0$; $i_2(0) = 1A$, $u_3(0) = 2V$ và nguồn kích thích $i(t) = \sin 2t$

Cần tìm đáp ứng quá độ $u_1(t)$, $i_2(t)$, $u_3(t)$ trong khoảng $0 \leq t \leq 10 \text{ sec}$.

Giải : chọn ẩn số là các điện áp và dòng điện quá độ $u_1(t)$, $i_2(t)$, $u_3(t)$. Viết các phương trình định luật Kiếchốp 1 và 2 :

$$i = i_1 + i_2 + i_4$$

$$i_2 = i_3 + i_5$$

$$u_1 = u_L + u_3$$

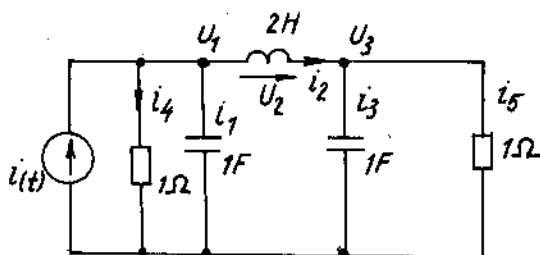
Trong đó : $i_4 = \frac{u_1}{R} = u_1$

$$i_1 = C \frac{du_1}{dt} = \frac{du_1}{dt}$$

$$u_L = L \frac{di_2}{dt} = 2 \frac{di_2}{dt}$$

$$i_3 = C \frac{du_3}{dt} = \frac{du_3}{dt}$$

$$i_5 = \frac{u_3}{R} = u_3$$



Hình 11-4

ta suy ra PTVP với các ẩn số là :

$$i = u_1 + \frac{du_1}{dt} + i_2$$

$$i_2 = \frac{du_3}{dt} + u_3$$

$$u_1 = 2 \frac{di_2}{dt} + u_3$$

Sắp xếp theo dạng chuẩn ta được hệ PTVP dạng :

$$\begin{bmatrix} \frac{du_1}{dt} \\ \frac{di_2}{dt} \\ \frac{du_3}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{2} \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \\ u_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot i$$

Như vậy ta đã xác định được hệ PTVP của mạch.

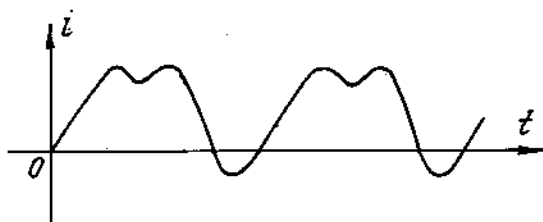
Dùng chương trình mẫu HE_PTVP_CAP_N ở trên ta sẽ tìm được nghiệm của hệ theo thời gian.

PHỤ LỤC III

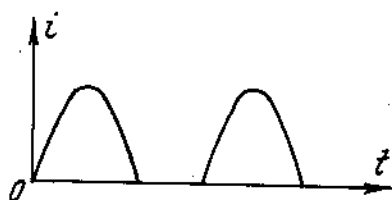
DÒNG ĐIỆN CHU KỲ KHÔNG SIN

§III - 1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN

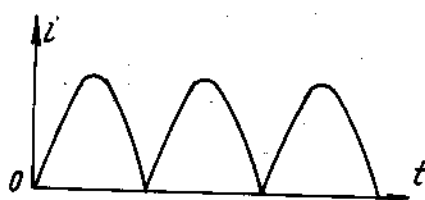
Dòng điện chu kỳ không sin là dòng điện biến thiên chu kỳ không theo qui luật hình sin với thời gian (hình III - a). Những nguồn dòng điện chu kỳ không sin thường gặp là : nguồn chỉnh lưu một nửa (hình III-2a) hoặc cả chu kỳ (hình III-2b), hoặc các nguồn dao động răng cưa (hình III - 2c) và dao động chữ nhật (hình III-2d).



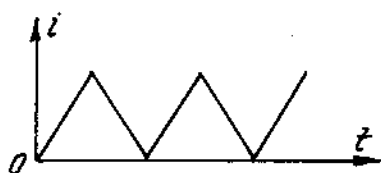
Hình III-1



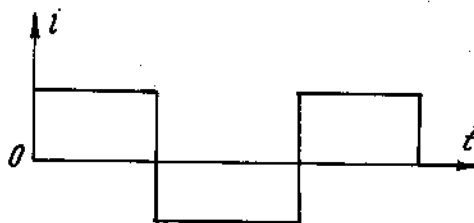
a)



b)



c)



d)

Hình III - 2

1. Phân tích đại lượng chu kỳ không sin thành chuỗi Furiê

Trong phân tích mạch, người ta thường dùng phương pháp giải tích, khai triển hàm chu kỳ không sin thành chuỗi Furiê, bao gồm thành phần không đổi, và một số hữu hạn hoặc vô hạn các thành phần sóng hài. Tùy theo mục đích, thường ta chỉ lấy một số số hạng đầu của dãy có biên độ tương đối lớn (hình III - 3b)

Trong trường hợp chung, điện áp chu kỳ không sin có thể biểu diễn dưới dạng chuỗi sau :

$$u = U_0 + U_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + U_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) + \dots \quad (\text{III-1})$$

trong đó : U_0 là thành phần không đổi ; $U_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1)$ là thành phần sóng bậc nhất (hoặc thành phần cơ bản), có chu kỳ của điện áp không sin cho trước ; $U_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2), \dots, U_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k)$ là các thành phần sóng bậc cao.

Điện áp chỉnh lưu một nửa chu kỳ (hình III - 2b), thì khai triển Furiê :

$$u = \frac{U_{\max}}{\pi} \left(1 + \frac{1}{2} \cos\omega t + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t + \dots \right) \quad (\text{III-2})$$

Ta thấy trong chuỗi không có các thành phần sóng lẻ bậc cao. Đối với điện áp chỉnh lưu hai nửa chu kỳ (hình III - 2b), thì khai triển Furiê có dạng :

$$u = \frac{4U_{\max}}{\pi} \left(1 + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t + \dots \right) \quad (\text{III -3})$$

Đối với các điện áp dạng chữ nhật (hình III-2d) khai triển Furiê có dạng :

$$u = \frac{4U_{\max}}{\pi} \left(\sin\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

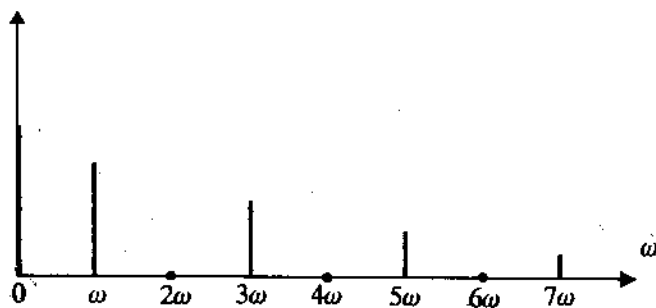
Đối với điện áp răng cưa (hình III-2c) khai triển Furiê có dạng :

$$u = \frac{8U_{\max}}{\pi^2} \left(\sin\omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t + \dots \right) \quad (\text{III-4})$$

Trong các chuỗi trên, pha ban đầu của các sóng cơ bản và bậc cao bằng không. Tuy nhiên ta cũng thường gặp các trường hợp có pha ban đầu khác không.

Khai triển Furiê của các đại lượng điện chu kỳ không sin, thường được biểu diễn dưới dạng đồ thị phổ biên độ - tần số.

Phổ biên độ - tần số (hình III-3) chỉ rõ giá trị tương đối của thành phần không đổi và của biên độ các sóng hài.



Hình III -3.

2. Các thông số của đại lượng điện chu kỳ không sin

a) Trị số hiệu dụng

Cũng như đối với dòng điện hình sin, ta có định nghĩa về trị số hiệu dụng của điện áp chu kỳ không sin :

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (\text{III-5})$$

Giả sử điện áp không sin có dạng khai triển :

$$u = U_0 + U_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + U_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) + \dots$$

Thay u vào công thức trên, cuối cùng rút ra trị số hiệu dụng của điện áp chu kỳ không hình sin :

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2 + \dots} \quad (\text{III-6})$$

trong đó $U_1, U_2, \dots, U_k$ tương ứng là trị số hiệu dụng của các thành phần điện áp bậc 1, bậc 2, bậc k ...

trong đó :

$$U_1 = \frac{U_{1\max}}{\sqrt{2}} ; U_2 = \frac{U_{2\max}}{\sqrt{2}} ; U_3 = \frac{U_{3\max}}{\sqrt{2}} ; U_k = \frac{U_{k\max}}{\sqrt{2}} \quad (\text{III-7})$$

Tương tự, trị số hiệu dụng của dòng điện chu kỳ không sin :

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots} \quad (\text{III-8})$$

trong đó :

$$I_1 = \frac{I_{1\max}}{\sqrt{2}} ; I_2 = \frac{I_{2\max}}{\sqrt{2}} ; I_3 = \frac{I_{3\max}}{\sqrt{2}} ; I_k = \frac{I_{k\max}}{\sqrt{2}} \quad (\text{III-8})$$

b) Công suất tác dụng. Trị số trung bình trong một chu kỳ của tổng công suất trên các phần tử mạch điện gọi là công suất tác dụng, được tính là :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T ui dt \quad (\text{III-9})$$

Thay vào (III-9) các khai triển Furiê của u và i cuối cùng ta được :

$$\begin{aligned} P &= U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k + \dots \\ &= P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots \end{aligned} \quad (\text{III-10})$$

trong đó : $P_0 = U_0 I_0$ là công suất do thành phần không đổi gây nên ; $P_k = U_k I_k \cos \varphi_k$ là công suất do thành phần bậc k gây nên.

c) Các hệ số đặc trưng đại lượng chu kỳ không sin

Hệ số biên độ k_a , bằng tỷ số giữa biên độ và trị số hiệu dụng của các đại lượng điện chu kỳ ; ví dụ hệ số biên độ điện áp :

$$k_a = U_{\max}/U \quad (\text{III-11})$$

Đối với các điện áp, dòng điện sin thì $k_a = \sqrt{2} = 1,41$.

Hệ số méo k_m , bằng tỷ số giữa trị số hiệu dụng của sóng bậc nhất và trị số hiệu dụng của đại lượng điện chu kỳ :

$$k_m = U_1/U \quad (\text{III-12})$$

Đối với điện áp và dòng sin $k_m = 1$

§III - 2 . GIẢI MẠCH ĐIỆN CHU KỲ KHÔNG SIN TUYẾN TÍNH

Trước hết khai triển đại lượng điện chu kỳ không sin thành chuỗi Furiê. Sau đó tính toán mạch điện tuyến tính, ứng với thành phần không đổi và các thành phần sin. Dựa trên nguyên lý xếp chồng, dòng điện và điện áp trên các nhánh, bằng tổng đại số các dòng và áp, do từng thành phần gây nên.

Ví dụ : hãy tính dòng điện mạch điện tuyến tính hình (III-4a), biết các thông số R, L, C và nguồn sdd chu kỳ không sin $e(t)$ có dạng :

$$e(t) = E_0 + e_1 + e_2 = E_0 + E_{1\max} \sin \omega t + E_{2\max} \sin 2\omega t$$

Thay nguồn $e(t)$ bằng ba nguồn E_0, e_1, e_2 .

Theo nguyên lý xếp chồng, ta đưa về giải các mạch có từng nguồn riêng rẽ (hình III-4b, c, d).

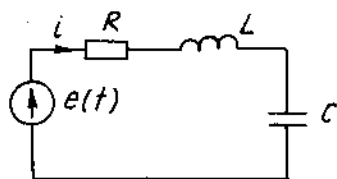
Giải mạch III - 4b ta có : $I_0 = 0$;

$$\text{Giải mạch III - 4c ta có : } I_1 = \frac{E_1}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

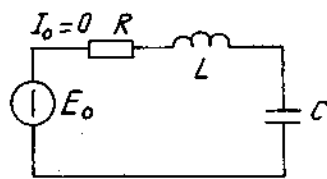
$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$$i_1 = I_{1\max} \sin (\omega t - \varphi_1)$$

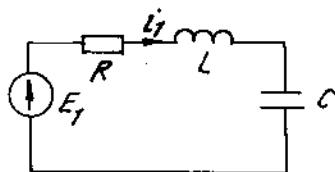
$$\text{Giải mạch III-4d ta có : } I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R^2 + \left(2\omega L - \frac{1}{2\omega C}\right)^2}}$$



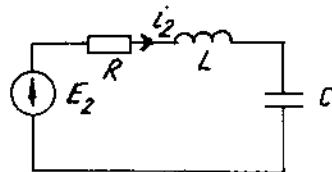
a)



b)



c)



d)

Hình III - 4

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{R}{\left(2\omega L - \frac{1}{2\omega C}\right)}$$

$$i_2 = I_{2\max} \sin(2\omega t - \varphi_2)$$

Dòng điện chu kỳ không sin (hình III - 4a) sẽ có dạng ;

$$i = I_0 + i_1 + i_2, \text{ do đó ta có :}$$

$$i = I_{1\max} \sin(\omega t - \varphi_1) + I_{2\max} \sin(2\omega t - \varphi_2)$$

Công suất tác dụng của mạch :

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

Trị số hiệu dụng dòng điện I.

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

PHỤ LỤC IV

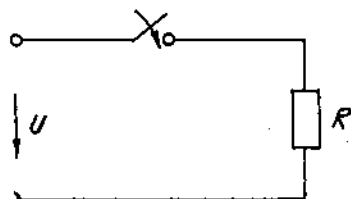
QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠCH ĐIỆN

§IV-1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

Trong thực tế thường cần đóng, cắt nguồn hay phụ tải hoặc thay đổi thông số của mạch. Ta gọi chung là sự đóng mở và ký hiệu bằng sự đóng mở cầu dao (hình IV-1).

Quá trình quá độ chỉ tồn tại trong một khoảng thời gian rất ngắn (10^{-3} sec) nhưng dòng điện và điện áp trên các phần tử có quy luật biến thiên phức tạp, có thể xuất hiện quá dòng điện hoặc quá điện áp. Trong một số thiết bị quá trình quá độ là quá trình làm việc thường xuyên (ví dụ các máy tạo xung v.v...).

Trong mạch có chứa phần tử tích phóng năng lượng L , C ở mỗi trạng thái mạch có mức năng lượng khác nhau, do đó khi chuyển tiếp từ mức xác lập cũ sang mức xác lập mới đòi hỏi có thời gian để mạch phân bố lại năng lượng. Quá trình quá độ là quá trình chuyển tiếp khi chế độ xác lập cũ bị phá vỡ kéo dài cho đến khi thành lập chế độ xác lập mới.



Hình IV-1

§IV-2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CỦA QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

Trong mạch có chứa phần tử r , L , C phương trình định luật Kiếchốp 2 là phương trình vi phân (PTVP) tuyến tính không thuần nhất :

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (\text{IV-1})$$

Theo lý thuyết PTVP nghiệm tổng quát của nó gồm hai thành phần :

$$i = i_x + i_{td} \quad (\text{IV-2})$$

- Thành phần xác lập i_x là nghiệm riêng của phương trình (IV-1) đó là nghiệm xác lập đã nghiên cứu ở các chương trước, nó phụ thuộc vào nguồn và thông số của mạch.

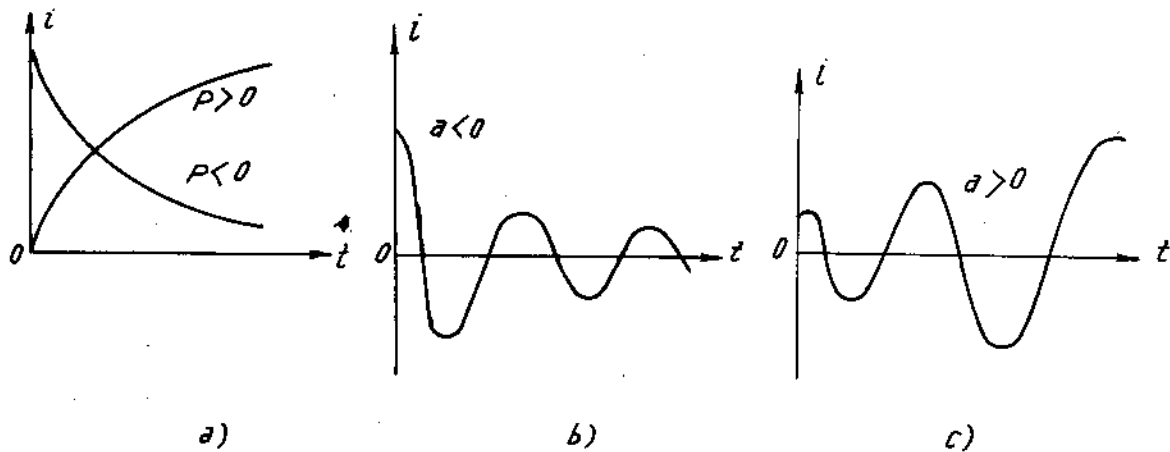
- Thành phần tự do i_{td} là nghiệm tổng quát của PTVP thuần nhất, nghĩa là khi không có nguồn, chúng chỉ phụ thuộc vào thông số của mạch và điều kiện ban đầu

$$Ri_{td} + L \frac{di_{td}}{dt} + \frac{1}{C} \int i_{td} = 0 \quad (\text{IV-3})$$

Phương trình đặc trưng của (IV - 3) có dạng :

$$R + pL + \frac{1}{pC} = 0 \quad (\text{IV-4})$$

Nói chung nghiệm tự do có dạng $i_{td} = Ae^{pt}$ trong đó A là hằng số tích phân xác định theo điều kiện đầu của bài toán, p là nghiệm của phương trình đặc trưng gọi là số mũ tắt.



Hình IV - 2

Trị số của p quyết định dáng điệu của thành phần tự do. Nếu p là số thực, thành phần tự do sẽ giảm theo hàm số mũ khi $p < 0$ và tăng khi $p > 0$ (hình IV-2a).

- Nếu $p = a \pm j\omega$ là số phức liên hợp thì thành phần tự do sẽ là dao động tắt dần với tần số ω nếu $a < 0$ (IV - 2b) và là dao động tăng dần nếu $a > 0$ (hình IV - 2c).

Để xác định hằng số tích phân A ta thường sử dụng các điều kiện ban đầu của bài toán.

Trong mạch có điện cảm L dòng điện qua điện cảm tại thời điểm đóng mở không thể biến thiên nhảy vọt, nghĩa là dòng điện ngay sau khi đóng mở $i_L(+0)$ phải bằng dòng điện ngay trước khi đóng mở $i_L(-0)$.

$$i_L(+0) = i_L(-0)$$

Nếu có biến thiên nhảy vọt thì $\frac{di}{dt} \rightarrow \infty$ khiến cho $u_L = L \frac{di}{dt}$ tiến tới vô cùng lớn, đó là điều vô lý.

Trong mạch có điện dung C , điện áp trên tụ điện tại thời điểm đóng mở không thể biến thiên nhảy vọt, nghĩa là điện áp ngay sau khi đóng mở $u_C(+0)$ phải bằng điện áp ngay trước khi đóng mở $u_C(-0)$.

$$u_C(+0) = u_C(-0)$$

Nếu có biến thiên nhảy vọt thì $\frac{du_C}{dt} \rightarrow \infty$ khiến cho $i_C = C \frac{du_C}{dt}$ tiến tới vô cùng lớn, đó là điều vô lý.

Sau đây ta sẽ nghiên cứu quá trình quá độ ở một số mạch đơn giản.

§IV-3. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠCH RC

1. Quá trình tự do trong mạch RC

Tụ điện C được nạp với điện áp U_0 rồi phóng qua điện trở R (hình IV-3). Phương trình định luật Kirchhoff 2 cho mạch là :

$$Ri_{td} + u_{ctd} = 0 \quad (IV-5)$$

trong đó $i_c = C \frac{du_c}{dt}$ do đó ta có

$$RC \frac{du_{ctd}}{dt} + u_{ctd} = 0 \quad (IV-6)$$

Phương trình đặc trưng

$$RCp + 1 = 0$$

$$p = -\frac{1}{RC}$$

Tích số $\tau = RC$ gọi là hằng số thời gian của mạch RC, điện áp tự do có dạng :

$$u_{ctd} = Ae^{-t/RC} \quad (IV-7)$$

Theo điều kiện ban đầu $u_c(+0) = A = u_c(-0) = U_0$ ta có :

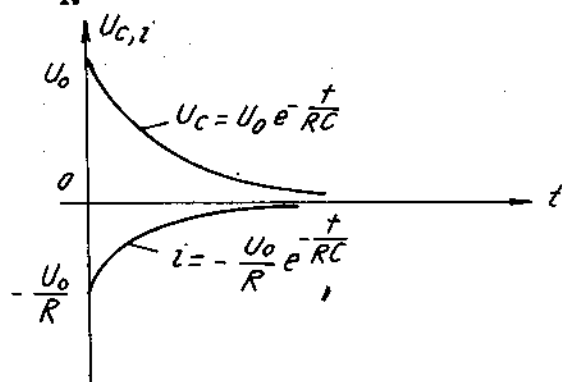
$$u_{ctd} = U_0 e^{-t/RC} \quad (IV-8)$$

Dòng điện :

$$i_c = C \frac{du_{ctd}}{dt} = -\frac{U_0}{R} e^{-t/RC} \quad (IV-9)$$

Hình IV - 4 vẽ đường cong phóng điện của tụ điện.

Ta nhận thấy khi phóng điện áp trên tụ giảm dần, còn dòng điện nhảy vọt từ 0 đến $-\frac{U_0}{R}$ rồi giảm dần.



Hình IV-4

2. Đóng mạch RC vào điện áp một chiều

Tụ điện có điện dung C được nạp vào nguồn một chiều qua điện trở R (hình IV - 3).

Phương trình vi phân của mạch theo định luật Kiếchốp 2 là ;

$$Ri + u_c = U \text{ thay } i = C \frac{du_c}{dt}$$

ta có :

$$C \frac{du_c}{dt} + u_c = U \quad (IV-10)$$

Thành phần tự do $u_{ctd} = Ae^{-t/RC}$

Thành phần xác lập $u_{cxl} = U$

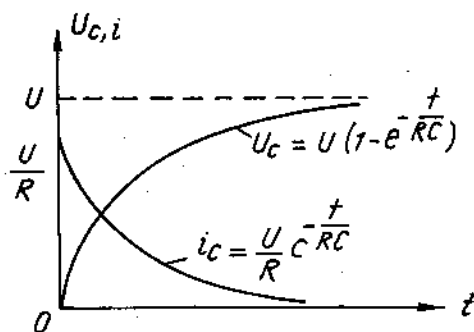
Điện áp quá độ trên tụ điện

$$U_c = u_{cxl} + u_{ctd} = U + Ae^{-t/RC}$$

Theo điều kiện ban đầu :

$$u_c(+0) = U + A = u_c(-0) = U, \text{ suy ra}$$

$$A = -U$$



Hình IV - 5

Từ đó ta tìm được điện áp quá độ trên tụ điện :

$$u_c = U(1 - e^{-t/RC}) \quad (IV-11)$$

Dòng điện ,

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} = \frac{U}{R} e^{-t/RC} \quad (IV-12)$$

Đường cong điện áp và dòng điện nạp của tụ điện vào điện áp một chiều cho trên hình IV - 5.

3. Đóng mạch RC vào điện áp hình sin

Khi đóng mạch RC vào điện áp hình sin $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$ sẽ có điện áp xác lập :

$$u_{cxl} = \frac{U_m}{z} x_c \sin \left(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2} \right)$$

trong đó $z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$; $X_c = \frac{1}{\omega C}$ (IV-13)

và thành phần tự do

$$u_{cld} = Ae^{-t/RC}$$

Theo điều kiện ban đầu

$$u_c(+0) = u_c(-0) = 0 \text{ ta có :}$$

$$0 = \frac{U_m}{z} X_c \sin \left(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2} \right) + A$$

Vậy điện áp quá độ trên tụ điện là :

$$u_c = \frac{U_m}{z} X_c \left[\sin(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) - \sin(\psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) e^{-t/RC} \right] \quad (IV-14)$$

Tùy theo thời điểm đóng mở, tức là tùy theo góc pha đầu và điều kiện đầu mà điện áp quá độ có dạng khác nhau.

Nếu đóng mở đúng lúc $u_{cxl}(0) = 0$ sẽ có $u_{cld} = 0$ quá trình xác lập sẽ thành lập ngay mà không qua quá độ. Nhưng nếu đóng mở lúc $u_{cxl}(0) = U_{cm}$ và nếu quá trình tự do tắt chậm thì sau nửa chu kì trên tụ điện có trị số U_c có thể gấp đôi biên độ điện áp xác lập, ta gọi đó là sự quá điện áp.

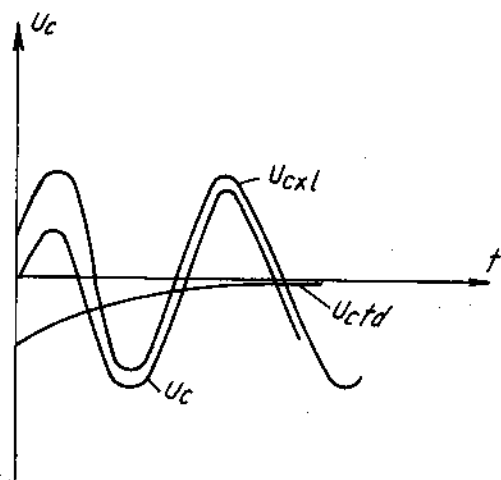
Dòng điện quá độ :

$$i = C \frac{du_c}{dt} = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) + \frac{I_m}{R\omega C} \sin(\psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) e^{-t/RC} \quad (IV-15)$$

Vì ở thời điểm đầu $u_c(0) = 0$ tụ như bị ngắn mạch, điện áp nguồn hoàn toàn đặt trên điện trở :

$$i(+0) = \frac{u(+0)}{R} = \frac{U_m \sin \psi}{R} \quad (IV-16)$$

Nếu đóng mạch RC đúng thời điểm, điện áp nguồn là cực đại và điện trở R nhỏ, dòng điện ở thời điểm đầu có thể lớn tạo nên xung quá dòng điện. Đường cong u_c và i_c khi đóng vào nguồn hình sin cho trên hình IV - 6.



Hình IV-6

§IV - 4. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠCH RL

Vì cùng được mô tả bằng phương trình vi phân cấp 1 nên quá trình quá độ mạch RL có nhiều điểm tương tự như mạch RC.

Với thành phần tự do ta có phương trình

$$Ri_{td} + L \frac{di_{td}}{dt} = 0 \quad (IV-17)$$

suy ra phương trình đặc trưng :

$$R + pL = 0 \text{ với số mũ } p = -\frac{R}{L}$$

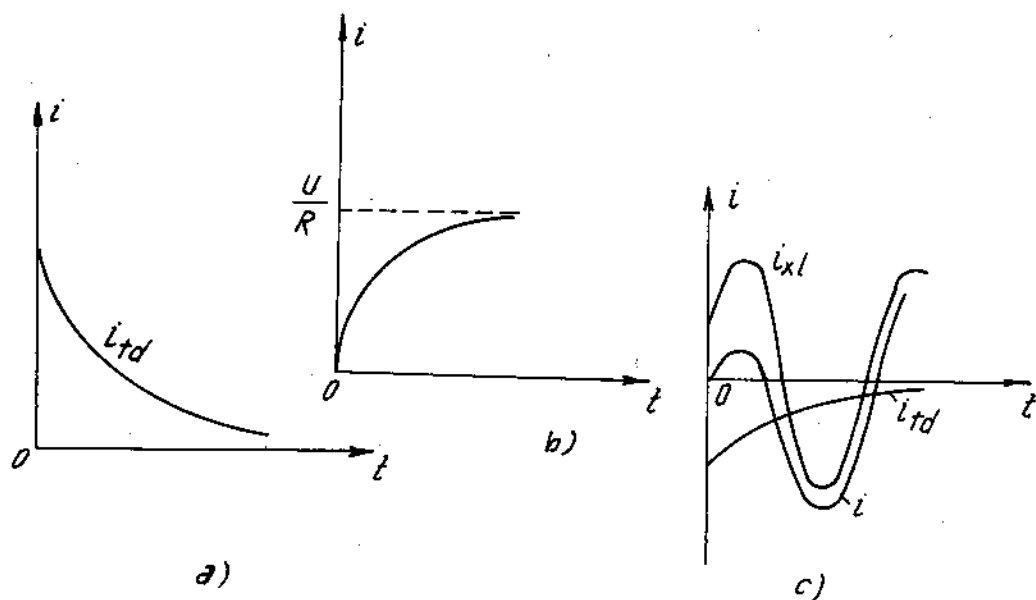
Thành phần $\frac{L}{R}$ gọi là hằng số thời gian τ của mạch RL

vậy : $i_{td} = Ae^{-R/Lt}$

Khi đóng mạch cuộn dây vào điện áp một chiều có sơ kiện $i(0) = 0$ ta có :

$$i = \frac{U}{R} (1 - e^{-R/Lt}) \quad (IV-18)$$

Đóng mạch RL vào nguồn xoay chiều $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$ ta có :



Hình IV - 7

$$i(t) = \frac{U_m}{z} \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{U_m}{z} \sin(\psi - \varphi) e^{-R/Lt} \quad (\text{IV-19})$$

trong đó : $z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$, $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$

Đường cong dòng điện tự do (hình IV - 7a), đóng mạch RL vào nguồn một chiều (hình IV - 7b), đóng mạch RL vào nguồn xoay chiều cho trên hình IV - 7c.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Общая электротехника

A.Т.Блажкйна Госэнергоиздат 1986

2. Introduction à l'électrotechnique. Traité d'électricité.

René Boite, Jacques Neiryneck

2. Giáo trình Kỹ thuật điện đại cương

Đặng Văn Đào - Phan Ngọc Bích

4. Giáo trình Kỹ thuật điện

Phan Ngọc Bích và tập thể.

MỤC LỤC

Trang

Lời nói đầu

Phần I MẠCH ĐIỆN

Chương 1 : NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

§1 - 1 - Mạch điện, kết cấu hình học mạch điện	5
§1 - 2 - Các đại lượng đặc trưng quá trình năng lượng trong mạch điện	6
§1 - 3 - Mô hình mạch điện. Các thông số	7
§1 - 4 - Phân loại và các chế độ làm việc của mạch điện.	9
§1 - 5 - Hai định luật Kiếchốp.	11

Chương 2 : DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

§2 - 1 - Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện hình sin.	12
§2 - 2 - Trị số hiệu dụng của dòng điện hình sin.	13
§2 - 3 - Biểu diễn dòng điện hình sin bằng vectơ.	14
§2 - 4 - Dòng điện hình sin trong nhánh thuần điện trở.	15
§2 - 5 - Dòng điện hình sin trong nhánh thuần điện cảm.	16
§2 - 6 - Dòng điện hình sin trong nhánh thuần điện dung.	17
§2 - 7 - Dòng điện hình sin trong nhánh RLC nối tiếp.	18
§2 - 8 - Công suất của dòng điện hình sin.	19
§2 - 9 - Nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$.	20
§2 - 10 - Biểu diễn dòng điện hình sin bằng số phức	21

Chương 3 : CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

§3 - 1 - Ứng dụng biểu diễn vectơ giải mạch điện	24
§3 - 2 - Ứng dụng biểu diễn số phức giải mạch điện	25
§3 - 3 - Phương pháp biến đổi tương đương.	26
§3 - 4 - Phương pháp dòng điện nhánh.	28
§3 - 5 - Phương pháp dòng điện vòng.	29
§3 - 6 - Phương pháp điện áp 2 nút.	30
§3 - 7 - Phương pháp xếp chồng.	31

Chương 4 : MẠCH ĐIỆN BA PHA

§4 - 1 - Khái niệm chung	34
§4 - 2 - Cách nối hình sao.	36
§4 - 3 - Cách nối hình tam giác.	37
§4 - 4 - Công suất mạch điện ba pha.	38
§4 - 5 - Cách giải mạch điện ba pha đối xứng	39
§4 - 6 - Cách giải mạch điện ba pha tải nối hình sao không đối xứng.	41
§4 - 7 - Cách giải mạch điện ba pha tải nối hình tam giác không đối xứng.	44
§4 - 8 - Cách nối nguồn và tải trong mạch điện ba pha.	44

Phần II

MÁY ĐIỆN

Chương 5 : KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

§5 - 1 - Định nghĩa và phân loại.	46
§5 - 2 - Các định luật điện từ cơ bản dùng trong máy điện.	48
§5 - 3 - Các vật liệu chế tạo máy điện.	50
§5 - 4 - Phát nóng và làm mát máy điện.	52
§5 - 5 - Phương pháp nghiên cứu máy điện	52

Chương 6 : MÁY BIẾN ÁP

§6 - 1 - Khái niệm chung.	52
§6 - 2 - Cấu tạo của máy biến áp.	54
§6 - 3 - Nguyên lý làm việc của máy biến áp.	55
§6 - 4 - Các phương trình cân bằng điện và từ của máy biến áp.	56
§6 - 5 - Sơ đồ thay thế máy biến áp.	59
§6 - 6 - Chế độ không tải máy biến áp.	60
§6 - 7 - Chế độ ngắn mạch máy biến áp.	62
§6 - 8 - Chế độ có tải của máy biến áp.	64
§6 - 9 - Máy biến áp ba pha.	67
§6 - 10 - Sự làm việc song song của các máy biến áp.	70
§6 - 11 - Các máy biến áp đặc biệt.	71

Chương 7 : MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

§7 - 1 - Khái niệm chung.	73
§7 - 2 - Cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha.	73
§7 - 3 - Từ trường của máy điện không đồng bộ.	76
§7 - 4 - Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ.	80
§7 - 5 - Phương trình cân bằng điện và từ trường động cơ điện không đồng bộ.	81
§7 - 6 - Sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ.	83
§7 - 7 - Mômen quay của động cơ điện không đồng bộ ba pha.	86
§7 - 8 - Mô máy động cơ điện không đồng bộ.	88
§7 - 9 - Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ.	91
§7 - 10 - Các đặc tính của động cơ điện không đồng bộ.	92
§7 - 11 - Động cơ điện không đồng bộ 2 pha.	94
§7 - 12 - Động cơ điện không đồng bộ một pha.	95

Chương 8 : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

§8 - 1 - Định nghĩa và công dụng.	97
§8 - 2 - Cấu tạo máy điện đồng bộ.	98
§8 - 3 - Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ.	99
§8 - 4 - Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ.	100
§8 - 5 - Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lõi.	100
§8 - 6 - Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lõi.	101
§8 - 7 - Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh.	103
§8 - 8 - Sự làm việc song song của máy phát điện đồng bộ.	104
§8 - 9 - Động cơ điện đồng bộ.	105
§8 - 10 - Các máy đồng bộ có cấu tạo đặc biệt.	106

Chương 9 : MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

§9 - 1 - Cấu tạo của máy phát điện một chiều.	107
§9 - 2 - Nguyên lý làm việc.	109
§9 - 3 - Từ trường và sức điện động của máy phát điện một chiều.	110
§9 - 4 - Công suất điện từ, mômen điện từ của máy điện một chiều.	112
§9 - 5 - Tia lửa điện trên vành góp và biện pháp khắc phục.	113
§9 - 6 - Máy phát điện một chiều.	114
§9 - 7 - Động cơ điện một chiều.	117

Phần III

ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN

Chương 10 : ĐO LƯỜNG ĐIỆN

§10 - 1 - Khái niệm chung về đo lường điện.	122
§10 - 2 - Cơ cấu biến đổi điện cơ.	124
§10 - 3 - Đo dòng điện và điện áp.	132
§10 - 4 - Đo các thông số mạch điện.	134
§10 - 5 - Đo công suất và điện năng.	137
§10 - 6 - Đo lường các đại lượng không điện.	138
§10 - 7 - Đo lường số	141

Chương 11 : KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN

§11 - 1 - Khái niệm cơ bản về điều khiển máy phát điện.	144
§11 - 2 - Khái niệm cơ bản về truyền động điện.	144
§11 - 3 - Mômen tác động trong truyền động điện.	145
§11 - 4 - Tính công suất và chọn động cơ.	147
§11 - 5 - Chọn loại động cơ điện.	151

Chương 12 : CÁC THIẾT BỊ VÀ SƠ ĐỒ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN

§12 - 1 - Các thiết bị điều khiển.	152
§12 - 2 - Nguyên lý tự động điều khiển quá trình mở máy và hãm động cơ điện.	154
§12 - 3 - Sơ đồ điều khiển động cơ điện một chiều.	155
§12 - 4 - Sơ đồ điều khiển động cơ điện không đồng bộ.	157
§12 - 5 - Tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện đồng bộ.	159

PHỤ LỤC

<i>Phụ lục 1.</i> Mạch điện phi tuyến	161
<i>Phụ lục 2.</i> Ứng dụng máy tính để phân tích mạch điện.	167
<i>Phụ lục 3.</i> Dòng điện không hình sin.	175
<i>Phụ lục 4.</i> Quá trình quá độ trong mạch điện.	180

KỸ THUẬT ĐIỆN

Mã số : 7B201T6 - TTS

In 1.500 bản (QĐ 09TK), khổ 19 x 27 cm tại Công ty cổ phần in Sách giáo khoa tại TP - Hà Nội.
Số xuất bản: 257 - 2056. In xong và nộp lưu chiểu tháng 03 năm 2006.

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

- | | |
|--|---|
| 1. Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lí - Tập một và tập hai | Phạm Thượng Hàn |
| 2. Rơ le số lý thuyết và ứng dụng | Nguyễn Hồng Thái
Vũ Văn Tầm |
| 3. Máy điện trong thiết bị tự động | Nguyễn Phúc Hải
Nguyễn Hồng Thanh |
| 4. Công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp | Nguyễn Đức Sỹ |
| 5. Sửa chữa máy điện và máy biến áp | Nguyễn Đức Sỹ |
| 6. Kỹ thuật điện | Đặng Văn Đào
Lê Văn Doanh |
| 7. Kỹ thuật điện 2 | Trần Minh Sơ |
| 8. Kỹ thuật điện 3 | Hoàng Kim Hải |
| 9. Mạng điện nông nghiệp | Nguyễn Văn Sắc
Nguyễn Ngọc Kính |
| 10. Trang bị điện - điện tử (Máy công nghiệp dùng chung) | Vũ Quang Hải
Nguyễn Văn Chất |
| 11. Trang bị điện - điện tử (Máy gia công kim loại) | Nguyễn Thị Liên Anh
Nguyễn Mạnh Tiến |
| 12. Trang bị điện tử công nghiệp | Vũ Quang Hải |
| 13. Cơ sở tự động hóa - Tập một | Vũ Quang Hải
Nguyễn Văn Hòa |

Bạn đọc có thể tìm mua tại các Công ti Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng của Nhà xuất bản Giáo Dục:

Tại Hà Nội: 81 Trần Hưng Đạo, 57 Giảng Võ, 232 Tây Sơn, 23 Tràng Tiền, 25 Hàn Thuyên

Tại Đà Nẵng: 15 Nguyễn Chí Thanh

Tại Thành phố Hồ Chí Minh: 231 Nguyễn Văn Cừ, 240 Trần Bình Trọng



8 934980 632512



Giá: 17.000đ