

**NGUYỄN TUẤN HÙNG**

# **KỸ THUẬT ĐIỆN**

**Ebook.moet.gov.vn, 2007**

# LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật điện là ngành kỹ thuật ứng dụng các hiện tượng điện từ để biến đổi năng lượng, đo lường, điều khiển, xử lý tín hiệu. Năng lượng điện ngày nay trở nên rất cần thiết và đóng vai trò vô cùng quan trọng trong đời sống và sản xuất của con người.

Bài giảng điện tử môn Kỹ thuật điện được biên soạn dành cho sinh viên các ngành kỹ thuật không chuyên về Điện thuộc trường Đại học Thủy Sản Nha Trang

Nội dung bài giảng gồm ba phần chính:

## **Phần I: Mạch điện và đo lường điện**

Gồm 5 chương cung cấp các kiến thức cơ bản về mạch điện ( thông số, mô hình, các định luật cơ bản), các phương pháp tính toán mạch điện một pha và ba pha ở chế độ xác lập, đồng thời giới thiệu các cơ cấu đo lường điện và các đại lượng không điện

## **Phần II: Máy điện**

Trình bày nguyên lý, cấu tạo, các tính năng kỹ thuật và các ứng dụng của các loại máy điện cơ bản thường gặp

## **Phần III: Thí nghiệm Kỹ thuật điện**

Gồm 5 bài thí nghiệm giúp sinh viên củng cố phần lý thuyết đã học và sử dụng thành thạo các thiết bị điện và dụng cụ đo trong thực tế.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban chủ nhiệm khoa Khai Thác – Hàng Hải, Bộ môn Điện – Điện tử hàng hải, và Trung tâm Công nghệ phần mềm thuộc Trường Đại Học Thủy Sản Nha Trang đã quan tâm và tạo mọi điều kiện cho tác giả hoàn thành bài giảng này.

KS. NGUYỄN TUẤN HÙNG

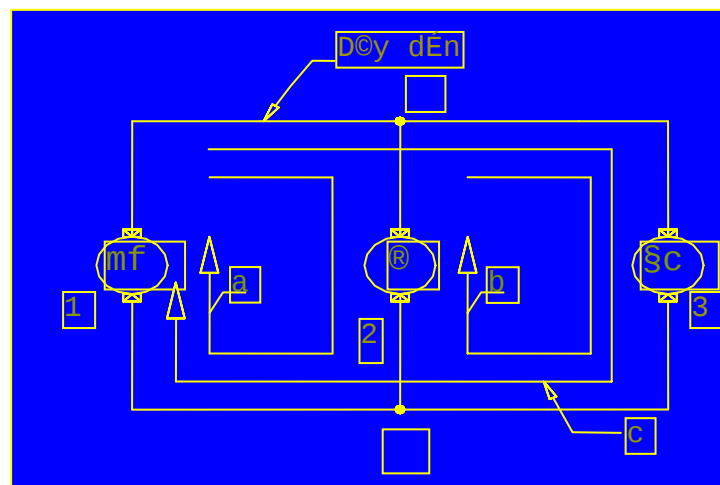
# PHẦN I. MẠCH ĐIỆN VÀ ĐO LƯỜNG

## CHƯƠNG I. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

### 1.1. MẠCH ĐIỆN, KẾT CẤU HÌNH HỌC CỦA MẠCH ĐIỆN

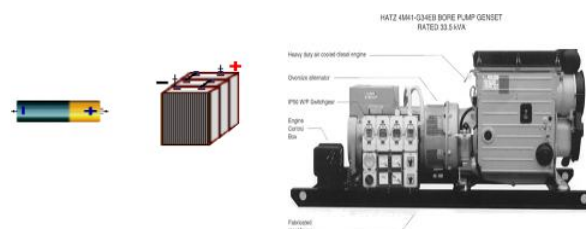
#### 1.1.1. Mạch điện

Mạch điện là tập hợp các thiết bị điện nối với nhau bằng các dây dẫn (phần tử 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.a

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 thành điện năng.



Hình 1.1.b

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. (hình 1.1.c)



Hình 1.1.c

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

### 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.
- d. Mất lưới : vòng mà bên trong không có vòng nào khác

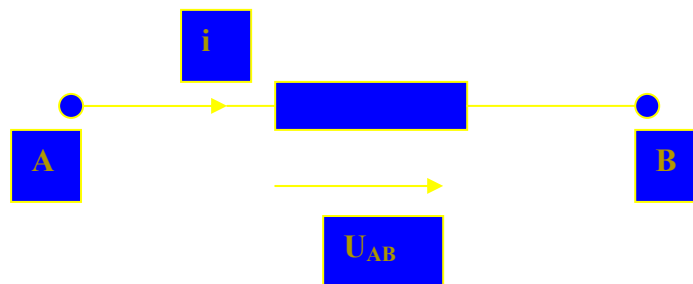
## 1.2. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG TRONG MẠCH ĐIỆN

Để đặc trưng cho quá trình năng lượng cho 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:  $p = u.i$

### 1.2.1. 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:  $i = dq/dt$



Hình 1.2.a

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

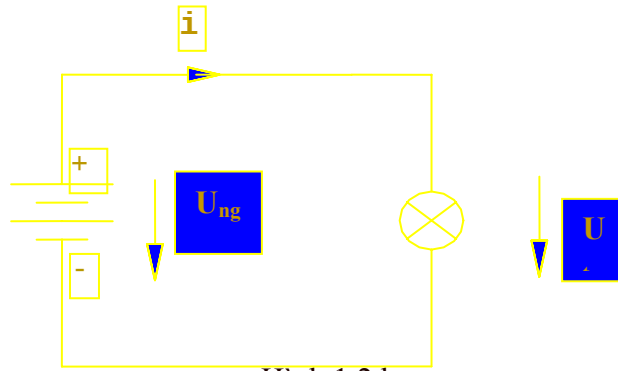
### 1.2.2. Điện áp

Hiệu điện thế (hiệu thế) giữa hai điểm gọi là điện áp. Điện áp giữa hai điểm A và B:

$$u_{AB} = u_A - u_B$$

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

### 1.2.3. Chiều dương dòng điện và điện áp



Hình 1.2.b

Khi giải mạch điện, ta tùy ý về chiều dòng điện và điện áp trong các nhánh gọi là chiều dương. Kết quả tính toán nếu 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.

### 1.2.4. Công suất

Trong mạch điện, một nhánh, một phần tử có thể nhận năng lượng hoặc phát năng lượng.

$p = u.i > 0$  nhánh nhận năng lượng

$p = u.i < 0$  nhánh phát năng lượng

Đơn vị đo của công suất là W (Oát) hoặc KW

## 1.3. MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN, CÁC THÔNG SỐ

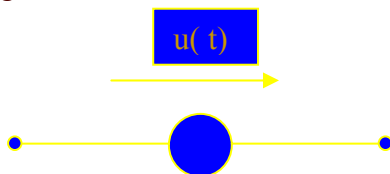
Mạch điện thực bao gồm nhiều thiết bị điện có thực. Khi nghiên cứu tính toán trên mạch điện thực, ta phải thay thế mạch điện thực bằng mô hình mạch điện.

Mô hình mạch điện gồm các thông số sau: nguồn điện áp  $u(t)$  hoặc  $e(t)$ , nguồn dòng điện  $J(t)$ , điện trở  $R$ , điện cảm  $L$ , điện dung  $C$ , hồ cảm  $M$ .

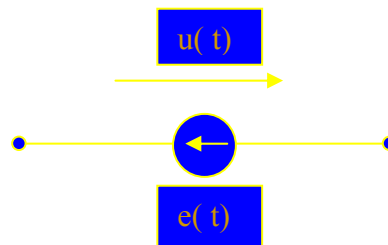
### 1.3.1. Nguồn điện áp và nguồn dòng điện

a. Nguồn điện áp

Nguồn điện áp đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một điện áp trên hai cực của nguồn.



Hình 1.3.1.a



Hình 1.3.1.b

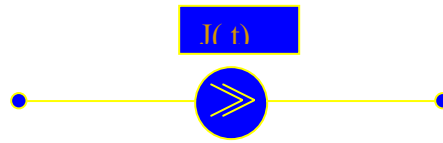
Nguồn điện áp còn được biểu diễn bằng một sức điện động  $e(t)$  (hình 1.3.1.b).

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 điện thế thấp:

$$u(t) = - e(t)$$

### b. Nguồn dòng điện

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 ( hình 1.3.1.c)



Hình 1.3.1.c

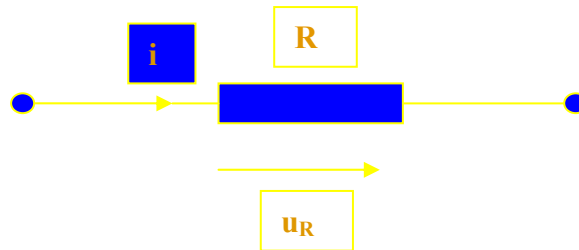
### 1.3.2. Điện trở R

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 :  $u_R = R \cdot i$  (hình 1.3.2.)

Đơn vị của điện trở là  $\Omega$  (ôm)

Công suất điện trở tiêu thụ:  $p = Ri^2$



Hình 1.3.2

Điện dẫn G:  $G = 1/R$ . Đơn vị điện dẫn là Simen (S)

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

$$A = \int_0^t p dt = \int_0^t Ri^2 dt$$

Khi  $i = \text{const}$  ta có  $A = R i^2 \cdot t$

### 1.3.3. Điện cảm L

Khi có dòng điện  $i$  chạy trong cuộn dây  $W$  vòng sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cuộn dây  $\psi = W\phi$  (hình 1.3.3)

Điện cảm của cuộn dây:  $L = \psi / i = W\phi / i$

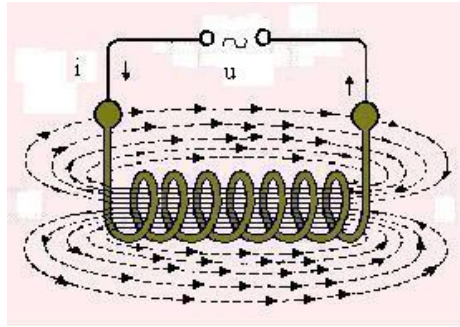
Đơn vị điện cảm là Henry (H).

Nếu dòng điện  $i$  biến thiên thì từ thông cũng biến thiên và theo định luật cảm ứng điện từ trong cuộn dây xuất hiện sức điện động tự cảm:

$$e_L = - d\psi / dt = - L di/dt$$

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp:

$$u_L = - e_L = L di/dt$$



Hình 1.3.3

Công suất tức thời trên cuộn dây:  $p_L = u_L \cdot i = L i \frac{di}{dt}$

Năng lượng từ trường của cuộn dây:

$$W_M = \int_0^t p_L dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2$$

Điện cảm L đặc trưng cho quá trình trao đổi và tích lũy năng lượng từ trường của cuộn dây.

#### 1.3.4. Điện dung C

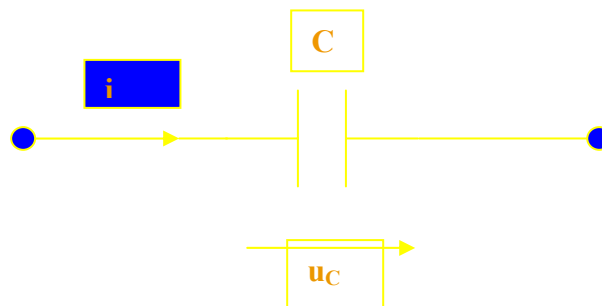
Khi đặt điện áp  $u_c$  hai đầu tụ điện (hình 1.3.4), sẽ có điện tích q tích lũy trên bản tụ điện.:  $q = C \cdot u_c$

Nếu điện áp  $u_c$  biến thiên sẽ có dòng điện dịch chuyển qua tụ điện:

$$i = dq/dt = C \cdot du_c/dt$$

Ta có:

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



Hình 1.3.4

Công suất tức thời của tụ điện:  $p_c = u_c \cdot i = C \cdot u_c \cdot du_c/dt$

Năng lượng điện trường của tụ điện:

$$W_E = \int_0^t p_c dt = \int_0^u C u_c du_c = \frac{1}{2} C u^2$$

Điện dung C đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng điện trường (phóng tích điện năng) trong tụ điện.

Đơn vị của điện dung là F (Fara) hoặc  $\mu F$

### 1.3.5. 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  $R, L, C, M, u, e, j$ .

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

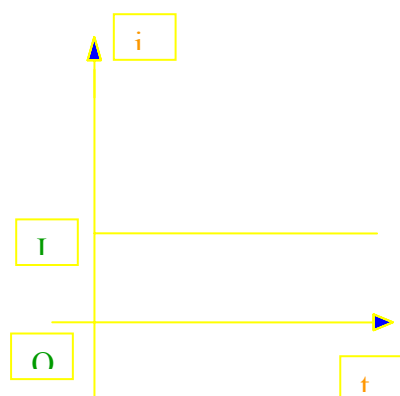
## 1.4. PHÂN LOẠI VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MẠCH ĐIỆN

### 1.4.1. Phân loại theo loại dòng điện

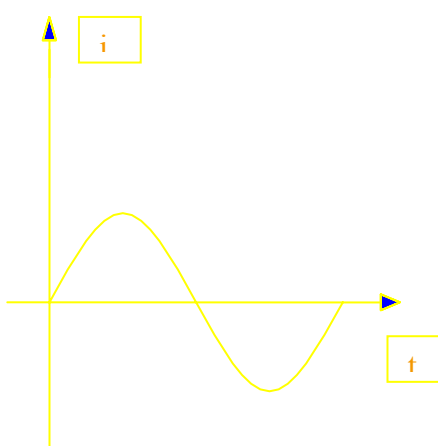
a. Mạch điện một chiều: Dòng điện một chiều là dòng điện có chiều không đổi theo thời gian. Mạch điện có dòng điện một chiều chạy qua gọi là mạch điện một chiều.

Dòng điện có trị số và chiều không thay đổi theo thời gian gọi là dòng điện không đổi (hình 1.4.a)

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 (hình 1.4.b).



Hình 1.4.a



Hình 1.4.b

### 1.4.2. Phân loại theo tính chất các thông số $R, L, C$ của mạch điện

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.

### 1.4.3. 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

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. 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.

### 1.4.4. Phân loại theo bài toán về mạch điện

Có hai loại bài toán về mạch điện: 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.

## 1.5. HAI ĐỊNH LUẬT KIẾCHỚP

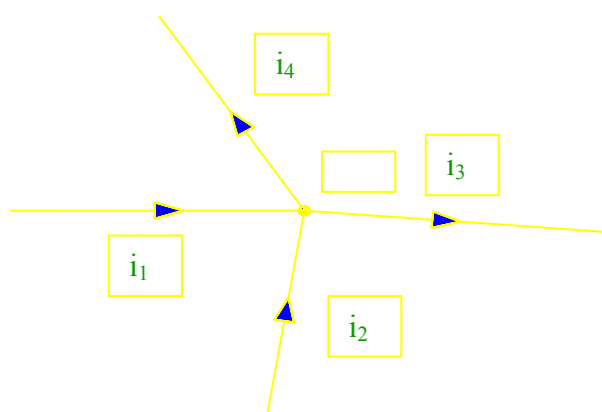
Định luật KiếchỚp 1 và 2 là hai định cơ bản để nghiên cứu và tính toán mạch điện.

### 1.5.1. Định luật KIẾCHỚP 1

Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không:  $\sum i = 0$  trong đó thường quy ước các dòng điện có chiều đi tới nút mang dấu dương, và các dòng điện có chiều rời khỏi nút thì mang dấu âm hoặc ngược lại.

Ví dụ : Tại nút A hình 1.5.1, định luật KiếchỚp 1 được viết:

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$$

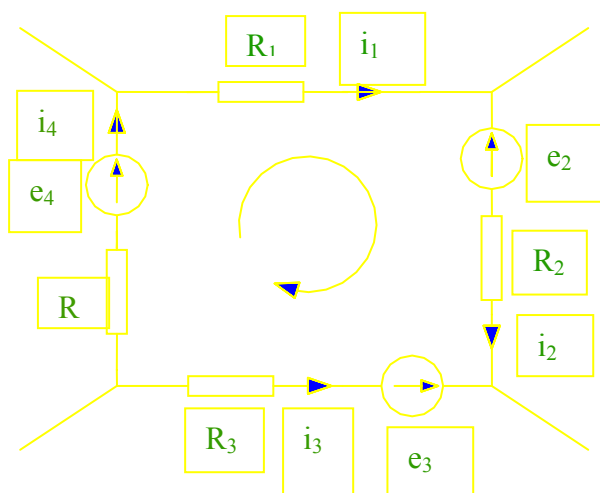


Hình 1.5.1

### 1.5.2. Định luật KIẾCHỚP 2

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

Ví dụ: Đối với vòng kín trong hình 1.5.2, định luật Kiếchớp 2:



Hình 1.5.2

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 - R_3 i_3 + R_4 i_4 = -e_2 - e_3 + e_4$$

## CHƯƠNG II. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

### 2.1. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CHO DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Biểu thức của dòng điện, điện áp hình sin:

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

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

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

$\varphi_i, \varphi_u$  : pha ban đầu của dòng điện, điện áp.

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  $\varphi$ :

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

$\varphi > 0$  điện áp vượt trước dòng điện

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

$\varphi = 0$  điện áp trùng pha với dòng điện

### 2.2. TRỊ SỐ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Trị số hiệu dụng của dòng điện hình sin là dòng một chiều  $I$  sao cho khi chạy qua cùng một điện trở  $R$  thì sẽ tạo ra cùng công suất.

Dòng điện hình sin chạy qua điện trở  $R$ , lượng điện năng  $W$  tiêu thụ trong một chu kỳ  $T$ :

$$W = \int_0^T Ri^2(t) dt$$

Công suất trung bình trong một chu kỳ:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt$$

Với dòng điện một chiều ta có công suất  $P = I^2 R$ .

$$\text{Ta có : } \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt = RI^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

$$\text{Ta có: } I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Trong thực tế, giá trị đọc trên các cơ cấu đo dòng điện  $I$ , đo điện áp  $U$ , đo công suất  $P$  của dòng điện hình sin là trị số hiệu dụng của chúng.

Các giá trị  $U, I, P$  ghi nhãn mác của dụng cụ và thiết bị điện là trị số hiệu dụng.



$$(a+jb) - (c+jd) = (a-c) + j(b-d)$$

b. Nhân, chia:

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

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

c. Nhân số phức với  $\pm j$

$$e^{j90} = 1.(\cos 90 + j \sin 90) = j; \quad e^{j-90} = 1[\cos(-90) + j \sin(-90)] = -j$$

### 2.4.3. Tổng trở phức và tổng dẫn phức

Tổng trở phức kí hiệu là Z:

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{Ue^{j\varphi_u}}{Ie^{j\varphi_i}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = Ze^{j\varphi}$$

$$Z = R + jX$$

Mô đun của tổng trở phức kí hiệu là z:  $z = \sqrt{R^2 + X^2}$

Tổng dẫn phức:  $Y = \frac{1}{Z}$

2.4.4. Định luật Ôm dạng phức:  $Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$

### 2.4.5. Định luật Kiếchốp dạng phức

a. Định luật Kiếchốp 1 dưới dạng phức:  $\sum \dot{I} = 0$

b. Định luật Kiếchốp 2 dưới dạng phức:  $\sum Zi = \dot{E}$

## 2.5. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN TRỞ

Khi có dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  qua điện trở R, điện áp trên điện trở:

$$u_R = R.i = U_{R\max} \sin \omega t, \text{ trong đó: } U_{R\max} = R.I_{\max}$$

Ta có:  $U_R = R.I$  hoặc  $I = U_R / R$

Biểu diễn vectơ dòng điện I và điện áp  $U_R$

Dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  biểu diễn dưới dạng dòng điện phức:

$$\dot{I} = I e^{j0}$$

Điện áp  $u_R = U_{\max} \sin \omega t$  biểu diễn dưới dạng điện áp phức:

$$\dot{U}_R = U_R e^{j0} = R I e^{j0} = R \dot{I} \Rightarrow \dot{I} = \frac{\dot{U}}{R}$$

Công suất tức thời của mạch điện:

$$p_R(t) = u_R i = U_R I (1 - \cos 2\omega t)$$

Ta thấy  $p_R(t) > 0$  tại mọi thời điểm, điện trở R luôn tiêu thụ điện năng của nguồn và biến đổi sang dạng năng lượng khác như quang năng và nhiệt năng .v.

Công suất tác dụng P là trị số trung bình của công suất tức thời  $p_R$  trong một chu kỳ.

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

Ta có:  $P = U_R I = RI^2$

Đơn vị của công suất tác dụng là W (oát) hoặc KW

## 2.6. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN CẢM

Khi dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  qua điện cảm  $L$  (hình 2.6.a), điện áp trên điện cảm:

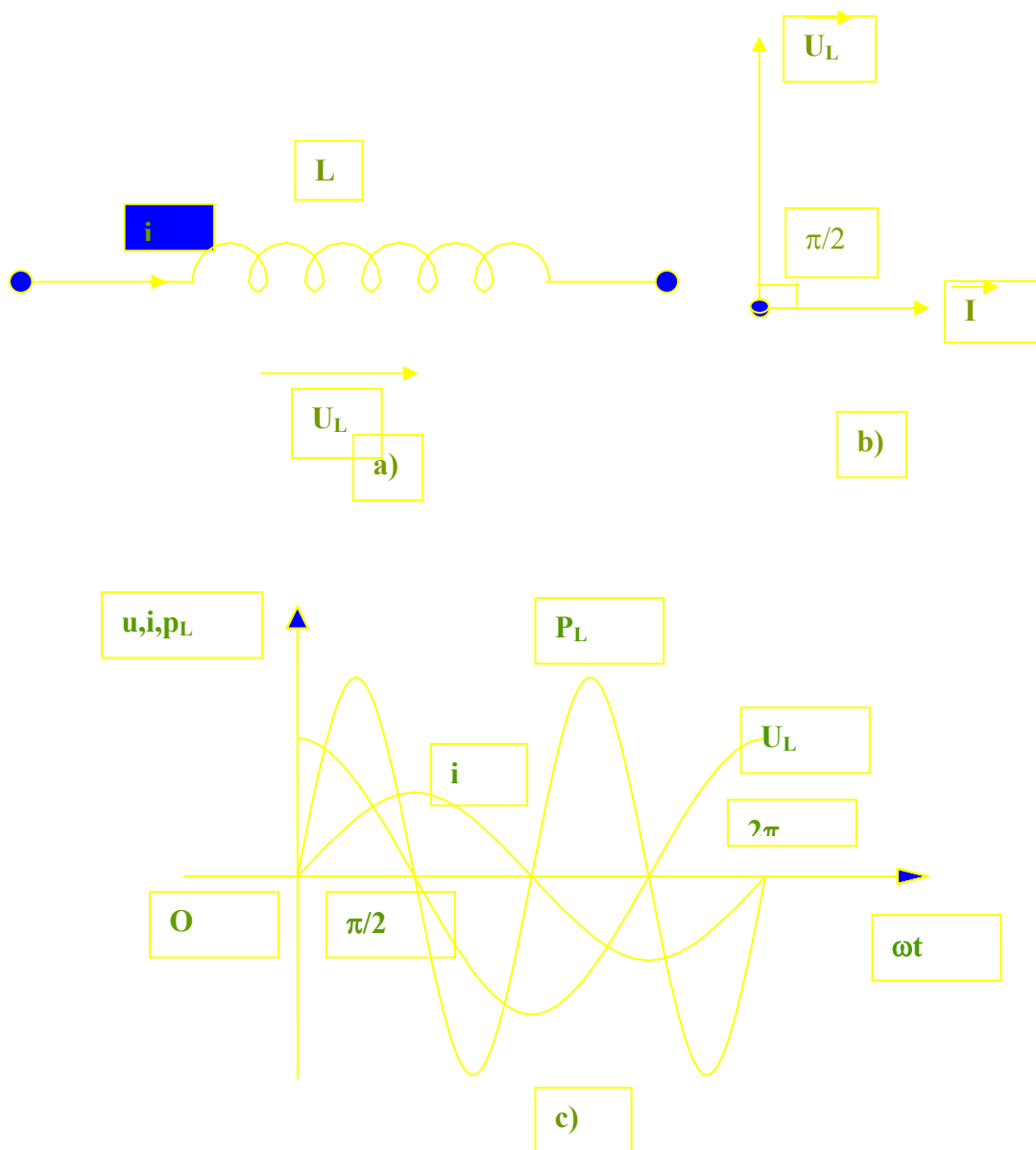
$$u_L(t) = L di/dt = U_{L\max} \sin(\omega t + \pi/2)$$

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

$$\Rightarrow U_L = X_L I \Rightarrow I = U_L / X_L$$

$$X_L = \omega L \text{ gọi là cảm kháng.}$$

Biểu diễn vectơ dòng điện  $I$  và điện áp  $U_L$  (hình 2.6.b)



Hình 2.6

Dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  biểu diễn dưới dạng dòng điện phức:  $\hat{I} = I e^{j0}$

Điện áp  $u_L = U_{L\max} \sin(\omega t + \pi/2)$  biểu diễn dưới dạng điện áp phức:

$$\hat{U}_L = U_L e^{j90} = X_L \cdot I j = j e^{j0} X_L = j X_L \hat{I} \Rightarrow \hat{I} = \frac{\hat{U}_L}{j X_L}$$

Công suất tức thời của điện cảm:  $p_L(t) = u_L \cdot i = U_L I \sin 2\omega t$

Công suất tác dụng của nhánh thuần cảm:  $P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L(t) dt = 0$

Để biểu thị cường độ quá trình trao đổi năng lượng của điện cảm ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng  $Q_L$

$$Q_L = U_L I = X_L I^2$$

Đơn vị công suất phản kháng là Var hoặc KVar

## 2.7. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN DUNG

Đặt vào hai đầu tụ điện một điện áp  $u_C : u_C = U_{C\max} \sin(\omega t - \pi/2)$

thì điện tích  $q$  trên tụ điện:  $q = C u_C = C \cdot U_{C\max} \sin(\omega t - \pi/2)$

Ta có  $i_C = dq/dt = I_{C\max} \sin \omega t$

trong đó:  $I_{C\max} = U_{C\max} / X_C \rightarrow I_C = U_C / X_C$

$X_C = 1/(C\omega)$  gọi là dung kháng

Đồ thị vectơ dòng điện  $I$  và điện áp  $U_C$

Biểu diễn điện áp  $u_C = U_{C\max} \sin(\omega t - \pi/2)$  dưới dạng điện áp phức:  $\hat{U}_C = U_C e^{j(-90)}$

Biểu diễn dòng điện  $i_C = I_{C\max} \sin \omega t$  dưới dạng phức:  $\hat{I}_C = I_C e^{j0}$

Ta có:  $\hat{U}_C = U_C e^{j(-90)} = U_C e^{j(-90)} e^{j0} = -j X_C \cdot I_C e^{j0} = -j X_C \hat{I}_C$

Kết luận:  $\hat{U}_C = -j X_C \hat{I}_C$

Công suất tức thời của nhánh thuần dung:  $p_C = u_C i_C = -U_C I_C \sin 2\omega t$

Mạch thuần dung không tiêu tán năng lượng:  $P_C = \frac{1}{T} \int_0^T p_C(t) dt = 0$

Công suất phản kháng của điện dung:  $Q_C = -U_C \cdot I_C = -X_C I^2$

## 2.8. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG MẠCH R – L – C MẮC NỐI TIẾP VÀ SONG SONG

### 2.8.1. Dòng điện hình Sin trong nhánh R-L-C nối tiếp

Khi cho dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  qua nhánh R – L – C nối tiếp sẽ gây ra các điện áp  $u_R, u_L, u_C$  trên các phần tử R, L, C.

Ta có:  $u = u_R + u_L + u_C$  hoặc  $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$

Biểu diễn vectơ điện áp  $U$  bằng phương pháp vectơ

Từ đồ thị vectơ ta có:

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

Trong đó:  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$Z$  gọi là mô đun tổng trở của nhánh  $R - L - C$  nối tiếp.

$X = X_L - X_C$ ;  $X$  là điện kháng của nhánh.

Điện áp lệch pha so với dòng điện một góc  $\varphi$ :  $\tan \varphi = X/R = (X_L - X_C)/R$

Biểu diễn định luật Ôm dưới dạng phức:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C = \vec{I}R + j\vec{I}X_L - j\vec{I}X_C = \vec{I}[R + j(X_L - X_C)] = \vec{I}Z$$

$$\vec{I} = \frac{\vec{U}}{Z}$$

Ta có:

Tổng trở phức của nhánh:  $Z = R + jX = ze^{j\varphi}$

### 2.8.2. Dòng điện hình sin trong mạch R-L-C song song

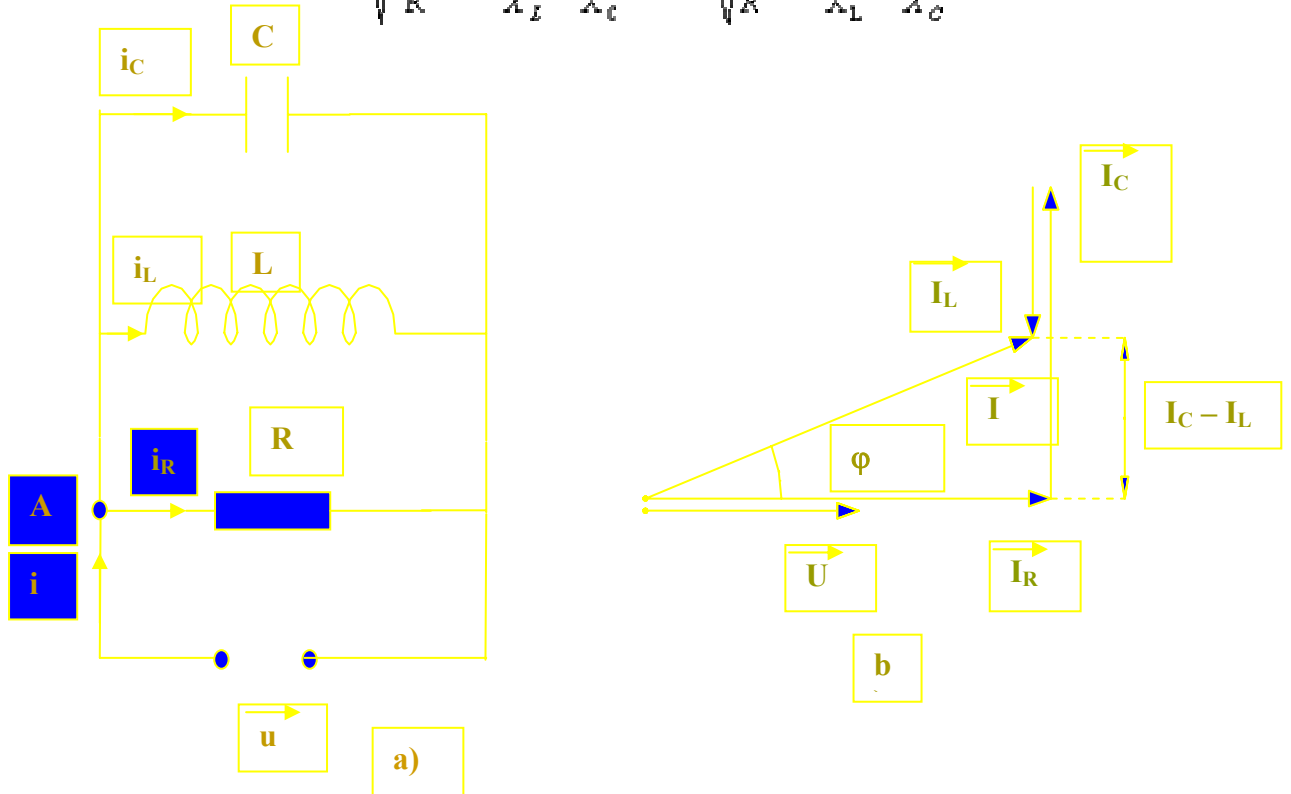
Cho mạch điện gồm điện trở  $R$ , điện cảm  $L$ , tụ  $C$  mắc song song (hình 2.8.2.a.)

Áp dụng định luật Kiếchốp 1 tại nút A:  $i = i_R + i_L + i_C$  hoặc:  $\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C$

Biểu diễn vectơ  $I$  bằng phương pháp vectơ (hình 2.8.2.b)

Trị số hiệu dụng  $I$  của dòng điện mạch chính:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{X_L} - \frac{U}{X_C}\right)^2} = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$



Hình 2.8.2

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} = U \frac{\sqrt{(X_L X_C)^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}{R X_L X_C} = \frac{U}{\frac{R X_L X_C}{\sqrt{(X_L X_C)^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}} = \frac{U}{Z}$$

Mô đun tổng trở  $Z$  của toàn mạch:

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

Dòng điện mạch chính  $I$  lệch pha so với điện áp  $U$  một góc  $\varphi$ :

$$\tan \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{\frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L}}{\frac{U}{R}} = \frac{(X_L - X_C)R}{X_L X_C}$$

Định luật Ôm dưới dạng phức trong mạch R, L, C song song

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 dạng phức tại nút A:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{R} + \frac{\dot{U}}{jX_L} - \frac{\dot{U}}{jX_C} = \dot{U} \left( \frac{X_L X_C + jR(X_L - X_C)}{R X_L X_C} \right) = \frac{\dot{U}}{Z}$$

Tổng trở phức của mạch:

$$Z = \frac{R X_L X_C}{X_L X_C + jR(X_L - X_C)} = Z e^{j\varphi}$$

## 2.9. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Đối với dòng điện xoay chiều có ba loại công suất

### 2.9.1. Công suất tác dụng P

Cho mạch điện (hình 2.9) gồm các thông số R, L, C được đặt vào điện áp  $u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$  và dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  chạy qua mạch.

Công suất tác dụng P: 
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

Công suất tức thời  $p(t) = u \cdot i = UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$

Ta có: 
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] dt = UI \cos \varphi$$

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: 
$$P = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2$$

Trong đó  $R_k$ ,  $I_k$  là điện trở, dòng điện trên nhánh thứ k.

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

### 2.9.2. Công suất phản kháng Q

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

$$Q = UI \sin \varphi$$

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

$$Q = Q_L + Q_C = \sum_{k=1}^n X_{Lk} I_k^2 - \sum_{k=1}^n X_{Ck} I_k^2$$

trong đó:  $X_{Lk}$ ,  $X_{Ck}$ ,  $I_k$  lần lượt là cảm kháng, dung kháng và dòng điện trên nhánh thứ k.

### 2.9.3. Công suất biểu kiến S

$$S = U.I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

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

P, S, Q có cùng 1 thứ nguyên, nhưng đơn vị của P là W, của Q là VAR và của S là VA.

## 2.10. NÂNG CAO HỆ SỐ CÔNG SUẤT $\cos \varphi$

Ta có  $P = UI \cos \varphi$ ;  $\cos \varphi$  được gọi là hệ số công suất.

Nâng cao hệ số  $\cos \varphi$  của tải sẽ nâng cao khả năng sử dụng công suất nguồn điện. Mặt khác nếu cần 1 công suất P nhất định trên đường dây 1 pha thì dòng điện chạy trên đường

dây: 
$$I_d = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

Khi ta nâng hệ số  $\cos \varphi$  thì dòng điện dây  $I_d$  sẽ giảm, dẫn đến giảm chi phí đầu tư cho đường dây và tổn hao điện năng trên đường dây.

Để nâng cao  $\cos \varphi$  ta dùng tụ điện nối song song với tải

Ta có phụ tải:  $Z = R + jX$ , 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  $\cos \varphi_1 = R/Z$  của tải.

Khi có bù (có nhánh tụ điện), dòng điện trên đường dây I:

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

Lúc chưa bù chỉ có công suất  $Q_1$  của tải:  $Q_1 = P \tan \varphi_1$

Lúc có bù, công suất phản kháng của mạch:  $Q = P \tan \varphi$

Công suất phản kháng của mạch gồm  $Q_1$  của tải và  $Q_C$  của tụ điện:

$$Q_1 + Q_C = P \tan \varphi \Rightarrow Q_C = -P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi) \quad (*)$$

Mặt khác công suất phản kháng  $Q_C$  của tụ:

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

Từ (\*) và (\*\*) ta tính được giá trị điện dung C để nâng hệ số công suất của mạch điện từ

$\cos \varphi_1$  lên  $\cos \varphi$ : 
$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi)$$

## CHƯƠNG III. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

### 3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Phân tích mạch điện là bài toán cho biết kết cấu và thông số của mạch điện ( thông số của nguồn U và E, điện trở R, điện cảm L, điện dung C, tần số f của mạch) và yêu cầu phải tìm dòng điện, điện áp, và công suất trên các nhánh

Hai định luật Kiếchốp là cơ sở để giải mạch điện.  
Khi nghiên cứu giải mạch điện hình sin ở chế độ xác lập ta biểu diễn dòng điện, điện áp, và các định luật dưới dạng vectơ hoặc số phức.  
Đặc biệt khi cần lập hệ phương trình để giải mạch điện phức tạp ta nên sử dụng phương pháp biểu diễn bằng số phức.

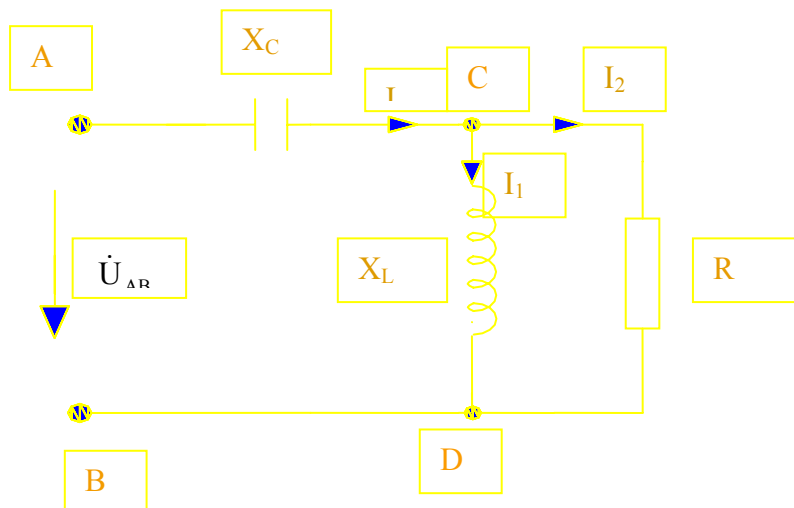
### 3.2. ỨNG DỤNG BIỂU DIỄN SỐ PHỨC ĐỂ GIẢI MẠCH ĐIỆN

Cho mạch điện như hình vẽ 3.2.  
Cho biết:

$$\dot{U}_{AB} = 100e^{j0}; X_L = X_C = R = 10(\Omega)$$

Tìm dòng điện I,  $I_1$ ,  $I_2$  bằng phương pháp biểu diễn số phức

Tìm công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q, công suất biểu kiến S của mạch điện.



Hình 3.2

Giải mạch điện bằng phương pháp số phức:

$$\text{Tổng trở phức nhánh } Z_{CD} = R.Z_L / (R + Z_L) = 5 (1+j) (\Omega);$$

Tổng trở phức  $Z_{AC} = -jX_C = -10j (\Omega)$ ;

Tổng trở phức toàn mạch  $Z_{AB} = Z_{AC} + Z_{CD} = 5(1+j) - 10j = 5(1-j) (\Omega)$ ;

Dòng điện phức mạch chính:  $\dot{I} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{100}{5(1-j)} = 10(1+j)$

Giá trị hiệu dụng dòng điện mạch chính:  $I = 10\sqrt{2} (A)$

Điện áp phức nhánh CD:  $\dot{U}_{CD} = \dot{I} Z_{CD} = 10(1+j) 5(1+j) = 100j$

Dòng điện phức  $I_1$ :  $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{CD}}{Z_L} = \frac{100j}{10j} = 10$

Giá trị hiệu dụng dòng điện  $I_1 = 10 (A)$

Dòng điện phức nhánh 2:  $\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{CD}}{R} = \frac{100j}{10} = 10j$

Giá trị hiệu dụng dòng điện  $I_2 = 10 (A)$

Công suất tác dụng toàn mạch:  $P = I_2^2 \cdot R = 100 \cdot 10 = 1000 (W)$

Công suất phản kháng của toàn mạch:

$Q = I_1^2 X_L - I^2 X_C = 100 \cdot 10 - 200 \cdot 10 = -1000 (Var)$

Công suất biểu kiến của toàn mạch:  $S = U_{AB} \cdot I = 1000\sqrt{2} (VA)$

### 3.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG

#### 3.3.1. Mắc nối tiếp

Các tổng trở  $Z_1, Z_2, Z_3$  được mắc nối tiếp

Tổng trở tương đương của mạch nối tiếp  $Z_{td} = Z_1 + Z_2 + Z_3$

Ta có:

$$\dot{U} = \dot{I} Z_{td} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = \dot{I} Z_1 + \dot{I} Z_2 + \dot{I} Z_3 = \dot{I} (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

Suy ra  $Z_{td} = Z_1 + Z_2 + Z_3$

Kết luận: Tổng trở tương đương của các phần tử mắc nối tiếp bằng tổng các tổng trở của các phần tử.

Công thức tổng quát:

$$Z_{td} = \sum_{k=1}^n Z_k$$

#### 3.3.2. Mắc song song

Các tổng trở  $Z_1, Z_2, Z_3$  được mắc song song

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút A:  $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$  (1)

Mặc khác:  $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z_{td}}; \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_1}; \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{Z_2}; \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}}{Z_3}$  (2)

Từ (1) và (2) ta có:  $\frac{\dot{U}}{Z_{td}} = \frac{\dot{U}}{Z_1} + \frac{\dot{U}}{Z_2} + \frac{\dot{U}}{Z_3} \Leftrightarrow \frac{1}{Z_{td}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$

Ta có:  $Y_{td} = Y_1 + Y_2 + Y_3$

Kết luận: Tổng dẫn tương đương của các nhánh song song bằng tổng các tổng dẫn các phần tử trên các nhánh.

Công thức tổng quát: 
$$Y_{\text{td}} = \sum_{k=1}^n Y_k$$

### 3.3.3. Biến đổi sao - tam giác (Y - Δ) và tam giác – sao (Δ - Y)

a. Biến đổi từ hình sao sang tam giác (Y - Δ):

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$$

$$Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$$

$$Z_{31} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2}$$

Nếu  $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_Y \Rightarrow Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = 3 \cdot Z_Y$

b. Biến đổi từ hình tam giác sang sao (Δ - Y):

$$Z_1 = \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{23} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

Nếu  $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = Z_{\Delta} \Rightarrow Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_{\Delta}/3$

## 3.4. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN NHÁNH

a. Thuật toán:

Xác định số nút n và số nhánh m của mạch điện:

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh
- Viết n - 1 phương trình Kirchhoff 1 cho n - 1 nút
- Viết m - n + 1 phương trình Kirchhoff 2 cho các vòng
- Giải hệ m phương trình tìm các dòng điện nhánh

b. Bài tập:

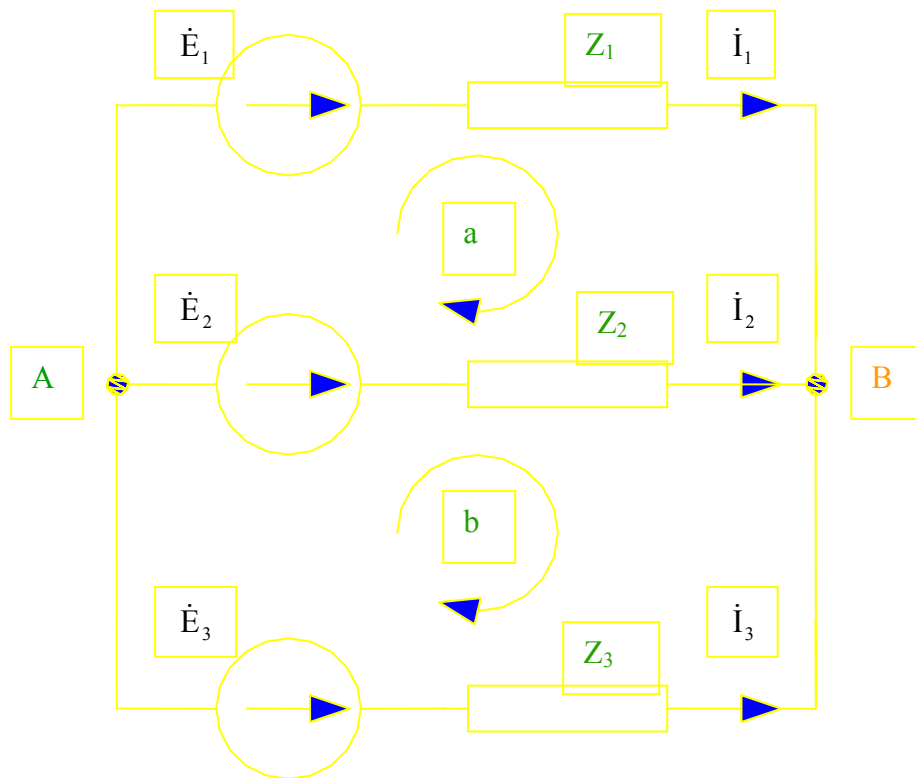
Cho mạch điện như hình vẽ 3.4

Cho biết:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 100e^{j0} (\text{V}); \dot{E}_2 = 50e^{j0} (\text{V})$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1 + j (\Omega);$$

Tìm các dòng điện  $I_1, I_2$  và  $I_3$  bằng phương pháp dòng điện nhánh.



Hình 3.4

Giải mạch điện bằng phương pháp dòng điện nhánh

Mạch điện có 2 nút ( $n = 2$ ) và 3 nhánh ( $m = 3$ )

Chọn chiều dòng điện nhánh  $I_1, I_2, I_3$  và chiều dương cho vòng a, b ( hình 3.4)

Viết phương trình Kiếchốp 1 cho nút B:  $\hat{I}_1 + \hat{I}_2 + \hat{I}_3 = 0$  (1)

Viết 2 phương trình Kiếchốp 2 cho hai vòng :

Vòng a:  $\hat{I}_1 Z_1 - \hat{I}_2 Z_2 = \hat{E}_1 - \hat{E}_2$  (2)

Vòng b:  $\hat{I}_2 Z_2 - \hat{I}_3 Z_3 = \hat{E}_2 - \hat{E}_3$  (3)

Thế số vào 3 phương trình (1) (2) và (3) ta giải hệ phương trình được kết quả:

$$\hat{I}_1 = 25/3 \cdot (1 - j)(A)$$

$$\hat{I}_2 = 50/3 \cdot (j - 1)(A)$$

$$\hat{I}_3 = 25/3 \cdot (1 - j)(A)$$

$$I_1 = I_3 = \frac{25}{3} \sqrt{2}(A); I_2 = \frac{50}{3} \sqrt{2}(A)$$

Suy ra giá trị hiệu dụng :

c. Kết luận

Nhược điểm của phương pháp dòng điện nhánh là giải hệ nhiều phương trình với nhiều ẩn số.

### 3.5. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN VÒNG

#### a. Thuật toán

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh và dòng điện vòng
- Lập  $m - n + 1$  phương trình Kiếchốp 2 cho  $m - n + 1$  vòng độc lập
- Giải hệ  $m - n + 1$  phương trình tìm các dòng điện vòng
- Từ các dòng điện vòng suy ra các dòng điện nhánh (Dòng điện nhánh bằng tổng đại số các dòng điện vòng chạy trên nhánh đó)  
 $m$  là số nhánh,  $n$  là số nút của mạch điện

Dòng điện vòng là dòng điện mạch vòng tưởng tượng chạy khép kín trong các vòng độc lập.

#### b. Bài tập

Cho mạch điện như hình 3.4

Cho biết:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_3 = 100e^{j\omega} (V); \vec{E}_2 = 50e^{j\omega} (V)$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1 + j (\Omega);$$

Tìm các dòng điện  $I_1$ ,  $I_2$  và  $I_3$  bằng phương pháp dòng điện vòng

Giải mạch điện bằng phương pháp dòng điện vòng:

Mạch điện có 2 nút ( $n = 2$ ) và có 3 nhánh ( $m = 3$ )

Chọn chiều dòng điện nhánh  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , chiều hai dòng điện vòng  $I_a$ ,  $I_b$  và chiều dương cho vòng a, b (hình 3.5)

Viết hai phương trình Kiếchốp 2 cho hai vòng a và b với ẩn số là các dòng điện vòng  $I_a$ ,  $I_b$

$$\text{Vòng a: } \vec{I}_a(Z_1 + Z_2) - \vec{I}_b Z_2 = \vec{E}_1 - \vec{E}_2 \quad (1)$$

$$\text{Vòng b: } -\vec{I}_a Z_2 + \vec{I}_b(Z_2 + Z_3) = \vec{E}_2 - \vec{E}_3 \quad (2)$$

Thế số vào ta giải hệ 2 phương trình (1)(2), tìm được dòng điện vòng:

$$\vec{I}_a = 25/3 \cdot (1 - j) (A)$$

$$\vec{I}_b = 25/3 \cdot (j - 1) (A)$$

Dòng điện trên các nhánh

$$\text{Nhánh 1: } \vec{I}_1 = \vec{I}_a = 25/3 \cdot (1 - j) (A)$$

$$\text{Nhánh 2: } \vec{I}_2 = \vec{I}_b - \vec{I}_a = 50/3 \cdot (j - 1) (A)$$

$$\text{Nhánh 3: } \vec{I}_3 = -\vec{I}_b = 25/3 \cdot (1 - j) (A)$$

#### c. Kết luận

Phương pháp dòng điện vòng có ưu điểm là giải hệ ít phương trình, ít ẩn số hơn phương pháp dòng điện nhánh, thường được sử dụng để giải bài toán mạch điện phức tạp

### 3.6. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN ÁP HAI NÚT

#### a. Thuật toán

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh và điện áp hai nút
- Tìm điện áp hai nút theo công thức tổng quát:

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{E}_k \cdot Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

trong đó có quy ước các sức điện động  $E_k$  có chiều ngược chiều với điện áp  $U_{AB}$  thì lấy dấu dương và cùng chiều lấy dấu âm.

- Tìm dòng điện nhánh bằng cách áp dụng định luật Ôm cho các nhánh.

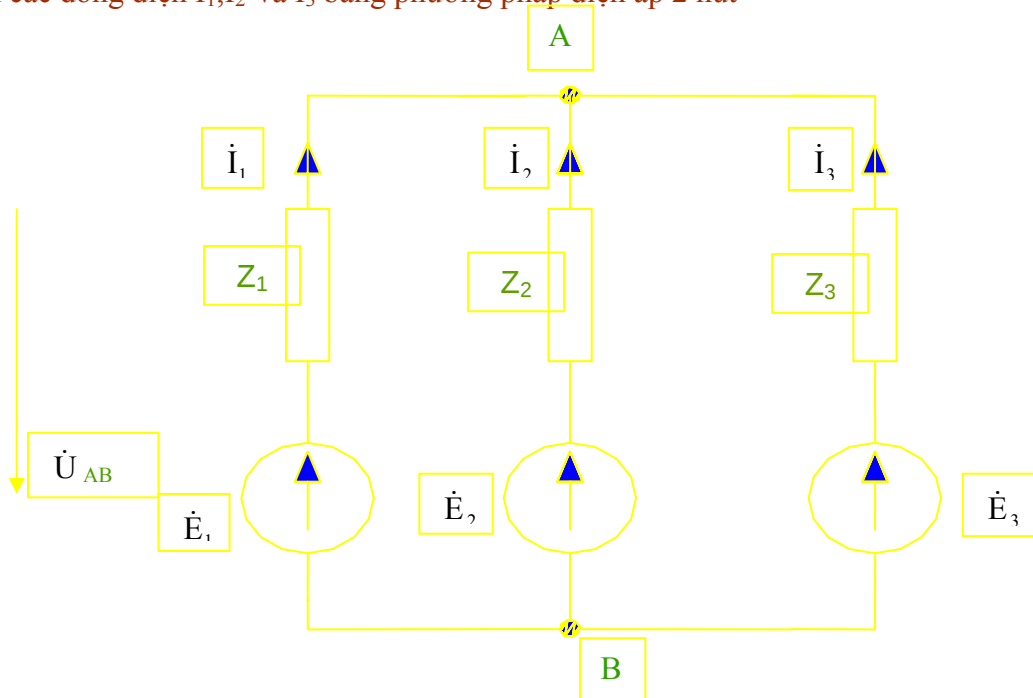
b. Bài tập

Cho mạch điện như hình 3.6

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 100e^{j0} \text{ (V)}; \dot{E}_2 = 50e^{j0} \text{ (V)}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1 + j \text{ (}\Omega\text{)}$$

Tìm các dòng điện  $I_1, I_2$  và  $I_3$  bằng phương pháp điện áp 2 nút



Hình 3.6

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{E}_k \cdot Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

Chứng minh công thức tổng quát :  
Áp dụng định luật Ôm cho các nhánh

Nhánh 1:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{Z_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) Y_1$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB}}{Z_2} = (\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB})Y_2$$

Nhánh 2:

$$\text{Nhánh 3: } \dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}}{Z_3} = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB})Y_3$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút A:  $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$

Từ các phương trình trên ta có:

$$\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3 = \dot{U}_{AB} (Y_1 + Y_2 + Y_3)$$

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3}{(Y_1 + Y_2 + Y_3)}$$

Suy ra:

$$\text{Công thức tổng quát nếu mạch có } n \text{ nhánh và chỉ có hai nút A,B : } \dot{U}_{AB} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{E}_k Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

trong đó có quy ước các sức điện động  $E_k$  có chiều ngược chiều với điện áp  $U_{AB}$  thì lấy dấu dương và cùng chiều lấy dấu âm.

Giải bài toán trên bằng phương pháp điện áp hai nút:

$$\text{Điện áp } U_{AB}: \dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3}{(Y_1 + Y_2 + Y_3)}$$

Thay số vào ta có:  $\dot{U}_{AB} = 250/3 \text{ (V)}$

Áp dụng định luật Ôm cho các nhánh của mạch điện :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{Z_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB})Y_1 = 25/3 \text{ (1-j) (A)}$$

Nhánh 1 :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB}}{Z_2} = (\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB})Y_2 = 50/3 \text{ (j-1) (A)}$$

Nhánh 2:

Nhánh 3:

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}}{Z_3} = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB})Y_3 = 25/3 \text{ (1-j) (A)}$$

Kết luận:

Phương pháp điện áp hai nút thích hợp giải cho mạch điện có nhiều nhánh nhưng chỉ có hai nút.

### 3.7. PHƯƠNG PHÁP XẾP CHỒNG

Phương pháp này dựa trên nguyên lý xếp chồng sau:

Trong một mạch tuyến tính chứa nhiều nguồn, dòng (hoặc áp) trong một nhánh nào đó là tổng đại số (xếp chồng) của nhiều dòng (hoặc áp) sinh ra do từng nguồn độc lập làm việc một mình, các nguồn còn lại nghỉ.

- a. Thuật toán:
- Chỉ cho nguồn 1 làm việc, các nguồn 2,3,...n nghỉ. Giải mạch thứ nhất này để tìm thành phần  $I_1$  của dòng  $I$  cần tìm
  - Tiếp tục với các nguồn 2,3, ..n., ta tìm được các thành phần  $I_2, I_3, \dots, I_n$  của  $I$ . Khi cả n nguồn cùng làm việc, dòng  $I$  cần tìm là:  $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots + I_n$ .

## CHƯƠNG 4. MẠCH ĐIỆN BA PHA

### 4.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MẠCH ĐIỆN BA PHA

Việc truyền tải điện năng bằng mạch điện ba pha tiết kiệm được dây dẫn hơn việc truyền tải bằng dòng điện một pha đồng thời hệ thống điện ba pha có công suất lớn hơn. Động cơ điện ba pha có cấu tạo đơn giản và đặc tính tốt hơn động cơ một pha.

Để tạo ra nguồn điện ba pha ta dùng máy phát điện đồng bộ ba pha.

Ta xét cấu tạo của máy phát điện đồng bộ ba pha đơn giản :

Phần tĩnh gồm 6 rãnh, trong các rãnh đặt ba dây quấn AX, BY, CZ có cùng số vòng dây và lệch nhau một góc  $2\pi/3$  trong không gian.

Dây quấn AX gọi là pha A, dây quấn BY gọi là pha B, dây quấn CZ là pha C.

Phần quay là nam châm vĩnh cửu có 2 cực N – S

Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ ba pha:

Khi quay rôto quay ngược chiều kim đồng hồ, từ trường lần lượt quét các dây quấn stato và cảm ứng vào trong dây quấn stato các sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số và lệch pha nhau một góc  $2\pi/3$ .

Sức điện động pha A:  $e_A = E_{\max} \sin \omega t$

Sức điện động pha B:  $e_B = E_{\max} \sin(\omega t - 2\pi/3)$

Sức điện động pha C:  $e_C = E_{\max} \sin(\omega t - 4\pi/3) = E_{\max} \sin(\omega t + 2\pi/3)$

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

Đối với nguồn đối xứng ta có:  $e_A + e_B + e_C = 0$  hoặc  $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$

Nếu tổng trở phức của các pha tải bằng nhau  $Z_A = Z_B = Z_C$  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 một trong các điều kiện đã nêu gọi là mạch ba pha không đối xứng.

### 4.2. MẠCH ĐIỆN BA PHA PHỤ TẢI NỐI SAO

#### 4.2.1. Cách nối

Muốn nối hình sao ta nối ba điểm cuối pha với nhau tạo thành điểm trung tính

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

a. Quan hệ giữa dòng điện dây và pha

$$I_d = I_p$$

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

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{U}_{AO} = U_\phi e^{j0} \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{BO} = U_\phi e^{-j120} \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{CO} = U_\phi e^{j120}\end{aligned}$$

Ta có:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AO} + \dot{U}_{OB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = U_p e^{j0} - U_p e^{j120} = U_p \sqrt{3} \frac{(\sqrt{3} + j)}{2} = U_p \sqrt{3} e^{j30}$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BO} + \dot{U}_{OC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = U_p e^{j120} - U_p e^{j240} = U_p \sqrt{3} e^{-j90}$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CO} + \dot{U}_{OA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = U_p e^{j240} - U_p e^{j0} = U_p \sqrt{3} e^{-j210}$$

Về độ lớn:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_d = \sqrt{3} U_p$$

Về pha, điện áp dây  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  lệch pha nhau một góc  $120^\circ$  và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc  $30^\circ$ .

### 4.3. MẠCH ĐIỆN BA PHA PHỤ TẢI NỐI HÌNH TAM GIÁC

#### 4.3.1. Cách nối

Muốn nối hình tam giác ta lấy đầu pha này nối với cuối pha kia.

A nối với Z, B nối với X, C nối với Y

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

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

$$U_d = U_p$$

b. Quan hệ giữa dòng điện dây và pha

Áp dụng định luật Kiếchốp 1 tại các nút

$$\text{Nút A': } \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

$$\text{Nút B': } \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$$

$$\text{Nút C': } \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Từ đồ thị hình 4.3.b ta có:

$$I_A = I_B = I_C = I_d$$

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_p$$

$$\text{Về trị số dòng điện dây ta có: } I_d = \sqrt{3} I_p$$

Về pha, dòng điện dây  $I_A, I_B, I_C$  lệch pha nhau một góc  $120^\circ$  và chậm pha so với dòng điện pha tương ứng một góc  $30^\circ$

### 4.4. CÔNG SUẤT MẠCH ĐIỆN BA PHA

#### 4.4.1. Công suất tác dụng

$$P_{3p} = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos\varphi_A + U_B I_B \cos\varphi_B + U_C I_C \cos\varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng:  $U_A = U_B = U_C = U_p$ ;  $I_A = I_B = I_C = I_p$

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

Ta có:  $P_{3p} = 3 U_p I_p \cos\varphi = 3 R_p I_p^2$ ; trong đó  $R_p$  là điện trở pha.

Đối với nối sao đối xứng:  $I_p = I_d$ ;  $U_p = U_d / \sqrt{3}$

Đối với nối tam giác đối xứng:  $I_p = I_d / \sqrt{3}$ ;  $U_p = U_d$

Công suất tác dụng ba pha viết theo đại lượng dây, áp dụng cho cả trường hợp nối sao và nối tam giác đối xứng:  $P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$

#### 4.4.2. Công suất phản kháng

$$Q_{3p} = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng:  $Q_{3p} = 3 U_p I_p \sin \varphi = 3 X_p I_p^2$ ; trong đó  $X_p$  là điện kháng pha

Hoặc viết theo đại lượng dây:  $Q_{3p} = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi$

#### 4.4.3. Công suất biểu kiến

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

$$S_{3p} = \sqrt{P_{3p}^2 + Q_{3p}^2} = 3 U_p I_p = \sqrt{3} U_d I_d$$

### 4.5. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với mạch ba pha đối xứng bao gồm nguồn đối xứng, tải và các dây pha đối xứng. Khi giải mạch ba pha đối xứng ta chỉ cần tính toán trên một pha rồi suy ra các pha kia

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

a. Khi không xét tổng trở đường dây pha

Điện áp trên mỗi pha tải:  $U_p = U_d / \sqrt{3}$

Tổng trở pha tải:

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

trong đó  $R_p$ ,  $X_p$  là điện trở và điện kháng mỗi pha tải.  $U_d$  là điện áp dây

Dòng điện pha của tải:

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

Tải nối hình sao:  $I_d = I_p$

b. Khi có xét tổng trở của đường dây pha

Cách tính toán cũng tương tự:

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

trong đó  $R_d$ ,  $X_d$  là điện trở và điện kháng đường dây.

#### 4.5.2. Giải mạch điện ba pha tải nổi tam giác đối xứng

a. Khi không xét tổng trở đường dây

Ta có:  $U_d = U_p$

Dòng điện pha tải  $I_p$

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

$$\text{Dòng điện dây: } I_d = \sqrt{3} I_p = \sqrt{3} \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

b. Khi có xét tổng trở đường dây

Tổng trở mỗi pha lúc nối tam giác:  $Z_\Delta = R_p + jX_p$

Tổng trở biến đổi sang hình sao

$$Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{R_p + jX_p}{3}$$

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

Dòng điện pha của tải :

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

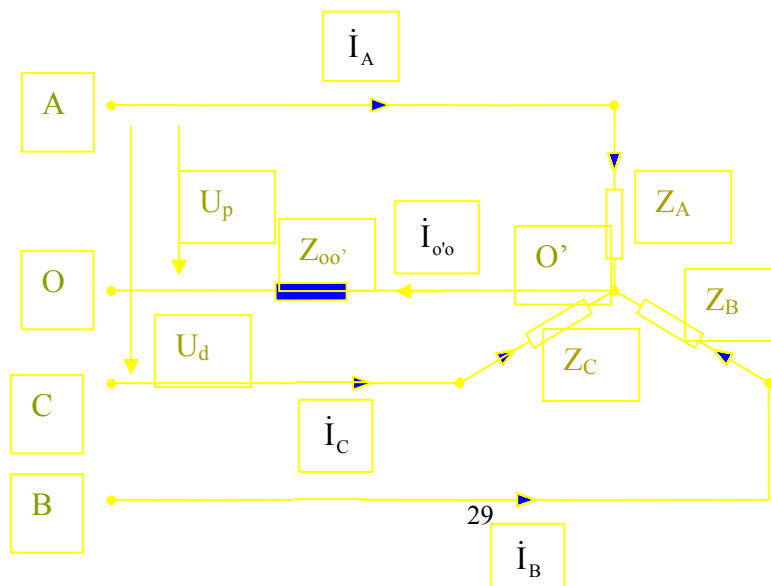
#### 4.6. CÁCH GIẢI MẠCH BA PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG

Khi tải ba pha không đối xứng ( $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$ ) thì dòng điện và điện áp trên các pha tải sẽ không đối xứng. Trong phần này ta vẫn xem nguồn của mạch ba pha là đối xứng.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$

##### 4.6.1. Giải mạch điện ba pha tải nối hình sao không đối xứng

a. Tải nối hình sao với dây trung tính có tổng trở  $Z_o$  (hình 4.6.1.a)



Hình 4.6.1.a

Dùng phương pháp điện áp hai nút, điện áp giữa hai điểm trung tính O' và O:

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0}$$

trong đó  $Y_A = 1/Z_A$ ;  $Y_B = 1/Z_B$ ;  $Y_C = 1/Z_C$ ;  $Y_0 = 1/Z_0$  là tổng dẫn phức các pha tải và dây trung tính.

Vì nguồn đối xứng:

$$\dot{U}_A = E_p e^{j0}, \dot{U}_B = E_p e^{-j120}, \dot{U}_C = E_p e^{j120}$$

Thay vào công thức trên ta có:  $\dot{U}_{O'O} = E_p \frac{Y_A + Y_B e^{-j120} + Y_C e^{j120}}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0}$

Điện áp trên các pha tải:

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

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

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

Dòng điện các pha tải:  $\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A'}{Z_A}, \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B'}{Z_B}, \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C'}{Z_C}$

Dòng điện trên dây trung tính  $I_0$ :  $\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_{O'O}}{Z_0}; \dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

b. Nếu xét đến tổng trở  $Z_d$  của các dây dẫn pha

Phương pháp tính toán vẫn như trên nhưng với:

$$Y_A = \frac{1}{Z_A + Z_d}; Y_B = \frac{1}{Z_B + Z_d}; Y_C = \frac{1}{Z_C + Z_d};$$

c. Khi tổng trở dây trung tính  $Z_0 = 0$

Nhờ có dây trung tính điện áp pha trên các tải đối xứng.

Dòng điện trên các pha tải

Pha A:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}$$

Pha B:

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B}$$

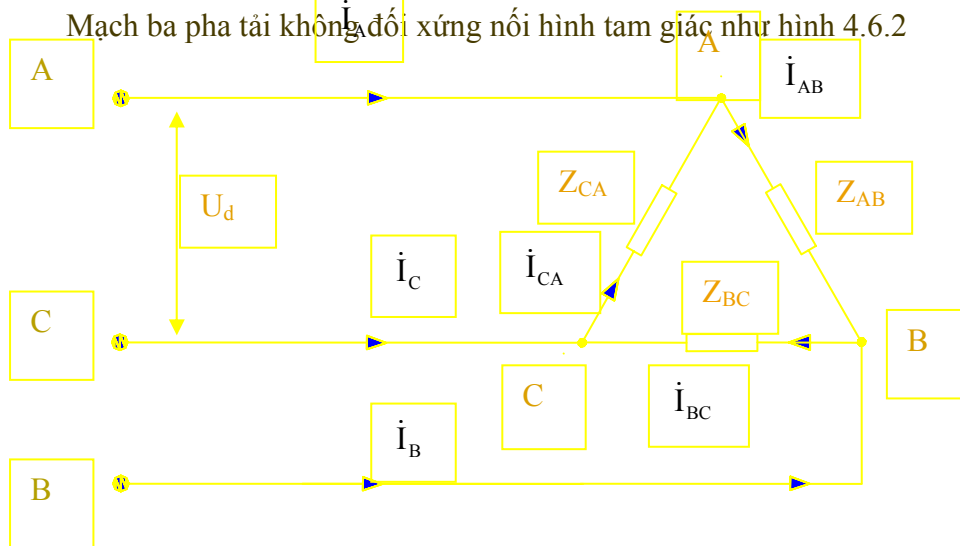
Pha C:

$$I_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C}$$

Dòng điện trên dây trung tính  $I_0$ :  $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

#### 4.6.2. Giải mạch điện ba pha tải nổi tam giác không đối xứng

Mạch ba pha tải không đối xứng nối hình tam giác như hình 4.6.2



Hình 4.6.2

Nguồn điện có điện áp dây là  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$

Nếu không xét tổng trở các dây dẫn pha ( $Z_d = 0$ ) điện áp đặt lên các pha tải là điện áp dây nguồn. Dòng điện trên các pha tải:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}; \dot{I}_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}}; \dot{I}_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}}; \dot{I}_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$

Áp dụng định luật Kiechốp 1 tại các nút

Tại nút A:

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

Tại nút B:

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

Tại nút C:

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

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

## 4.7. CÁCH NỐI NGUỒN VÀ TẢI TRONG MẠCH ĐIỆN 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.

### 4.7.1. Cách nối nguồn điện

Các nguồn điện dùng trong sinh hoạt thường nối thành hình sao có dây trung tính. Cách nối này có ưu điểm là cung cấp hai điện áp khác nhau : Điện áp pha và điện áp dây

### 4.7.2. Cách nối động cơ điện ba pha

Khi thiết kế người ta đã quy định điện áp cho mỗi dây quấn. Ví dụ động cơ ba pha có điện áp định mức cho mỗi dây quấn pha là 220V ( $U_p = 220$ ), do đó trên nhãn hiệu của động cơ ghi là  $\Delta/Y \sim 220/380\text{ V}$ . Nếu ta nối động cơ vào làm việc ở mạng điện có điện áp dây là 380 V thì động cơ phải nối hình sao

$$U_p = 380 / \sqrt{3} = 220\text{ v}$$

Nếu động cơ ấy làm việc ở mạng điện 220/127V có điện áp dây là 220 V thì động cơ phải được nối hình tam giác

### 4.7.3. Cách nối các tải của một pha

Điện áp làm việc của tải phải bằng đúng điện áp định mức đã ghi trên nhãn  
Ví dụ bóng đèn 220V lúc làm việc ở mạng điện 380/220V thì phải nối giữa dây pha và dây trung tính. Cũng bóng đèn ấy nếu làm việc ở mạng 220/127V thì phải nối hai dây pha để mạng điện áp đặt vào thiết bị đúng bằng định mức

Tuy nhiên lúc chọn thiết bị trong sinh hoạt, ta cần chọn điện áp thiết bị bằng điện áp pha.

# CHƯƠNG 5. ĐO LƯỜNG ĐIỆN

## 5.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN

### 5.1.1. Định nghĩa

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo với đơn vị của đại lượng đo

### 5.1.2. Phân loại cách thực hiện phép đo

- a. Đo trực tiếp  
Cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất
- b. Đo gián tiếp  
Cách đo mà kết quả được suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng nhiều cách đo trực tiếp

### 5.1.3. Các loại sai số của phép đo và cấp chính xác

#### a. Sai số tuyệt đối

Hiệu số giữa giá trị đo  $X$  và giá trị thực  $X_{th}$  :

$$\Delta X = |X_{đo} - X_{th}|$$

#### b. Sai số tương đối

Tỉ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị đo được tính bằng phần trăm:

$$\delta \% = \Delta X / X_{đo} . 100$$

#### c. Sai số của dụng cụ đo được đặc trưng bằng sai số tương đối quy đổi

$$\gamma \% = \Delta X / X_{đm} . 100$$

$X_{đm}$  là trị số định mức của thang đo tương ứng

#### d. Sai số phương pháp

Sai số sinh ra do sự không hoàn thiện của phương pháp đo và sự không chính xác biểu thức lí thuyết cho ta kết quả của đại lượng đo

#### e. Sai số thiết bị

Sai số của thiết bị đo sử dụng trong phép đo, liên quan đến cấu trúc, tình trạng của dụng cụ đo

#### f. Sai số chủ quan

Sai số gây ra do người sử dụng. Ví dụ như mắt kém, do cầu thả, do đọc lệch

#### g. Sai số hệ thống

Thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hay là thay đổi có quy luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo

#### h. Cấp chính xác của dụng cụ đo

$$K = \Delta X_{\max} / A . 100$$

$\Delta X_{\max}$ : sai số tuyệt đối lớn nhất;  $A$  khoảng thang đo trên dụng cụ đo

$K < 0.5$  là loại dụng cụ đo có cấp chính xác cao, thường làm dụng cụ mẫu . Các dụng cụ đo trong công nghiệp thường có cấp chính xác  $1 \div 2.5$

#### i. Độ nhạy của dụng cụ đo

$$S = \Delta \alpha / \Delta X$$

$\Delta \alpha$  : độ biến thiên của chỉ thị đo

$\Delta X$ : độ biến thiên của đại lượng cần đo

## 5.2. CƠ CẤU BIẾN ĐỔI ĐIỆN CƠ

### a. Định nghĩa

Dụng cụ đo tương tự ( analog) là loại dụng cụ đo mà chỉ số của nó là đại lượng liên tục tỉ lệ với đại lượng đo liên tục.

Trong dụng cụ đo tương tự người ta thường dùng các chỉ thị điện cơ, trong đó tín hiệu vào là dòng điện còn tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ thị.

Cơ cấu này thực hiện việc biến năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học làm quay phần động một góc lệch  $\alpha$  so với phần tĩnh.

$$\alpha = f(X), X : \text{Đại lượng điện}$$

### b. Nguyên lý làm việc của cơ cấu biến đổi điện cơ

Khi cho dòng điện vào một cơ cấu biến đổi cơ điện do tác dụng của từ trường quay lên phần động của cơ cấu mà sinh ra một mô men quay  $M_q$ .

$$M_q = dW_{dt}/d\alpha \quad (W_{dt} \text{ là năng lượng điện từ trường})$$

Nếu ta đặt vào trục của phần động một lò xo cân thì khi phần động quay lò xo bị xoắn lại và sinh ra một mômen cản  $M_c$ :

$$M_c = K.\alpha \quad (\text{hệ số } K \text{ phụ thuộc vào kích thước và vật liệu chế tạo lò xo})$$

Khi phần động của cơ cấu nằm ở vị trí cân bằng:

$$M_q = M_c \Rightarrow \alpha = 1/K. dW_{dt}/d\alpha$$

Đây là phương trình đặc tính thang đo

Cơ cấu biến đổi kiểu điện cơ có 4 loại:

1. Cơ cấu kiểu từ điện
2. Cơ cấu kiểu điện từ
3. Cơ cấu kiểu điện động
4. Cơ cấu kiểu cảm ứng
5. Cơ cấu kiểu tĩnh điện

### 5.2.1. Cơ cấu đo kiểu từ điện

#### a. Cấu tạo

Nam châm vĩnh cửu (1) có độ từ cảm cao có hai má cực từ.

- Lõi thép hình trụ (2) nhằm giảm khe hở không khí giữa hai cực nam châm làm cho từ trường mạnh và phân bố đều.
- Cuộn dây động (3) bằng dây đồng tiết diện nhỏ trên khung nhôm – khung nhôm để quấn dây.
- Lò xo (4) dùng để tạo mômen phản kháng.
- Trục (5)
- Kim chỉ thị (6)

#### b. Nguyên lý làm việc

Khi có dòng điện một chiều cần đo chạy vào cuộn dây động, từ trường của nó sẽ tác dụng với từ trường của nam châm vĩnh cửu, tạo nên lực  $F$  tác dụng lên hai cạnh cuộn dây động và gây ra mômen quay  $M_q$ :

$$M_q = F \cdot D = BLWI \cdot D = K_q \cdot I$$

Mối quan hệ giữa góc lệch  $\alpha$  kim chỉ thị và dòng điện cần đo:

$$\alpha = S.I$$

trong đó S là độ nhạy của cơ cấu đo  
c. Đặc điểm và ứng dụng

*Ưu điểm:*

- Có độ chính xác cao vì các phần tử cơ cấu có độ ổn định cao, từ trường cực từ mạnh nên ít bị ảnh hưởng của từ trường ngoài và công suất tiêu thụ nhỏ
- Thang đo chia độ đều
- Độ nhạy lớn nên đo được các dòng một chiều rất nhỏ.

*Nhược điểm:*

- Chỉ đo được dòng một chiều vì góc lệch  $\alpha$  tỉ lệ bậc nhất với dòng điện
- Tiết diện cuộn dây động nhỏ, nên khả năng quá tải kém
- Cấu tạo phức tạp, hư hỏng khó sửa chữa.

*Ứng dụng:*

Chế tạo để đo dòng điện và điện áp một chiều: vôn kế, ampe kế.

Đo các dòng, áp trị số nhỏ như: điện kế, miliampe kế, milivol kế.

Đo điện trở : Ôm mét, megômét

Chế tạo đồng hồ vạn năng.

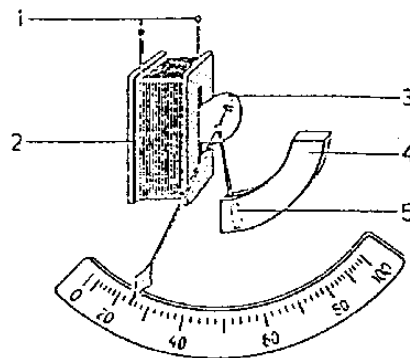
### 5.2.2. Cơ cấu đo kiểu điện từ

a. Cấu tạo

Cơ cấu gồm 2 loại chính: kiểu cuộn dây phẳng và kiểu cuộn dây tròn

Ta xét cơ cấu kiểu cuộn dây phẳng như hình 5.2.2

- Cuộn dây phẳng ở phần tĩnh (1)
- Lõi thép (2)
- Lá sắt từ mềm (3) là phần động, nằm trong lòng cuộn dây phần tĩnh
- Bộ phận cản dũa (4)



Hình 5.2.2

b. Nguyên lý làm việc

Khi cho dòng điện cần đo I vào cuộn dây 1, lá sắt từ 3 sẽ bị đẩy làm kim quay đi một góc  $\alpha$ . Trong cuộn dây được tích lũy năng lượng từ trường:

$$W_M = LI^2 / 2$$

L: Điện cảm của cuộn dây

Mối quan hệ giữa góc lệch của kim chỉ thị  $\alpha$  với dòng điện cần đo I:

$$\alpha = SI^2$$

S: độ nhạy của cơ cấu đo

### c. Đặc điểm và ứng dụng

#### Ưu điểm:

- Đo được dòng xoay chiều và một chiều
- Khả năng quá tải lớn do tiết diện dây quấn lớn, đo được dòng và áp lớn
- Cấu tạo đơn giản

#### Nhược điểm:

- Từ trường bản thân yếu, bị ảnh hưởng của từ trường ngoài. Do tổn hao phụ cô và từ trễ, nên độ chính xác không cao, độ nhạy thấp.
- Thang đo chia độ không đều.

Ứng dụng: Chế tạo các ampe kế và vôn kế một chiều và xoay chiều

### 5.2.3. Cơ cấu đo kiểu điện động

#### a. Cấu tạo

- Phần tĩnh là cuộn dây (1) gồm hai nửa cuộn dây đặt cạnh nhau để tạo ra khoảng không gian có từ trường tương đối đều, quấn dây tiết diện lớn.
- Phần động là cuộn dây (2) có tiết diện nhỏ đặt trong lòng cuộn dây tĩnh.

Ngoài ra còn có lò xo và bộ phận cản dịu

#### b. Nguyên lý làm việc

Dòng điện cần đo được đưa vào cuộn dây 1 ( $I_1$ ) và 2 ( $I_2$ ) tạo nên 2 từ trường đẩy nhau, gây nên mômen quay. Năng lượng từ trường tích lũy trong 2 cuộn dây:

$$W_M = L_1 I_1^2 / 2 + L_2 I_2^2 / 2 + M I_1 I_2$$

$L_1, L_2$  : điện cảm của hai cuộn dây;  $M$ : hồ cảm giữa hai cuộn dây

Mối quan hệ giữa góc lệch kim chỉ thị  $\alpha$  với 2 dòng điện cần đo:

$$\alpha = S \cdot I_1 I_2$$

trong đó  $S$  là độ nhạy của cơ cấu đo

$$\text{Nếu } I_1 = I_2 = I \Rightarrow \alpha = S I^2$$

### c. Đặc điểm và ứng dụng

#### Ưu điểm:

- Không có lõi thép nên không có tổn hao sắt từ, nên độ chính xác cao, chế tạo dụng cụ đo với cấp chính xác đến 0.05.
- Đo được dòng một chiều và xoay chiều.

#### Nhược điểm:

- Cuộn dây (2) có tiết diện nhỏ, nên khả năng quá tải kém.
- Cấu tạo phức tạp
- Từ trường của cơ cấu đo bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.

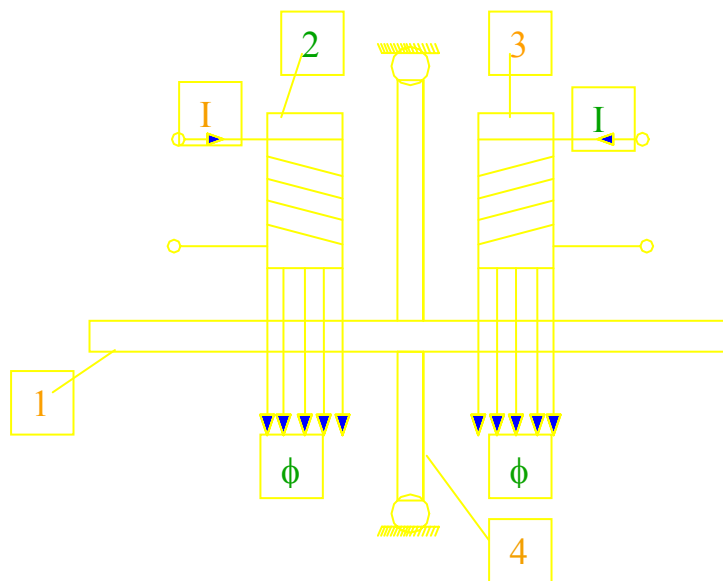
#### Ứng dụng:

Chế tạo vôn kế, ampe kế một chiều và xoay chiều và chế tạo dụng cụ đo công suất (oát kế) là chủ yếu.

### 5.2.4. Cơ cấu đo kiểu cảm ứng

#### a. Cấu tạo ( hình vẽ 5.2.4)

- Phần tĩnh gồm cuộn dây (2) và cuộn dây (3)  
Cuộn điện áp (2) có số vòng nhiều, tiết diện nhỏ.  
Cuộn dòng điện (3) có tiết diện lớn, quấn ít vòng
- Phần động gồm đĩa nhôm (1) gắn với trục (4)



Hình 5.2.4

b. Nguyên lý làm việc

Cho dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  vào hai cuộn dây (2) và (3) sinh ra từ thông  $\phi_1$  và  $\phi_2$  lệch nhau góc  $\psi$ . Mômen làm cho đĩa nhôm quay:  $M_q = C_f \cdot \phi_1 \cdot \phi_2 \sin \psi$

Hai cuộn dây phân tính lần lượt đo dòng  $I$  và điện áp  $U$  cho nên:

$\phi_1 \sim U$  ;  $\phi_2 \sim I$  ; góc lệch pha  $\varphi$  giữa  $U$  và  $I$  ( vì  $U$  nhanh pha so với  $\phi_1$  góc  $90^\circ$ ,  $I$  cùng pha với  $\phi_2$  ) cho nên  $\varphi = \psi + 90^\circ$

$$M_q = C_f \cdot \phi_1 \cdot \phi_2 \sin \approx \psi \cdot KU \cdot I \cdot \cos \varphi = KP$$

Như vậy mômen quay tỉ lệ với công suất  $P$  mà tải tiêu thụ .

Để thể hiện số vòng quay của đĩa nhôm, người ta gắn vào trục cơ cấu chỉ thị đếm cơ khí.

Lượng điện năng tiêu thụ  $A$  trong khoảng thời gian  $\Delta t$ :

$$A = P \cdot \Delta t = C \cdot N \quad (N : \text{số vòng quay của đĩa nhôm})$$

c. Đặc điểm và ứng dụng

- Điều kiện để mômen quay là phải có hai từ trường
- Mômen quay phụ thuộc tần số dòng điện
- Chỉ làm việc trong mạch điện xoay chiều

Ứng dụng: Chế tạo công tơ đo điện năng

## 5.3. ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐO ĐIỆN ÁP

### 5.3.1. Đo dòng điện

Đo dòng điện bằng cách mắc ampe kế nối tiếp với phụ tải có dòng điện cần đo chạy qua. Điện trở trong của ampe kế càng nhỏ càng tốt

Để mở rộng thang đo một chiều, người ta dùng điện trở song (shunt)  $R_s$  nối song song với cơ cấu đo

$$\text{Ta có } I = I_s + I_A$$

$$K = I/I_A = R_A / R_s + 1$$

$K$ : hệ số mở rộng thang đo.

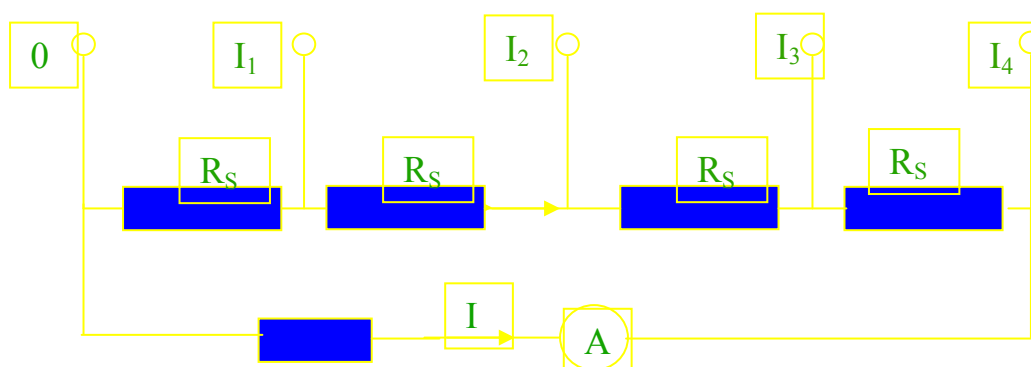
Thay đổi  $R_s$  ta được các hệ số mở rộng thang đo khác nhau

$$R_A / R_s = 9; 99; 999 \Rightarrow K = 10; 100; 1000; \dots$$

Dòng đi qua cơ cấu đo chỉ bằng  $1/10$ ;  $1/100$ ;  $1/1000$ ; .. với dòng cần đo.

Đo dòng xoay chiều dùng các ampemét điện từ hay điện động.

Với dòng xoay chiều ta dùng máy biến dòng để mở rộng thang đo. Ampemét điện từ mở rộng thang đo bằng cách chia cuộn dây tính ra nhiều đoạn bằng nhau và tùy thuộc việc mắc nối tiếp hay song song ( hình 5.3.1.b )  
 Khi cần đo dòng xoay chiều bằng dụng cụ đo từ điện người ta phải chỉnh lưu dòng xoay chiều thành một chiều



Hình 5.3.1.b

### 5.3.2. Đo điện áp

Đo điện áp người ta dùng vôn kế mắc song song với mạch điện có điện áp cần đo. Để kết quả đo chính xác thì điện trở vôn kế càng lớn càng tốt.  
 Để mở rộng thang đo bằng cách mắc thêm điện trở phụ nối tiếp với vôn kế  
 Gọi  $k = U/U_V$  : hệ số mở rộng thang đo.  
 $k = U/U_V = 1 + R_p/R_v$   
 Thay đổi  $R_p$  có thể đạt được các giá trị  $k$  khác nhau

Khi đo điện áp  $U$  lớn để mở rộng thang đo người ta dùng máy biến điện áp.

## 5.4. ĐO CÔNG SUẤT

Dụng cụ đo công suất là Oát kế (oát mét), đơn vị của công suất là Oát (W).

### 5.4.1. Đo công suất trong mạch điện sin một pha

Oát mét hay dụng cụ đo công suất thường chế tạo theo cơ cấu kiểu điện động  
 Nguyên lý hoạt động:

- Cuộn tĩnh 1 mắc nối tiếp với phụ tải và gọi là cuộn dòng, có điện trở rất nhỏ nên thường quấn ít vòng bằng dây cỡ lớn.
- Cuộn 2 ở phần động dùng làm cuộn áp, nối song song với phụ tải cần đo .  
 Cuộn dây 2 điện trở rất lớn nên người ta nối thêm một điện trở phụ  $R_p$ .

Mômen quay tức thời của cuộn dây 2 phần động:  $m_q = k_g I_I I_U$

Dòng điện qua cuộn dây tĩnh 1 là dòng điện phụ tải  $I_{pt} = I_I$ , còn dòng qua cuộn dây động 2:

$$I_I = I_{pt}; I_U = U/(R_2 + R_p) \Rightarrow I_U \sim U \Rightarrow M_q \sim P_{pt} = UI \cos \varphi$$

Như vậy  $M_q$  của oát mét tỉ lệ với công suất tác dụng của phụ tải nên được dùng để đo công suất mạch xoay chiều và cả một chiều.

### 5.4.2. Đo công suất trong mạch điện ba pha

Khi mạch ba pha bốn dây đối xứng, thì chỉ cần dùng một oát kế đo công suất 1 pha rồi nhân 3 :  $P_{3p} = 3.P_{1p}$

Nếu là mạch 3 pha 4 dây không đối xứng thì phải dùng 3 oátmét đo rồi cộng kết quả lại.

$$P_{3p} = P_A + P_B + P_C$$

Khi mạch ba pha không có dây trung tính phụ tải bất kỳ, người ta dùng 2 oát kế để đo công suất:

$$P_{3p} = P_1 + P_2$$

Chứng minh:

$$\text{Công suất tức thời của mạch ba pha: } p_{3p} = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C \quad (1)$$

$$\text{Ta có: } i_A + i_B + i_C = 0 \Rightarrow i_C = - (i_A + i_B) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có:

$$p_{3p} = i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) = i_A u_{AC} + i_B u_{BC} = p_1 + p_2$$

Người ta đã chế tạo loại oát kế 3 pha hai phần tử, cách mắc sơ đồ đo tương tự như cách dùng 2 oát kế một pha

### 5.5. ĐO ĐIỆN TRỞ

a. Đo gián tiếp

Để đo điện trở ta dùng Ampe kế đo dòng điện I và vôn kế đo điện áp U.

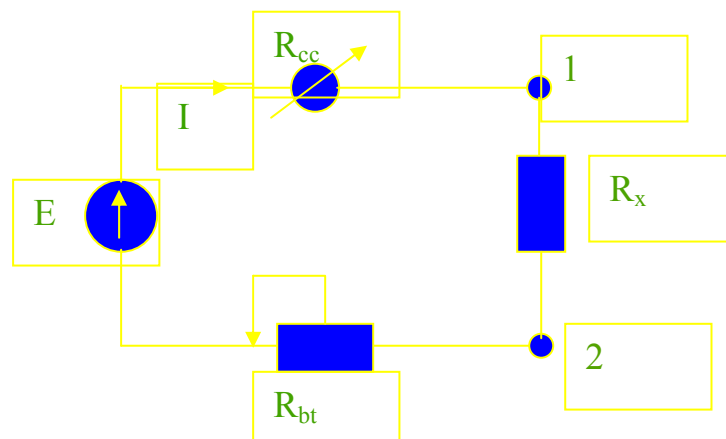
$$\text{Điện trở cần đo: } R_x = U/I$$

Ta có  $R_x + R_A = U/I$ , điện trở ampe kế gây sai số phép đo.

$$\text{Ta có: } I = U/R_x + U/R_v \Rightarrow R_x = 1/(I/U - 1/R_v)$$

Điện trở vôn kế gây nên sai số phép đo, dùng để đo điện trở có giá trị nhỏ

b. Đo bằng Ôm kế (hình 5.5.2)



Hình 5.5.2

Ôm kế dùng để đo các điện trở có giá trị nhỏ

Cấu tạo:

- Nguồn pin E
- Cơ cấu chỉ thị kiểu từ điện  $R_{cc}$
- $R_{bt}$  - điện trở dùng để điều chỉnh vị trí không.
- $R_x$  - điện trở cần đo

Khi nối  $R_x$  cần đo vào mạch, dòng điện đi qua cơ cấu đo  $I$ :

$$I = E / (R_{bt} + R_x)$$

$E$  và  $R_{bt}$  không đổi thì  $I$  phụ thuộc  $R_x$ , đọc được  $I$  ta suy ra điện trở  $R_x$

Trên thang đo khắc độ theo đơn vị điện trở tương ứng với dòng điện  $I$

Sau một thời gian sử dụng  $E$  của pin giảm, nên trước khi đo cần ngắn mạch 1, 2 để chỉnh kim về vị trí 0, sau đó mới bắt đầu đo.

c. Mêgômét ( lôgômét từ điện)

Dùng để đo điện trở lớn như điện trở cách điện

Phần tĩnh là một nam châm vĩnh cửu có lõi thép .

Phần động gồm hai khung dây 1 có điện trở  $R_1$ , khung dây 2 có điện trở  $R_2$

Nguồn cung cấp có điện áp từ 500 – 1000V do máy phát điện 1 chiều quay tay tạo ra

Điện trở phụ dùng để điều chỉnh  $R_{p1}$  mắc nối tiếp với điện trở  $R_1$ ,  $R_{p2}$  mắc nối tiếp với điện trở  $R_2$ , điện trở cần đo  $R_x$  mắc nối tiếp với điện trở  $R_{p1}$

Dòng điện qua 2 khung dây:

$$I_1 = U / (R_1 + R_{p1} + R_x); \quad I_2 = U / (R_2 + R_{p2});$$

Góc quay  $\alpha$  của mêgômét tỷ lệ với tỷ số của hai dòng:

$$\alpha = f(I_1/I_2) = f[(R_2 + R_{p2}) / (R_1 + R_{p1} + R_x)]$$

Do  $R_1$ ,  $R_{p1}$ ,  $R_2$ ,  $R_{p2}$  không thay đổi, nên  $\alpha = f(R_x)$

d. Cầu đo điện trở

Điện trở cần đo là  $R_x$  là một nhánh của cầu, các điện trở  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  có thể điều chỉnh được. Điều chỉnh các điện trở  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  cho điện kế  $G$  chỉ không, cầu đã cân bằng:

$$R_x/R_2 = R_3/R_1 \Rightarrow R_x = R_2 \cdot R_3/R_1$$

## 5.6. KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

### 5.6.1. Những khái niệm chung về sự biến đổi đo lường

a. Khái niệm chung

Các đại lượng không điện như áp suất, nhiệt độ, lưu lượng, mực chất lỏng, vận tốc của vật, tốc độ quay, có thể đo được một cách chính xác bằng phép đo lường điện.

Đồng thời tín hiệu điện được truyền dẫn và điều khiển thuận lợi hơn.

Sơ đồ khối của dụng cụ đo lường các đại lượng không điện bao gồm:

1. Cơ cấu chuyển đổi đo lường

Để biến đổi các đại lượng không điện thành các đại lượng điện như điện áp, dòng điện, điện trở, điện cảm, điện dung .v.v

2. Các khâu trung gian như khuếch đại, bù các đại lượng điện

3. Các cơ cấu đo lường ở đầu ra có thang chia theo các đại lượng không điện

b. Chuyển đổi đo lường

Chức năng biến các đại lượng cần đo khác nhau thành các đại lượng điện

Có nhiều cách chuyển đổi:

1. Chuyển đổi điện trở

2. Chuyển đổi điện từ

3. Chuyển đổi điện dung

4. Chuyển đổi nhiệt điện

Một vài bộ chuyển đổi:

### 1. Chuyển đổi điện trở

- Biến trở

Điện trở của biến trở :  $R_x = R \cdot L/L_x$

$L_x$  là khoảng di chuyển của con chạy .

Biến trở dùng để đo di chuyển thẳng hoặc nếu có loại biến trở xoay

- Chuyển đổi điện trở lực căng

Cấu tạo gồm miếng giấy mỏng làm đế, trên đó dán sợi dây mảnh bằng hợp kim platin.

Sau đó dán lên chi tiết cần đo biến dạng.

Sự biến thiên điện trở chuyển đổi :  $\Delta R/R = K \cdot \delta/E$

$K$  : độ nhạy của chuyển đổi

$\delta$  : Ứng suất tác dụng lên chuyển đổi cần đo

$E$ : môđun đàn hồi

### 2. Chuyển đổi điện từ

Chuyển đổi các di chuyển thẳng hay góc thành thay đổi điện cảm, hồ cảm và xuất hiện sức điện động

### 3. Chuyển đổi điện dung (như hình 5.6.1.c)

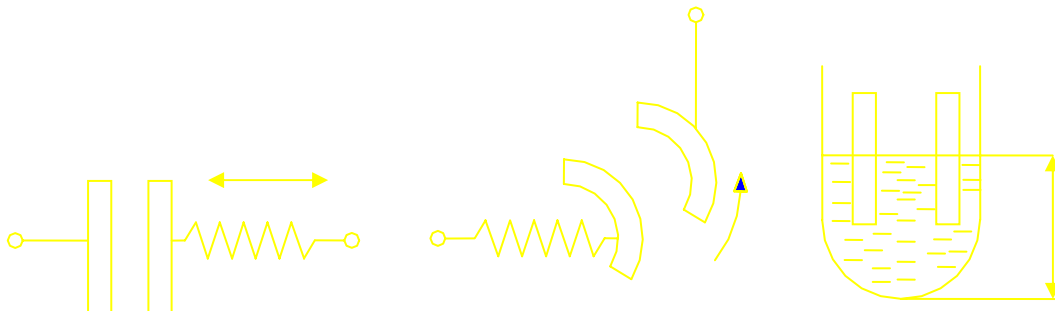
Điện dung của tụ điện  $C$ :  $C = \epsilon \cdot S/d$

$\epsilon$ : hằng số điện môi

$S$ : diện tích bản cực

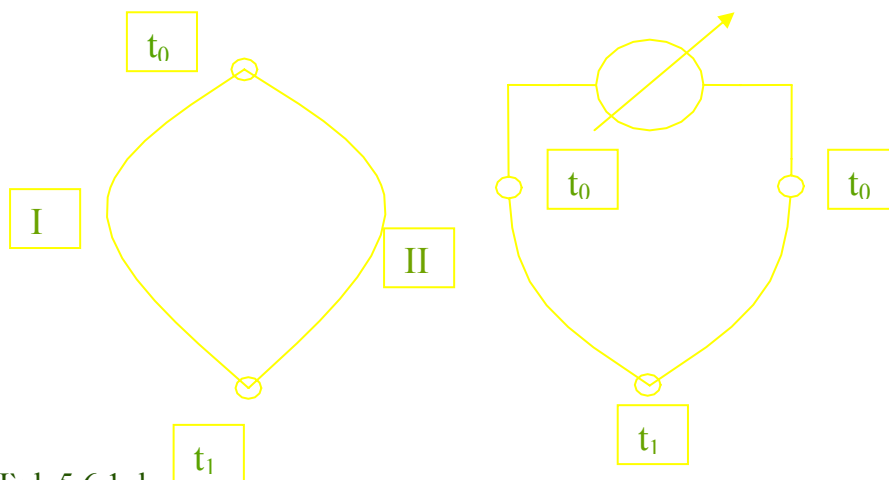
$d$ : khoảng cách giữa hai bản cực

Sự di chuyển của khoảng cách giữa hai điện cực, góc quay hay chiều dày điện môi dẫn đến sự biến thiên của tụ điện



Hình 5.6.1.c

### 4. Chuyển đổi nhiệt điện (như hình 5.6.1.d)



Hình 5.6.1.d

Đem hàn hai thanh kim loại không đồng chất I và II, nhiệt độ  $t_1$  và  $t_0$  khác nhau dẫn đến xuất hiện sức điện động trong mạch gọi là sức nhiệt điện động

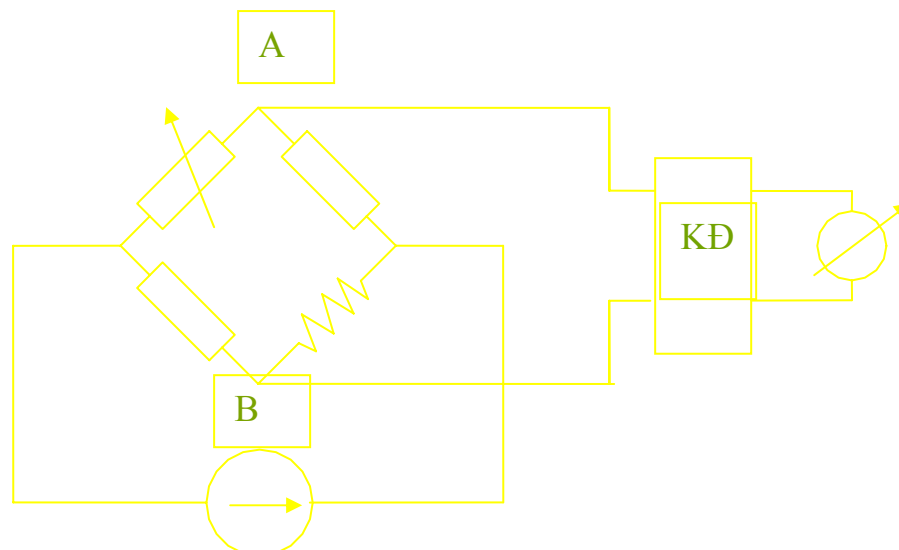
Trị số sức nhiệt điện động phụ thuộc độ chênh lệch nhiệt độ hai đầu  $t_1, t_0$ . Cơ cấu dùng để đo nhiệt độ.

### 5.6.2. Một số mạch đo lường các đại lượng không điện

#### a. Đo ứng suất

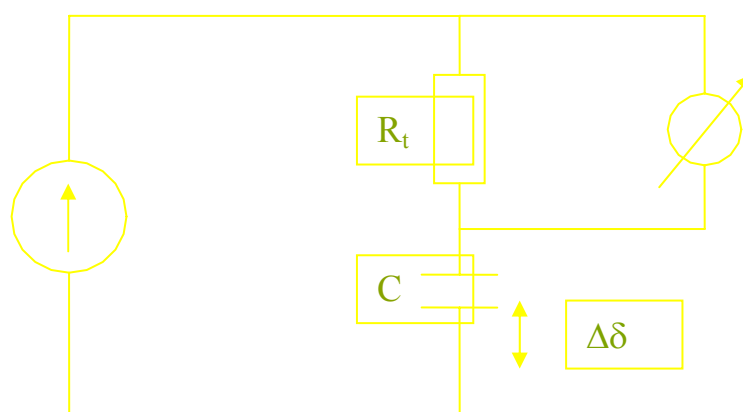
Ta dán chuyển đổi điện trở lực căng lên điểm cần đo và là một nhánh của mạch cầu như hình 5.6.2.a

Sự biến thiên của điện áp ra trên đường chéo được khuếch đại và đưa vào cơ cấu đo



Hình 5.6.2.a

#### b. Đo sự di chuyển ( như hình 5.6.2.b)



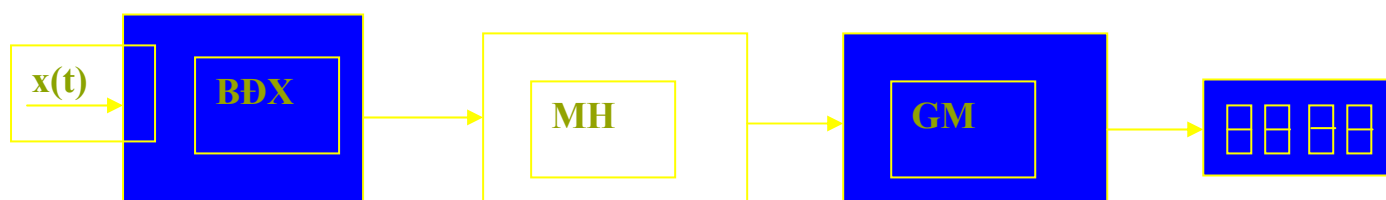
Hình 5.6.2.b

Sự di chuyển của vật thể dẫn đến sự thay đổi khoảng cách 2 bản cực của tụ C, dẫn đến thay đổi điện dung C, biến thiên điện áp và tín hiệu được đưa ra cơ cấu đo. Cơ cấu đo sẽ được khắc vạch khoảng di chuyển tương ứng.

## 5.7. ĐO LƯỜNG SỐ

### a. Nguyên lý của chỉ thị số

Đại lượng đo  $x(t)$  sau khi qua bộ biến đổi thành xung (BDX). Số xung được đưa vào bộ mã hóa (MH) cơ số 2 sau đó đến bộ giải mã (GM) và đưa ra bộ hiện số như hình 5.7.1

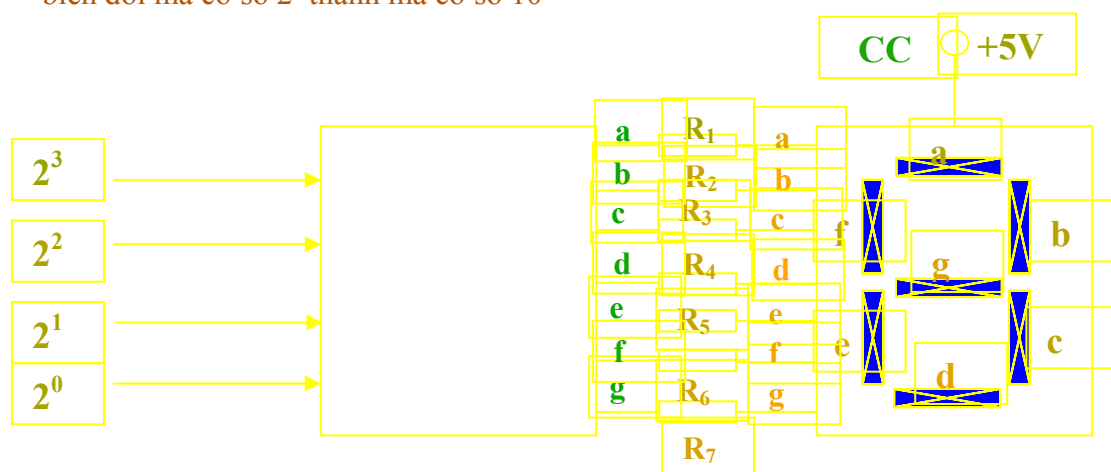


Hình 5.7.1

b. Thiết bị hiện số

Có nhiều loại thiết bị hiện số quang học khác nhau nhưng dùng phổ biến nhất là bộ hiện số bằng LED ghép 7 thanh và loại tinh thể lỏng. Điốt 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 màu sắc ở nền đằng sau.

Tinh thể lỏng tiêu thụ công suất rất nhỏ ( $0,1\mu A$  một thanh) còn điốt phát quang là  $10mA$ . Các thiết bị kỹ thuật sử dụng mã cơ số 2. Để đọc thông tin đo thể hiện ra bên ngoài ta biến đổi mã cơ số 2 thành mã cơ số 10



Hình 5.7.2

Thiết bị làm nhiệm vụ này là bộ giải mã

Người ta sử dụng 7 vạch từ a đến g bố trí như hình 5.7.2. Nếu tất cả các vạch đều sáng ta nhận được số 8.

Bộ giải mã 7 vạch được chế tạo dưới dạng vi mạch kiểu SN 74247 có các đầu ra hở cực góp. Dùng để điều khiển bộ chỉ thị LED có chung anốt +5V. Để đảm bảo dòng anốt mong muốn cần thêm 7 điện trở bên ngoài.

Các bộ giải mã nhị thập phân 7 vạch được chế tạo kết hợp với khối hiển thị dưới dạng vi mạch. Trong vi mạch bố trí các bộ nhớ đệm lưu trữ các biến vào

Bộ chỉ thị số gồm nhiều chữ số. Hoạt động của bộ chỉ thị là nối tiếp chứ không phải song song với việc sử dụng cách nối ma trận và chế độ dồn kênh có thể rút gọn đáng kể số dây nối.

## PHẦN II. MÁY ĐIỆN

### CHƯƠNG 6. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

#### 6.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

##### 6.1.1. Định nghĩa

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Máy điện 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 (máy biến áp, máy biến dòng), tần số (máy biến tần).

##### 6.1.2. 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, theo nguyên lý làm việc v.v Trong chương này phân loại dựa theo nguyên lý biến đổi năng lượng như sau:

###### a. Máy điện tĩnh

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

###### b. Máy điện có phần quay

Nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ, do từ trường và dòng điện của các cuộn dây có chuyển động tương đối với nhau

#### 6.2. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của máy điện thường dựa trên cơ sở hai định luật cảm ứng điện từ và định luật lực điện từ. Khi tính toán mạch từ người ta sử dụng định luật mạch từ.

##### 6.2.1. Định luật cảm ứng điện từ

###### a. Trường hợp từ thông $\Phi$ biến thiên xuyên qua vòng dây

Khi từ thông  $\Phi$  biến thiên xuyên qua vòng dây dẫn, trong vòng dây sẽ xuất hiện sức điện động cảm ứng  $e_{cu}$  tính theo công thức:  $e_{cu} = - d\Phi/dt$

Chiều sức điện động cảm ứng được xác định theo quy tắc vặn nút chai

Cuộn dây có  $W$  vòng, sức điện động cảm ứng của cuộn dây:  $e = - W.d\Phi /dt$

###### b. Trường hợp thanh dẫn chuyển động trong từ trường

I: cường độ dòng điện

L: chiều dài thanh dẫn

F: lực điện từ

Chiều lực điện từ F xác định bằng quy tắc bàn tay trái

### 6.2.3. Định luật mạch từ

Mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông (trong máy điện mạch từ là lõi thép)

Nếu H là cường độ từ trường do một tập hợp dòng điện  $i_1, i_2, \dots, i_n$  tạo ra và nếu C là

đường cong kín trong không gian: 
$$\oint_C H \cdot dl = \sum_{k=1}^n i_k$$

Công thức tổng quát đối với mạch từ có n đoạn và m cuộn dây quấn trên mạch từ:

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{j=1}^m W_j i_j$$

trong đó dòng điện  $i_j$  có chiều phù hợp với chiều  $\phi$  đã chọn theo quy tắc vặn nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm

$H_k$ : cường độ từ trường trong đoạn mạch từ thứ k

$l_k$ : chiều dài trung bình của đoạn mạch từ thứ k

$W_j$ : số vòng dây của cuộn dây thứ j

$W_j i_j$ : được gọi là sức từ động của cuộn dây thứ j

$H_k l_k$ : từ áp rơi của đoạn mạch từ thứ k

Cho đoạn mạch từ (hình 6.2.3):

Áp dụng định luật mạch từ:  $H_1 \cdot L_1 + H_2 \cdot L_2 = W_1 \cdot i_1 - W_2 \cdot i_2$

## 6.3. 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.

### 6.3.1. Vật liệu dẫn điện

Dây quấn máy điện thường bằng đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hoặc chữ nhật.

Khi có yêu cầu đặc biệt, người ta dùng các hợp kim đồng, nhôm hoặc dùng thép

### 6.3.2. 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 kỹ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn.

Ở đoạn mạch từ có từ thông biến đổi với tần số 50hz thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0.35 – 0.5 mm, trong thành phần thép có từ 2 – 5 % Si .

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

### 6.3.3. 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.

Chất cách điện của máy điện gồm 4 nhóm:

1. Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải lụa
2. Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thủy tinh
3. Các chất tổng hợp

#### 4. Các loại men, sơn cách điện

##### 6.3.4. 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.

Các vật liệu kết cấu thường là gang, thép lá, thép rèn, kim loại màu và hợp kim của chúng, các chất dẻo.

## 6.4. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

Các loại tổn hao trong máy điện:

- Tổn hao hao sắt từ trong lõi thép (do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy)
- Tổn hao đồng trong điện trở dây quấn
- Tổn hao do ma sát

Tất cả tổn hao năng lượng đều biến thành nhiệt năng làm nóng máy điện.

Để làm mát, máy điện phải có các biện pháp tản nhiệt ra môi trường xung quanh.

Thông thường vỏ máy điện được chế tạo có các cánh tản nhiệt và có hệ thống quạt gió để mát máy hoặc hệ thống lưu chất làm mát máy điện như dầu trong máy biến áp .v.v.

## 6.5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Nghiên cứu máy điện gồm các bước 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 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 yêu cầu cụ thể.

## CHƯƠNG 7. MÁY BIẾN ÁP

### 7.1. KHÁI NIỆM CHUNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để biến đổi điện áp (dòng điện) của dòng xoay chiều từ giá trị cao đến giá trị thấp hoặc ngược lại ta dùng máy biến áp.

#### 7.1.1. Định nghĩa và các lượng định mức

##### a. Định nghĩa

Máy biến áp là thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên tắc cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi hệ thống điện xoay chiều ( $U_1, I_1, f$ ) thành ( $U_2, I_2, f$ )  
Đầu vào của máy biến áp nối với nguồn điện gọi là sơ cấp. Đầu ra nối với tải gọi là thứ cấp.

##### b. Các lượng định mức

###### - 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.  
Với máy biến áp ba pha điện áp định mức là điện áp dây

###### - 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 ba pha, dòng điện định mức là dòng điện dây.  
Dòng điện sơ cấp định mức kí hiệu  $I_{1dm}$ , dòng điện thứ cấp định mức kí hiệu  $I_{2dm}$

###### - 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.

#### 7.1.2. Công dụng của máy biến áp

Công dụng của máy biến áp là truyền tải và phân phối điện năng trong hệ thống điện

Muốn giảm tổn hao  $\Delta P = I^2.R$  trên đường dây truyền tải có hai phương án:

Phương án 1: Giảm điện trở  $R$  của đường dây ( $R = \rho.l/S$ )

Muốn giảm  $R$  ta tăng tiết diện dây dẫn  $S$ , tức là tăng khối lượng dây dẫn, các trụ đỡ cho đường dây, chi phí xây dựng đường dây tải điện rất lớn (phương án này không kinh tế)

Phương án 2: Giảm dòng điện  $I$  chạy trên đường dây truyền tải.

Muốn giảm  $I$  ta phải tăng điện áp, ta cần dùng máy tăng áp vì đối với máy biến áp  $U_1 I_1 = U_2 I_2$  (phương án này kinh tế và hiệu quả hơn)

Máy biến áp còn được dùng rộng rãi:

Trong kỹ thuật hàn, thiết bị lò nung, trong kỹ thuật vô tuyến điện, trong lĩnh vực đo lường, trong các thiết bị tự động, làm nguồn cho thiết bị điện, điện tử, trong thiết bị sinh hoạt gia đình v.v.

## 7.2. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

### 7.2.1 Cấu tạo máy biến áp

Gồm hai bộ phận chính: lõi thép và dây quấn

a. Lõi thép máy biến áp

Dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kỹ thuật điện mỏng ghép lại.

Để giảm dòng điện xoáy trong lõi thép, người ta dùng lá thép kỹ thuật điện, hai mặt có sơn cách điện ghép lại với nhau thành lõi thép.

b. Dây quấn máy biến áp

Được chế tạo bằng dây đồng hoặc nhôm có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.

Máy biến áp có công suất nhỏ thì làm mát bằng không khí

Máy có công suất lớn thì làm mát bằng dầu, vỏ thùng có cánh tản nhiệt

### 7.2.2. Nguyên lý làm việc của máy biến áp

Khi ta nối dây quấn sơ cấp vào nguồn điện xoay chiều điện áp  $U_1$  sẽ có dòng điện sơ cấp  $I_1$  (hình 7.2.2)

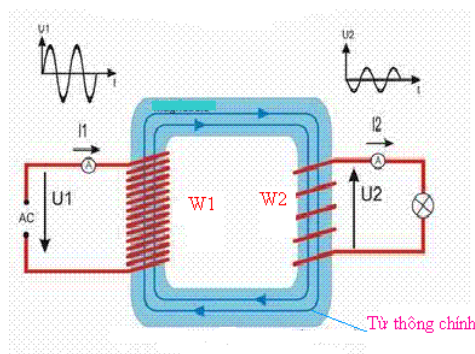
Dòng điện  $I_1$  sinh ra từ thông  $\Phi$  biến thiên chạy trong lõi thép. Từ thông này móc vòng đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp được gọi là từ thông chính.

Theo định luật cảm ứng điện từ:

$$e_1 = - W_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = - W_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$W_1, W_2$  là số vòng dây quấn sơ cấp và thứ cấp.



Hình 7.2.2

Khi máy biến áp có tải, dưới tác động của sức điện động  $e_2$ , có dòng điện thứ cấp  $I_2$  cung cấp điện cho tải.

Từ thông  $\Phi$  biến thiên hình sin  $\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$

Ta có:

$$e_1 = - W_1 \frac{d\Phi}{dt} = 4,44 f W_1 \Phi_{\max} \sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/2)$$

$$e_2 = - W_2 \frac{d\Phi}{dt} = 4,44 f W_2 \Phi_{\max} \sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/2)$$

trong đó  $E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_{\max}$ ,  $E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_{\max}$

$k = E_1 / E_2 = W_1 / W_2$ ,  $k$  được gọi là hệ số biến áp.

Bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí ta có:

$$U_1 / U_2 \approx E_1 / E_2 = W_1 / W_2 = k$$

Bỏ qua mọi tổn hao trong máy biến áp, ta có:

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1 \Rightarrow U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1 = W_1 / W_2 = k$$

### 7.3. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN VÀ TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

Theo quy tắc vận nút chai, chiều  $\phi$  phù hợp với chiều  $i_1$ ,  $e_1$  và  $i_1$  cùng chiều.

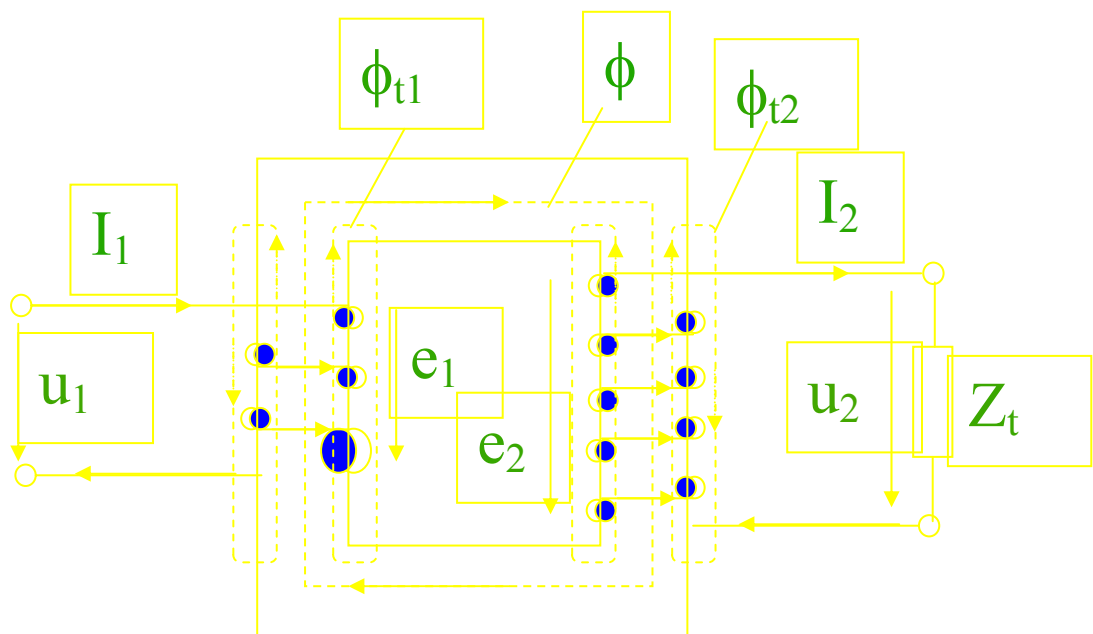
Chiều  $i_2$  được chọn ngược với chiều  $e_2$  nghĩa là chiều  $i_2$  không phù hợp với chiều  $\phi$  theo quy tắc vận nút chai.

Trong máy biến áp còn có từ thông tản  $\phi_{t1}$ ,  $\phi_{t2}$  ( hình 7.3.a)

Từ thông tản được đặc trưng bằng điện cảm tản.

Điện cảm tản dây quấn sơ cấp  $L_1$  :  $L_1 = \phi_{t1} / i_1$

Điện cảm tản dây quấn thứ cấp  $L_2$  :  $L_2 = \phi_{t2} / i_2$



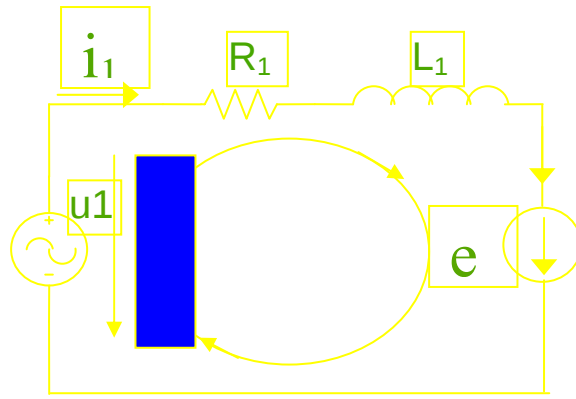
Hình 7.3.a

#### 7.3.1. Phương trình cân bằng điện áp trên dây quấn sơ cấp

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 dạng phức cho mạch điện hình 7.3.b :

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$$

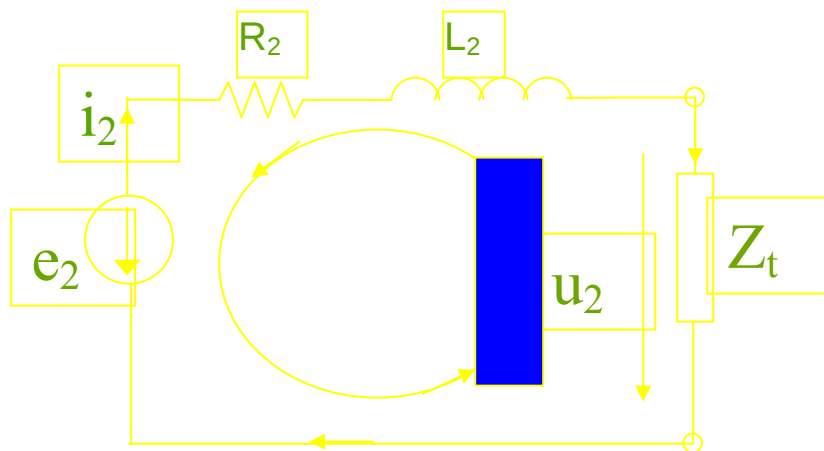
trong đó  $X_1 = L_1 \omega$



Hình 7.3.b

### 7.3.2. Phương trình cân bằng điện áp trên dây quấn thứ cấp

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 dạng phức cho mạch điện hình 7.3.c :



Hình 7.3.c

$$\vec{U}_2 = -\vec{E}_2 - R_2 \vec{I}_2 - jX_2 \vec{I}_2 = -\vec{E}_2 - Z_2 \vec{I}_2$$

Trong đó  $X_2 = L_2 \cdot \omega$

### 7.3.3. Phương trình cân bằng từ

Điện áp lưới điện đặt vào máy biến áp  $U_1 \approx E_1 = 4.44 f W_1 \phi_{\max}$  không đổi, cho nên từ thông chính  $\phi_{\max}$  sẽ không đổi.

Phương trình cân bằng từ dưới dạng số phức:

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_2 w_2 \Rightarrow \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}_0 + \dot{I}_2'$$

## 7.4. SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Từ các phương trình cân bằng điện từ ta xây dựng mô hình mạch điện cho máy biến áp. Sơ đồ thay thế là sơ đồ điện phản ánh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp, ta có hệ phương trình:

$$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + \vec{I}_1 Z_1 = (R_{th} + jX_{th}) \vec{I}_0 + \vec{I}_1 (R_1 + jX_1)$$

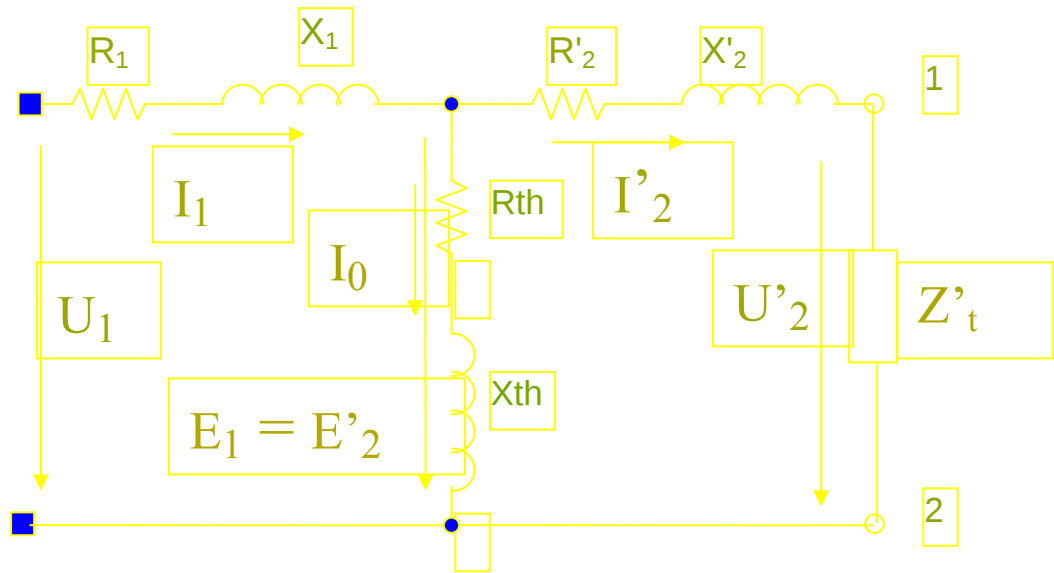
$$\dot{U}'_2 = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 - (R'_2 + jX'_2)\dot{I}'_2$$

□

Trong đó:

$$\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2; Z'_2 = k^2 Z_2; \dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k}; Z'_1 = k^2 Z_1$$

Từ hệ phương trình trên ta xây dựng được sơ đồ thay thế cho máy biến áp (hình 7.4.a)



Hình 7.4.a

## 7.5. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Là chế độ mà phía thứ cấp hở mạch và phía sơ cấp được đặt vào điện áp.

### 7.5.1. Đặc điểm chế độ không tải của máy biến áp

a. Dòng điện không tải  $I_0$

Ta có :  $I_0 = U_1 / z_0$

□

Tổng trở  $z_0$  rất lớn vì thế  $I_0$  rất nhỏ:  $I_0 = (3\% - 10\%) I_{ldm}$

b. Công suất không tải  $P_0$

$$P_0 = R_0 I_0^2 = R_{th} I_{th}^2 = P_{st}$$

c. Hệ số công suất  $\cos\varphi_0$

$$\cos\varphi_0 = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = 0.1 - 0.3$$

### 7.5.2. Thí nghiệm không tải của máy biến áp

Xác định hệ số biến áp  $k$ , tổn hao sắt từ  $P_{st}$ ,  $X_{th}$ ,  $R_{th}$ ,  $\cos\varphi_0$ ,  $I_0$

Sơ đồ thí nghiệm

Vôn kế  $V_1$  chỉ  $U_{1dm}$ ; vôn kế  $V_2$  chỉ  $U_{2dm}$

Ampe kế  $A$  chỉ dòng điện không tải  $I_0$

Oát mét  $W$  chỉ công suất không tải  $P_0$

a. Hệ số biến áp  $k$ :  $k = W_1/W_2 = U_{1dm}/U_{2dm}$

b. Dòng điện không tải phần trăm:  $I_0 \% = I_0/I_{1dm} \cdot 100\% = (3\% \div 01\%) I_{1dm}$

c. Điện trở không tải:  $R_0 = P_0/I_0^2 \approx R_{th}$

d. Tổng trở không tải:  $z_0 = U_{1dm}/I_0$

Điện kháng không tải:

□

$$X_{th} \approx X_0$$

e. Hệ số công suất không tải:  $\cos\varphi_0 = P_0/(U_{1dm}I_0) = 0.1 \div 0.3$

## 7.6. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại và phía sơ cấp vẫn đặt vào điện áp. Đây là tình trạng sự cố.

### 7.6.1. Đặc điểm chế độ ngắn mạch của máy biến áp

Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch.

Sơ đồ thay thế

Tổng trở  $z'_2$  rất nhỏ so với  $z_{th}$ , nên có thể bỏ nhánh từ hoá.

Dòng điện ngắn mạch  $I_n$ :

$$I_n = U_{1dm}/z_n$$

$$z_n = \sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2} = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$$

$R_n$ : điện trở ngắn mạch máy biến áp

$X_n$ : điện kháng ngắn mạch máy biến áp.

$z_n$ : tổng trở ngắn mạch máy biến áp

$Z_n$  rất nhỏ cho nên  $I_n$  rất lớn:

$$I_n = U_{1dm}/z_n \approx (10 \div 25) I_{1dm} \text{ (tình trạng sự cố)}$$

### 7.6.2. Thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp

Xác định tổn hao trên điện trở dây quấn và các thông số  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $R_2$ ,  $X_2$

Sơ đồ thí nghiệm 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 đạt giá trị định mức.

$$U_n \% = U_n / U_{1dm} 100\% = (3 \div 10 \%) U_{1dm}$$

Công suất đo trong thí nghiệm ngắn mạch  $P_n$  là tổn hao trong điện trở 2 dây quấn.

- Tổng trở ngắn mạch:  $z_n = U_n / I_{1dm}$
- Điện trở ngắn mạch:  $R_n = P_n / I_{1dm}^2$
- Điện kháng ngắn mạch

□

d. Thông số dây quấn

$$R_1 = R'_2 = R_n / 2$$

$$X_1 = X'_2 = X_n / 2$$

Biết hệ số biến áp, tính được thông số thứ cấp chưa quy đổi.

$$R_2 = R'_2 / k^2 ; \quad X_2 = X'_2 / k^2$$

## 7.7. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải.

$$\text{Hệ số tải: } k_t = I_2 / I_{2dm} = I_1 / I_{1dm}$$

$k_t = 1$  tải định mức,  $k_t < 1$  non tải,  $k_t > 1$  quá tải.

a. Độ biến thiên điện áp thứ cấp.

$$\Delta U_2 \% = (U_{2dm} - U_2) / U_{2dm} \cdot 100\%$$

b. Đặc tính ngoài của máy biến áp

Quan hệ  $U_2 = f(I_2)$ , khi  $U_1 = U_{1dm}$  và  $\cos \varphi_t = \text{const}$ .

Điện áp thứ cấp  $U_2$  là:  $U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} (1 - \Delta U_2 \% / 100)$

c. Tổn hao và hiệu suất máy biến áp

- Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp gọi là tổn hao đồng

$$\Delta P_d = \Delta P_{d1} + \Delta P_{d2} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = k_t^2 P_n$$

trong đó  $P_n$  là công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch.

- Tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st}$  trong lõi thép do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra.. Tổn hao sắt từ bằng công suất đo khi thí nghiệm không tải.  $\Delta P_{st} = P_0$

Hiệu suất máy biến áp  $\eta$ :

$$\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d) = k_t S_{dm} \cos \varphi_t / (k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n)$$

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t$$

Nếu  $\cos \varphi_t$  không đổi, hiệu suất cực đại khi  $\eta \partial / \partial k_t = 0 \Rightarrow k_t^2 P_n = P_0$

Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại:

$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$$

Đối với máy biến áp công suất trung bình và lớn, hiệu suất cực đại khi hệ số tải

$$k_t = 0.5 \div 0.7$$

## 7.8. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

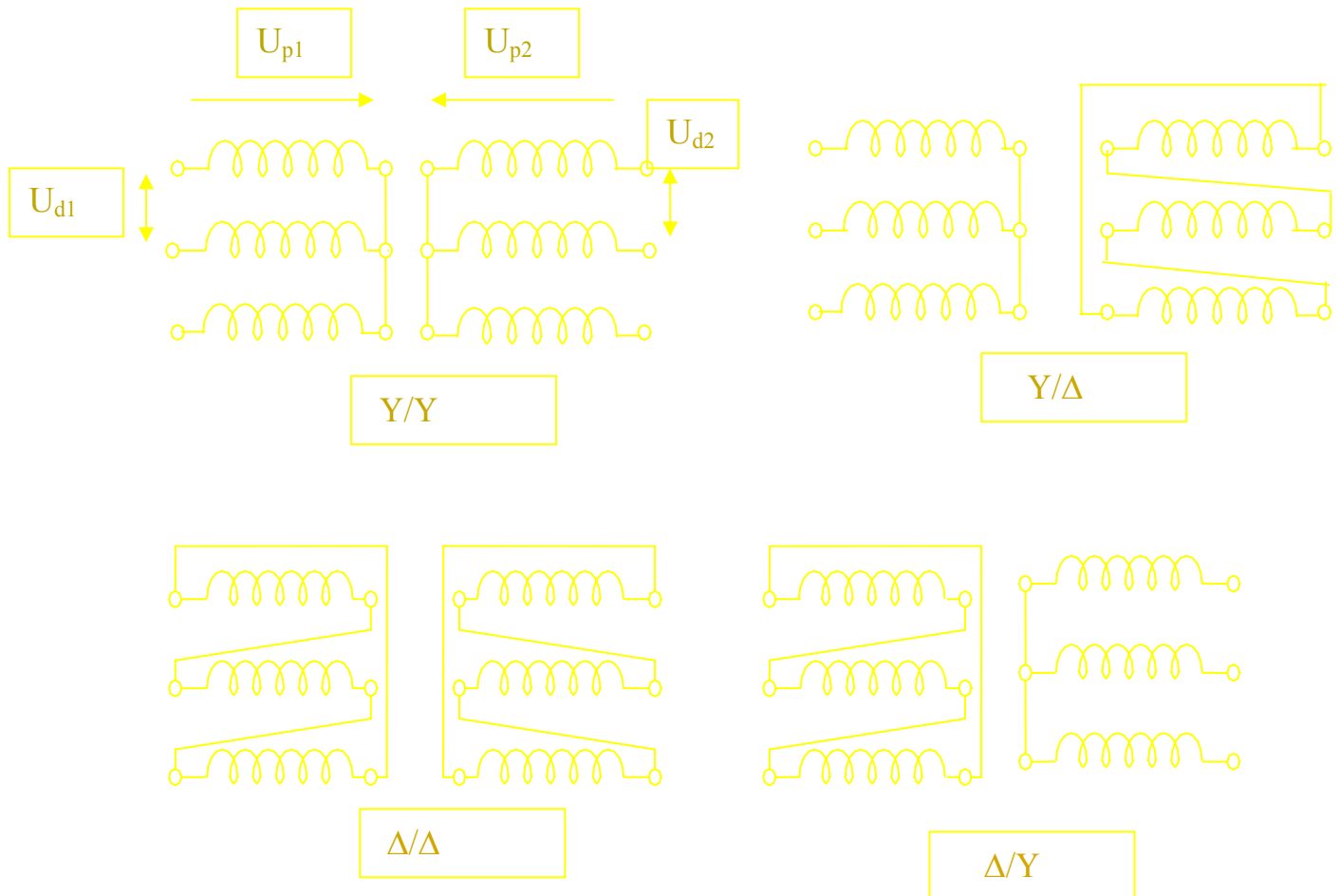
Để biến đổi điện áp của hệ thống điện ba pha, ta dùng máy biến áp ba pha.

Về cấu tạo lõi thép của máy biến áp ba pha gồm 3 trụ và trên mỗi trụ quấn dây quấn sơ cấp và thứ cấp của mỗi pha

Dây quấn sơ cấp: pha A thường kí hiệu là AX, pha B là BY, pha C là CZ.

Dây quấn thứ cấp: pha a thường kí hiệu 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, ví dụ như có 4 trường hợp cơ bản, bao gồm 12 tổ nối dây ( hình 7.8.1)



Hình 7.8.1

Tỷ số điện áp dây trong 4 trường hợp cơ bản:

Nối Y/Y:

□

Y/Δ:

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{\sqrt{3}W_1}{W_2}$$

Δ/Y:

□

$\Delta/\Delta$ :

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{r1}}{U_{r2}} = \frac{W_1}{W_2}$$

Tổ nối dây của máy biến áp cho ta biết cách mắc của cuộn sơ cấp, thứ cấp và góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp.

Ví dụ: Tổ nối dây kí hiệu Y/Y- 21; phía sơ cấp và thứ cấp nối sao, góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là  $12 \times 30^\circ = 360^\circ$

## 7.9. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA MÁY BIẾN ÁP

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 hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho các máy biến áp làm việc song song :

1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau tương ứng
2. Các máy phải có cùng tổ nối dây
3. Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau.

$$U_{nI}\% = U_{nII}\% = \dots = U_{nN}\%$$

Cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

## 7.10. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

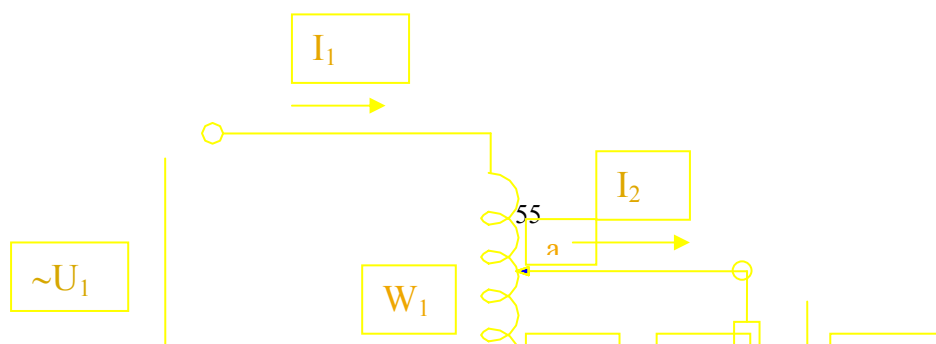
### 7.10.1. Máy biến áp tự ngẫu

Biến áp tự ngẫu còn được gọi là máy tự biến áp

Máy biến áp tự ngẫu 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 tự ngẫu một pha gồm có dây quấn thấp áp (số vòng dây  $W_2$ ) là một phần của dây quấn cao áp (số vòng dây  $W_1$ ) (hình 7.10.1)

Ta có:  $U_1/U_2 = W_1/W_2$  hay là  $U_2 = U_1 \cdot W_1/W_2$



Hình 7.10.1

Ta thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a, sẽ thay đổi được điện áp  $U_2$ .

Máy tự biến áp có tiết diện lõi thép bé hơn máy biến áp thông thường nhưng vẫn đảm bảo đủ công suất

Máy tự biến áp trong đó cuộn thấp áp là một phần cuộn cao áp 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

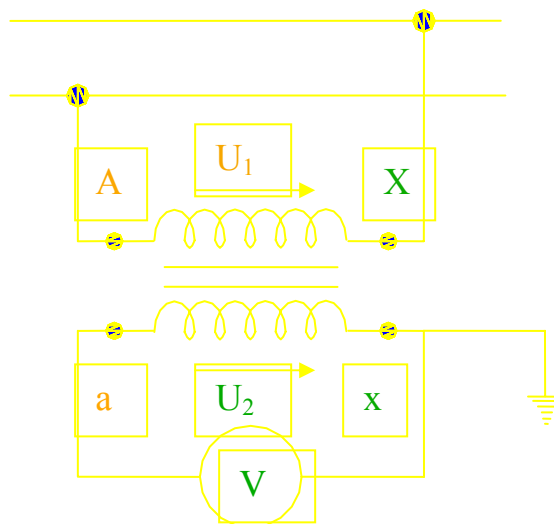
### 7.10.2. Máy biến áp đo lường

#### a. Máy biến điện áp

Dùng biến đổi điện áp xoay chiều rất cao xuống điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ thông thường.

Số vòng dây cuộn thứ cấp phải ít hơn số vòng dây cuộn sơ cấp. Tiết diện dây quấn sơ cấp nhỏ hơn tiết diện dây quấn thứ cấp.

Trong khi làm việc, không được để cho máy biến điện áp ngắn mạch ở thứ cấp.



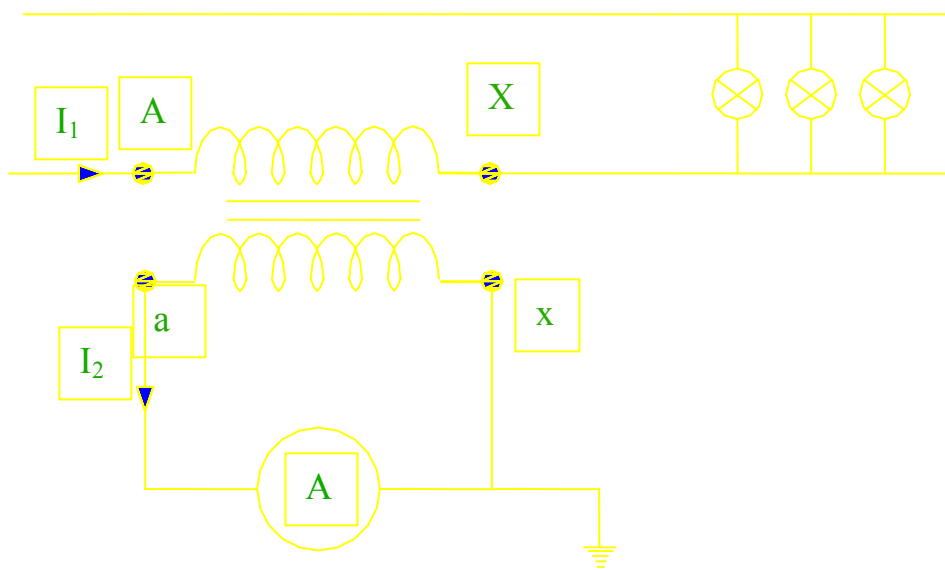
Hình 7.10.2.a

#### b. Máy biến dòng điện

Dùng biến đổi dòng điện xoay chiều 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 nhiều hơn số vòng dây sơ cấp. Tiết diện dây quấn thứ cấp nhỏ hơn tiết diện dây sơ cấp

Đối với máy biến dòng không được để hở mạch ở thứ cấp.



Hình 7.10.2.b

## CHƯƠNG 8. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### 8.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện có phần quay, làm việc với điện xoay chiều, theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto khác với tốc độ quay của từ trường.

Máy điện không đồng bộ có tính thuận nghịch, có thể làm việc ở chế độ động cơ điện và máy phát điện. Máy phát điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt nên ít được dùng.

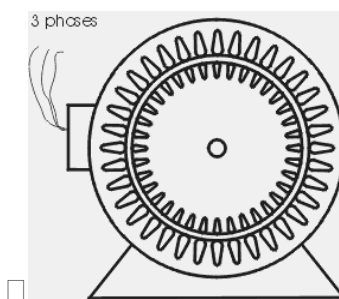
Động cơ điện không đồng bộ có cấu tạo và vận hành đơn giản, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong sản xuất và đời sống.

Động cơ điện không đồng bộ gồm các loại: động cơ ba pha, hai pha và một pha.

## 8.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Gồm hai phần chính:

1. Phần tĩnh ( Stator: Stator, xtator)
2. Phần quay ( Rotor: Rôto)



Hình 8.2

### 8.2.1. Phần tĩnh ( STATO)

Phần tĩnh gồm các bộ phận là lõi thép và dây quấn, ngoài ra có vỏ máy và nắp máy (hình 8.2.1.a)

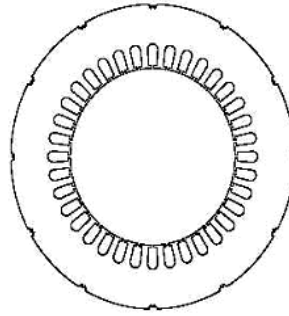


Hình 8.2.1.a

a. Lõi thép

Lõi thép stator hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong, ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy (hình 8.2.1.b)

### Lá thép kỹ thuật điện của lõi thép stato



Hình 8.2.1.b

#### b. Dây quấn ba pha

Dây quấn stato làm bằng dây dẫn điện được bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép. Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong ba dây quấn ba pha stato sẽ tạo ra từ trường quay. Dây quấn ba pha có thể nối sao hoặc tam giác

#### c. Vỏ máy

Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép, cố định máy trên bề, bảo vệ máy và đỡ trục rôto (hình 8.2.1.c )

### 8.2.2. Phần quay ( RÔTO)

Gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

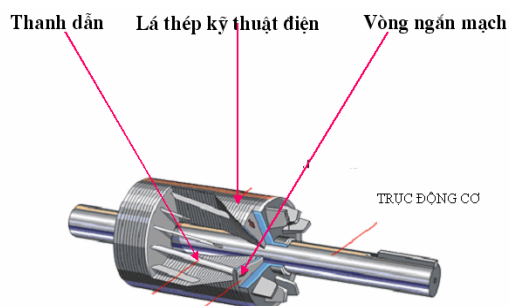
#### a. Lõi thép

Lõi thép gồm các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng trục, ở giữa các lỗ để lắp trục

#### b. Dây quấn

Dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ thường có hai kiểu: rôto lồng sóc (rôto ngắn mạch) và rôto dây quấn.

Rôto lồng sóc các rãnh của lõi thép rôto đặt các thanh đồng (hoặc nhôm), các thanh đồng thường đặt nghiêng so với trục, hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng (nhôm), tạo thành lồng sóc (hình 8.2.2.b)



Hình 8.2.2.b

Rôto dây quấn gồm lõi thép và dây quấn.

Lõi thép do các lá thép kỹ thuật điện ghép lại với nhau tạo thành các rãnh hướng trục

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 (vành trượt), được nối với ba biến trở bên ngoài để điều chỉnh tốc độ và mở máy

Động cơ không đồng bộ có hai loại: Động cơ rôto lồng sóc và động cơ rôto dây quấn

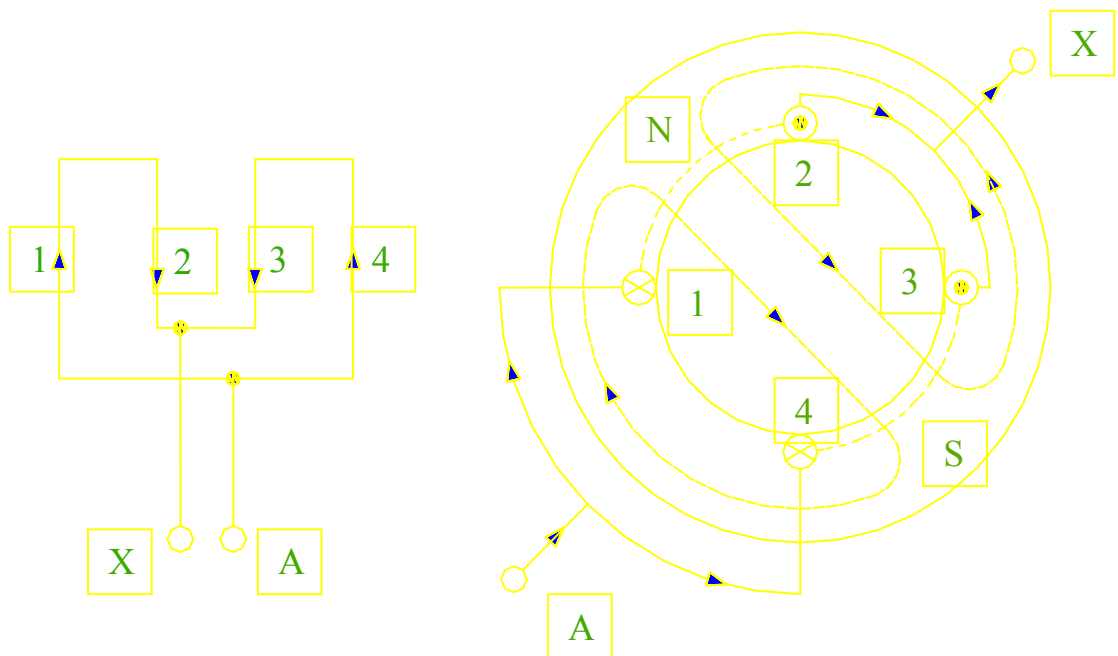
## 8.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### 8.3.1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, gọi là từ trường đập mạch.

Cho dòng điện hình sin một pha chạy vào cuộn dây AX ( hình 8.3.1.a )

Dây quấn AX được đặt trong 4 rãnh trên stato 1,2,3,4.



Hình 8.3.1.a

Căn cứ vào chiều dòng điện ta vẽ được chiều từ trường theo quy tắc vặn nút chai, dây quấn tạo ra từ trường đập mạch có hai cực (  $p=1$ ;  $p$  là số đôi cực), từ trường này có phương không đổi, nhưng có chiều và độ lớn biến thiên hình sin theo thời gian.

Tương tự ta đặt dây quấn AX trên 4 rãnh tạo ra từ trường 4 cực đập mạch (  $p=2$  ).

### 8.3.2. Từ trường quay của dây quấn ba pha

#### a. Sự tạo thành từ trường quay

Ta xét máy điện ba pha đơn giản gồm 6 rãnh trong đó đặt ba dây quấn đối xứng AX, BY, CZ trên stato

Ba dây quấn được đặt lệch nhau trong không gian một góc  $120^\circ$  điện.

Trong các dây quấn có dòng điện ba pha đối xứng chạy qua có đồ thị

$$i_A = I_{\max} \sin \omega t$$

$$i_B = I_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

$i_A$  chạy vào cuộn dây AX,  $i_B$  chạy vào cuộn BY,  $i_C$  chạy vào cuộn CZ

Nếu  $i_A > 0$  thì dòng đi vào A ra X, nếu  $i_A < 0$  thì dòng đi vào X ra A

Xét từ trường tổng do dòng ba pha gây ra tại 3 thời điểm:

□ Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ$

Dòng điện pha A cực đại và dương, các dòng điện pha B và C âm và có độ lớn bằng nhau.

Dùng quy tắc vặn nút chai ta xác định chiều đường sức từ trường  $B_A, B_B, B_C, B_{\text{tổng}}$

□ Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$

Dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm. Dùng quy tắc vặn nút chai ta xác định chiều đường sức từ trường  $B_A, B_B, B_C, B_{\text{tổng}}$ .

Véc tơ từ trường tổng  $B_{\text{tổng}}$  đã quay đi một góc là  $120^\circ$  so với thời điểm trước theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

□ Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$

Dòng điện pha C cực đại và dương, các dòng điện pha A và B âm.

Véc tơ từ trường tổng  $B_{\text{tổng}}$  đã quay đi một góc là  $240^\circ$  so với thời điểm ban đầu theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

Vậy dòng điện ba pha tạo ra từ trường quay

b. Đặc điểm của từ trường quay

- Tốc độ từ trường quay

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện stato  $f$  và số đôi cực  $p$ .

Tốc độ từ trường quay là  $n_1 = 60f/p$  (vòng/phút)

- Chiều quay của từ trường

Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện đặt cực đại

Muốn đổi chiều quay của từ trường ta giữ nguyên một pha và thay đổi thứ tự hai pha còn lại với 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 ngược lại tức là cùng chiều kim đồng hồ.

- Biên độ của từ trường quay

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

$$\phi_{\max} = 3/2 \phi_{p\max}$$

c. Từ trường quay của dây quấn hai pha

Khi có dây quấn hai pha đặt lệch nhau trong không gian 1 góc  $90^\circ$  điện, dòng điện trong hai dây quấn lệch pha nhau về thời gian  $90^\circ$ , cũng phân tích như trên, từ trường hai pha là từ trường quay và có biên độ:  $\phi_{\max} = \phi_{p\max}$

d. Từ thông tản

Bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn gọi là từ thông tản

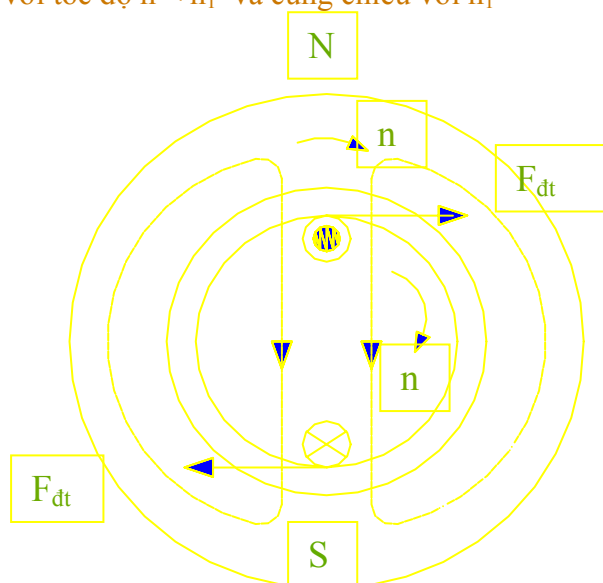
## 8.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ ba pha:

Khi ta cho dòng điện ba pha tần số  $f$  vào ba dây quấn stato sẽ tạo ra từ trường quay với tốc độ là  $n_1 = 60f/p$ .

Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto và cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rôto nối kín 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 với tốc độ  $n < n_1$  và cùng chiều với  $n_1$



Hình 8.4

Tốc độ quay của rôto  $n$  luôn luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường quay  $n_1$  vì tốc độ bằng nhau thì trong dây quấn rôto không còn sức điện động và dòng điện cảm ứng, cho nên lực điện từ bằng không.

Hệ số trượt của tốc độ :  $s = (n_1 - n) / n_1$

Tốc độ của động cơ :  $n = 60f/p \cdot (1 - s)$  (vòng/phút)

## 8.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN VÀ TỪ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### 8.5.1. Phương trình cân bằng điện dây quấn stato

Dây quấn stato của động cơ điện tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp, phương trình cân bằng điện áp:

□

### 8.5.2. Phương trình cân bằng điện ở dây quấn rôto

Dây quấn rôto được coi như dây quấn thứ cấp máy biến áp, dây quấn rôto chuyển động đối với từ trường quay tốc độ trượt:  $n_1 - n$

Sức điện động và dòng điện trong dây quấn rôto có tần số :  $f_2 = p (n_1 - n) / 60 = sf$

Sức điện động pha dây quấn rôto lúc quay:

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 W_2 k_{dq2} \phi_{\max} = s E_2$$

Điện kháng tản dây quấn rôto lúc quay:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = s \cdot 2\pi f L_2 = s X_2$$

$k_e$ : Hệ số quy đổi sức điện động rôto

$$k_e = E_1 / E_2 = W_1 k_{dq1} / W_2 k_{dq2}$$

Phương trình điện áp dây quấn rôto lúc quay :

$$s\vec{E}_2 + \vec{I}_2(R_2 + jX_2) = 0$$

### 8.5.3. Phương trình cân bằng từ của động cơ không đồng bộ

□

$k_i = (m_1 W_1 k_{dq1}) / (m_2 W_2 k_{dq2})$  là hệ số quy đổi dòng điện rôto

$I_0$ : dòng điện stato lúc không tải;  $I_1, I_2$  là dòng điện stato và rôto khi động cơ kéo tải,  $m_1, m_2$  là số pha của dây quấn stato và rôto

## 8.6. SƠ ĐỒ THAY THẾ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

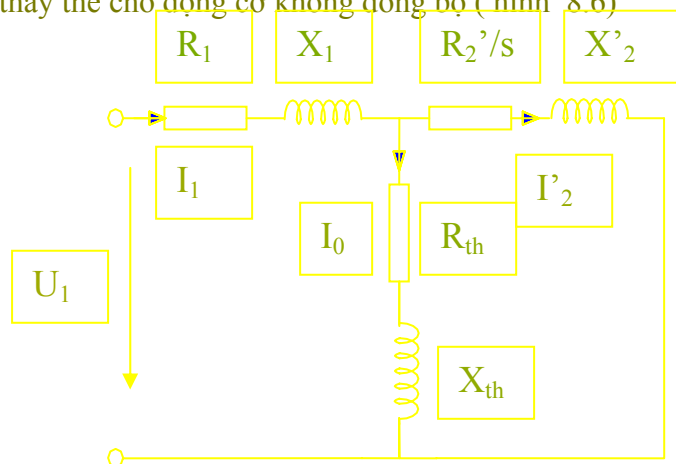
Ta có hệ phương trình :

$$\vec{U}_1 = \vec{I}_1(R_1 + jX_1) + \vec{I}_0(R_{th} + jX_{th})$$

□

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + \vec{I}_2$$

Sơ đồ thay thế cho động cơ không đồng bộ ( hình 8.6)



Hình 8.6

## 8.7. MÔ MEN QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Mômen điện từ  $M_{dt}$  đóng vai trò mômen quay:

$$M = M_{dt} = P_{dt} / \omega_1 = P_{dt} \cdot p / \omega$$

$\omega_1$ : tần số góc của từ trường quay ;  $\omega$ : tần số góc dòng điện stato;  $p$  là số đôi cực từ

Công suất điện từ:  $P_{dt} = 3I_2'^2 R_2' / s$

Dựa vào sơ đồ thay thế ở mục 8.6 ta tính được:

□

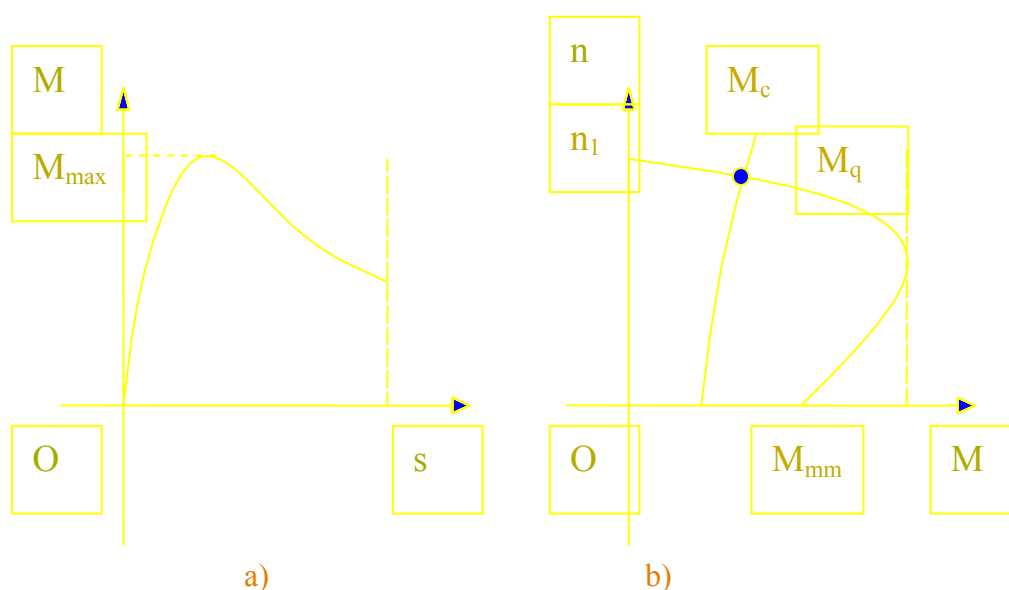
Ta có :

$$M = \frac{3pU_1^2 R_2'}{s\omega \left[ (R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}$$

Đồ thị mômen theo hệ số trượt  $M = f(s)$  ( hình 8.7.a)

Thay  $s = (n_1 - n) / n_1$  vào biểu thức ta có mối quan hệ  $n = f(M)$

Quan hệ  $n=f(M)$ , gọi là đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 8.7.b)



Hình 8.7

Động cơ sẽ làm việc ở điểm  $M_q = M_c$  ( hình 8.7.b )

Đặc điểm của mômen quay:

a. Mômen tỉ lệ với bình phương điện áp  $M \sim U_1^2$ , nếu  $U_1$  thay đổi, mômen động cơ thay đổi rất nhiều.

b. Mômen có trị số cực đại  $M_{max}$  ứng với giá trị tới hạn  $s_{th}$

□

$$M_{max} \approx \frac{3pU_1^2}{2\omega(R_1 + X_1 + X'_2)}$$

c. Mômen mở máy  $M_{mm}$

□

## 8.8. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Khi mở máy động cơ phải thỏa mãn ba yêu cầu:

1. Mômen mở máy động cơ phải lớn hơn mômen cản của tải lúc mở máy
2. Mômen động cơ phải đủ lớn để thời gian mở máy trong phạm vi cho phép
3. Dòng mở máy phải nhỏ để điện áp lưới điện không bị sụt áp và ảnh hưởng đến các thiết bị khác

### 8.8.1. Mở máy động cơ rôto dây quấn

Khi mở máy dây quấn rôto được nối với biến trở mở máy.

Đầu tiên để biến trở lớn nhất, sau đó giảm dần đến không.

Đường đặc tính cơ ứng với các giá trị  $R_{mở}$

Khi có điện trở mở máy  $R_{mở}$ , dòng điện pha lúc mở máy :

$$I_{\text{mở}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_{\text{mở}})^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

Khi  $R_{\text{mở}}$  tăng thì  $M_{\text{mm}}$  tăng

Nhờ có  $R_{\text{mở}}$  dòng điện mở máy giảm xuống và mômen mở máy tăng  
Đó là ưu điểm của động cơ rôto dây quấn.

### 8.8.2. Mở máy động cơ lồng sóc

#### a. Mở máy trực tiếp

Phương pháp đóng trực tiếp động cơ điện vào lưới điện.

Khuyết điểm của phương pháp này là dòng điện mở máy lớn, làm sụt điện áp mạng điện rất nhiều. Phương pháp này dùng được khi công suất mạng điện (hoặc nguồn điện) lớn hơn công suất động cơ rất nhiều.

#### b. Giảm điện áp cung cấp cho stato

Khi mở máy ta giảm điện áp vào động cơ, cũng làm giảm được dòng điện mở máy.

Khuyết điểm của phương pháp này mômen mở máy giảm rất nhiều, vì thế chỉ sử dụng được đối với trường hợp không yêu cầu mômen mở máy lớn.

Các biện pháp giảm điện áp như sau:

- Dùng điện kháng nối tiếp vào mạch stato

Lúc mở máy, cầu dao  $K_2$  mở, cầu dao  $K_1$  đóng. Khi động cơ đã quay ổn định thì đóng  $K_2$  và ngắt  $K_1$ .

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  $M \sim U^2$ )

- Dùng máy tự biến áp

Gọi  $k$  là hệ số biến áp ;  $U_1$  là điện áp pha lưới điện ;  $z_n$  là tổng trở động cơ lúc mở máy.

Dòng điện  $I_1$  lưới điện cung cấp cho động cơ lúc có máy tự biến áp :

$$I_1 = I_{dc}/k = U_{dc}/kz_n = U_1/k^2 z_n$$

Khi mở máy trực tiếp, dòng điện  $I_1 = U_1/z_n$

Dòng điện của lưới điện giảm đi  $k^2$  lần.

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 stato nối hình tam giác.

Khi mở máy ta nối hình sao để điện áp đặt vào mỗi pha giảm . Sau khi mở máy ta đổi nối lại thành hình tam giác như đúng quy định của máy.

Dòng điện dây khi nối hình tam giác:

□

Dòng điện dây khi nối hình sao:

$$I_{dr} = \frac{U_1}{\sqrt{3} z_n}$$

Dòng điện dây mạng điện giảm đi 3 lần. và mômen giảm đi 3 lần.

Qua các phương pháp, chúng ta đều thấy mômen 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.

### 8.8.3. Động cơ điện lồng sóc có đặc tính mở máy tốt

#### a. Động cơ điện lồng sóc rãnh sâu

Loại động cơ này, rãnh rôto hẹp và sâu (chiều sâu bằng 10-12 lần chiều rộng rãnh). Khi có dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, từ thông tản rôto phân bố. Từ thông tản móc vòng với đoạn dưới thanh dẫn nhiều hơn đoạn trên.

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.

#### b. Động cơ điện lồng sóc kép

Rôto của động cơ có hai lồng sóc, các thanh dẫn của lồng sóc ngoài (còn gọi là lồng sóc mở máy) có tiết diện nhỏ và điện trở lớn

Lồng sóc trong có tiết diện lớn hơn điện trở nhỏ. Như ở trên khi mở máy dòng điện tập trung ở lồng sóc ngoài có điện trở lớn, mômen mở máy lớn. Khi làm việc bình thường, dòng điện lại phân bố đều ở cả hai lồng sóc, điện trở lồng sóc ngoài nhỏ xuống.

Động cơ điện rãnh sâu và lồng sóc kép có đặc tính mở máy tốt, nhưng vì từ thông tản lớn, nên hệ số công suất  $\cos\phi$  thấp hơn động cơ lồng sóc thông thường.

## 8.9. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ :  $n = 60f/p \cdot (1-s)$  (vòng/phút)

### 8.9.1. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số (f)

Thay đổi tần số  $f$  của dòng điện stato được thực hiện bằng bộ biến tần. Khi thay đổi tần số người ta mong muốn giữ cho từ thông  $\Phi_{\max}$  không đổi, cho nên phải giữ cho tỷ số điện áp và tần số không đổi.

Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số cho phép điều chỉnh tốc độ một cách bằng phẳng trong phạm vi rộng và cho cả nhóm động cơ, song giá thành tương đối đắt.

### 8.9.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực (p)

Số đôi cực của từ trường quay phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn.

Muốn thay đổi  $P$  ta phải thay đổi cách đấu dây hoặc có cách cấu tạo dây quấn đặc biệt

### 8.9.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp cung cấp cho stato

Phương pháp này chỉ thực hiện việc giảm điện áp.

Khi giảm điện áp đường đặc tính  $M=f(s)$  sẽ thay đổi do đó hệ số trượt thay đổi, tốc độ động cơ thay đổi.

Nhược điểm của phương pháp này là giảm khả năng quá tải của động cơ, phạm vi điều chỉnh hẹp, tăng tổn hao và chỉ sử dụng cho các động cơ công suất nhỏ

#### 8.9.4. Điều chỉnh bằng cách thay đổi điện trở rôto của động cơ rôto dây quấn

Khi tăng điện trở, dòng điện rôto giảm dẫn đến lực từ giảm cho nên tốc độ quay của động cơ giảm.

Phương pháp này đơn giản, điều chỉnh trơn và khoảng điều chỉnh tương đối rộng

### 8.10. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Đặc tính của động cơ không đồng bộ là các quan hệ giữa tốc độ quay rôto  $n$ , hệ số  $\cos\varphi$ , hiệu suất  $\eta$ , mômen quay  $M$ , và dòng điện stato  $I_1$  với công suất cơ hữu ích trên trục  $P_2$ .

#### 8.10.1. Đặc tuyến dòng điện stato $I_1 = f(P_2)$

□

Với  $U_1$  không đổi,  $I_0$  gần như không đổi. Khi  $P_2$  tăng,  $I_2$  tăng nên  $I_1$  tăng theo.

#### 8.10.2. Đặc tuyến tốc độ rôto $n = f(P_2)$

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.

#### 8.10.3. Đặc tuyến mômen quay $M = f(P_2)$

Khi  $P_2$  tăng, nếu  $s$  không đổi thì đặc tuyến sẽ là đường thẳng. Ở đây  $s$  hơi tăng lên nên  $M$  tăng nhanh hơn  $P_2$

#### 8.10.4. Đặc tuyến hiệu suất $\eta = f(P_2)$

Hiệu suất của động cơ :

$$\eta = P_2 / (P_2 + \Delta P)$$

Nếu  $P_2$  tăng,  $P_{d1}$  và  $P_{d2}$  tăng theo, hiệu suất tăng theo, hiệu suất tăng lên đến  $\eta_{dm} = 0.75 - 0.9$ , sau đó giảm xuống.

#### 8.10.5. Hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$

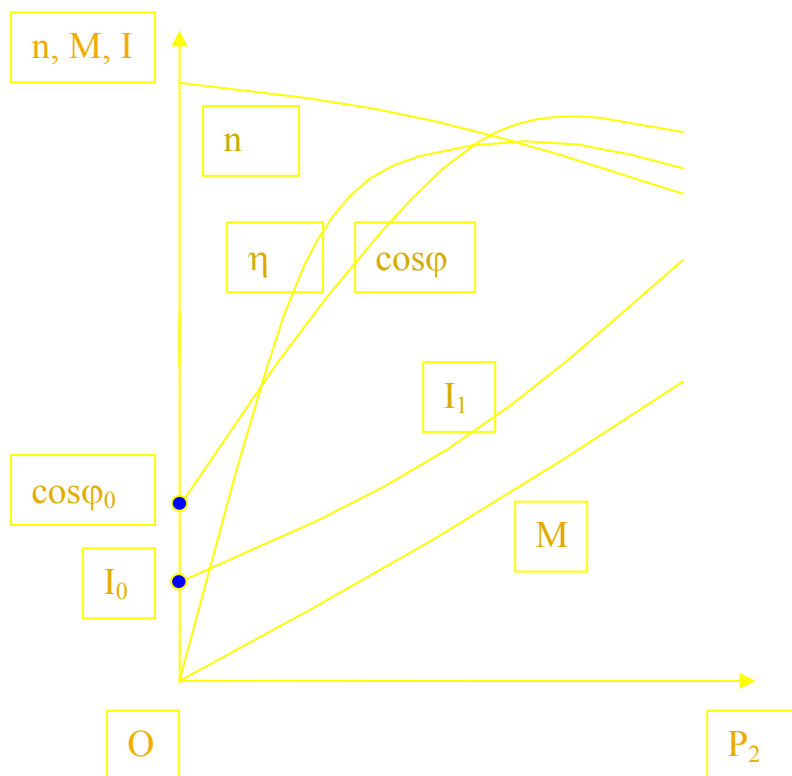
$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$$

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 mà động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường cho máy.

Khi tải tăng, công suất  $P_1$  tăng và  $\cos\varphi$  được tăng lên đạt đến giá trị định mức  $\cos\varphi = 0.8 - 0.9$ .

Khi quá tải dòng điện vượt định mức, từ thông tản tăng,  $Q_1$  tăng; do đó  $\cos\varphi$  lại giảm xuống.

Các đường đặc tuyến được thể hiện trên hình vẽ 8.10



Hình 8.10

## 8.11. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

### a. Từ trường dòng điện hình sin một pha

Dòng điện xoay chiều một pha 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 không đổi. Từ trường này gọi là từ trường đập mạch.

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.

Trong đó từ trường quay có chiều quay trùng với chiều quay rôto, gọi là từ trường quay thuận  $B^+$ , còn từ trường có chiều quay ngược chiều quay rôto gọi là từ trường quay ngược  $B^-$ .

□

Mômen quay  $M_1$  do từ trường thuận sinh ra có giá trị số dương và  $M_2$  do từ trường ngược gây ra có trị số âm. Mômen quay  $M$  của động cơ là  $M=M_1-M_2$

Từ đường đặc tính mômen, lúc mở máy  $M_1=M_2 \Rightarrow M=0$  động cơ điện không tự mở máy được.

Nhưng nếu tác động làm cho động cơ quay, động cơ có mômen  $M$  và sẽ tiếp tục quay.

Phải có biện pháp mở máy, tạo cho động cơ một mômen mở máy.

### b. Động cơ một pha

Về cấu tạo stato chỉ có dây quấn một pha, rôto thường là lồng sóc.

Ở loại động cơ này, ngoài dây quấn chính, còn có dây quấn phụ.

Dây quấn phụ có thể thiết kế để làm việc chỉ lúc mở máy (gọi là động cơ 1 pha không ngâm tụ), hoặc làm việc thường trực (động cơ 1 pha ngâm tụ).

Dây quấn phụ đặt trong các rãnh stato, sao cho sinh ra một từ thông lệch với từ thông chính một góc  $90^0$  trong không gian. 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  $90^0$ , phải nối tiếp với dây quấn phụ một tụ điện C.

## CHƯƠNG 9. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 9.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ CÔNG DỤNG

#### 9.1.1. Định nghĩa

Những máy điện xoay chiều có tốc độ quay rôto  $n$  bằng đúng tốc độ quay của từ trường stato  $n_1$  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.

#### 9.1.2. Công dụng

##### a. Chế độ máy phát

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của lưới điện quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là các tua bin hơi, tuabin khí hoặc tuabin nước. ( hình 9.1.2 )



Hình 9.1.2

Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ diesel hoặc xăng, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai ba máy làm việc song song

#### b. Chế độ động cơ

Động cơ đồng bộ công suất lớn được sử dụng trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió .v.v.

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, máy bù đồng bộ

## 9.2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo máy điện đồng bộ gồm hai bộ phận chính là stato và rôto .

Stato là phần tĩnh (còn gọi là phần ứng ), rôto là phần quay (còn gọi là phần cảm ).

### 9.2.1. Phần tĩnh ( STATO)

Stato của máy điện đồng bộ giống như stato của máy điện không đồng bộ

#### a. Lõi thép

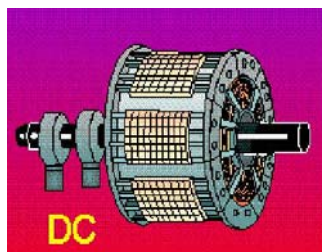
Lõi thép stato hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong, ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. lõi thép được ép vào trong vỏ máy

#### b. Dây quấn

Dây quấn stato làm bằng dây dẫn điện được bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép

### 9.2.2. Phần quay ( RÔTO)

Rô to máy điện đồng bộ bao gồm lõi thép, cực từ và dây quấn kích từ. Dây quấn kích từ được cấp bởi nguồn điện một chiều để tạo ra từ trường cho máy.  
(hình 9.2.2.a)



Hình 9.2.2.a

Hai đầu của dây quấn kích từ nối với hai vòng trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi than để nối với nguồn 1 chiều.

Có hai loại: rôto cực từ ẩn và rôto cực lồi

a. Rôto cực lồi

Dùng ở máy có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực. Rôto cực lồi dây quấn kích từ quấn xung quanh thân cực từ

b. Rôto cực ẩn

Thường dùng ở máy có tốc độ cao 3000v/ph có một đôi cực. Rôto cực ẩn dây quấn kích từ được đặt ẩn trong các rãnh.

### 9.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Dòng điện kích từ (dòng điện không đổi) vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto  $\phi_0$

Khi quay rôto bằng động cơ sơ cấp, từ trường của rôto sẽ cắt dây quấn phần ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin có trị số hiệu dụng:  $E_0 = 4,44fW_1k_{dq}\phi_0$ . Nếu rôto có p đôi cực, tần số f của sức điện động:  $f = pn/60$

Dây quấn ba pha stato có đặt lệch nhau trong không gian một góc  $120^\circ$  điện, cho nên sức điện động các pha lệch nhau góc pha  $120^\circ$

Trong dây quấn stato xuất hiện một nguồn điện ba pha đối xứng

Khi dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn có dòng điện ba pha:

$$i_A = I_{\max} \sin \omega t$$

$$i_B = I_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Dòng điện ba pha được tạo ra giống như ở máy điện không đồng bộ sẽ tạo nên từ trường quay, với tốc độ là  $n_1 = 60f/p$  ( $n = 60f/p = n_1$ ), đúng bằng tốc độ quay n của rôto.

Do đó máy điện này gọi là máy điện đồng bộ.

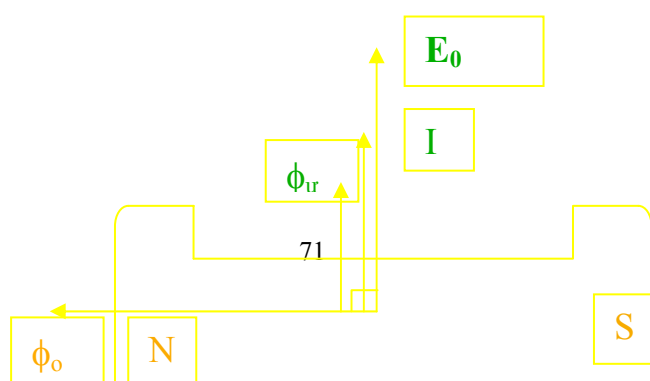
### 9.4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ rôto  $\phi_0$  cắt dây quấn stato cảm ứng ra sức điện động  $E_0$  chậm pha so với nó một góc  $90^\circ$ .

Dây quấn stato nối với tải sẽ tạo nên dòng điện I cung cấp cho tải, dòng điện I tạo nên từ trường quay phản ứng (stato). Tác dụng của từ trường phản ứng (stato) lên từ trường cực từ (rôto) gọi là phản ứng phần ứng.

Tải thuần trở

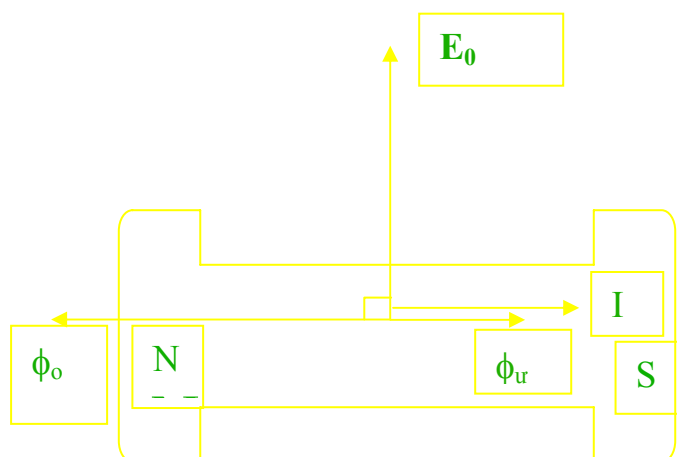
Từ thông phản ứng  $\phi_{tr}$  (stato) theo hướng ngang trục, làm lệch hướng từ trường cực từ (rôto)  $\phi_0$  ta gọi là phản ứng phần ứng ngang trục (hình 9.4.a)



Hình 9.4.a

Tải thuần cảm

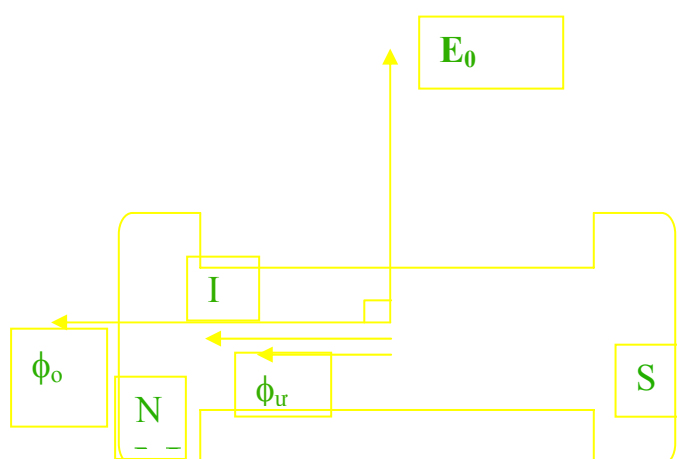
Từ thông phản ứng  $\phi_{\text{tr}}$  ngược chiều  $\phi_0$  gọi là phản ứng phản ứng dọc trục khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng (hình 9.4.b)



Hình 9.4.b

Tải thuần dung

Từ thông phản ứng  $\phi_{\text{tr}}$  cùng chiều  $\phi_0$ , gọi là phản ứng phản ứng dọc trục trợ từ có tác dụng làm tăng từ trường tổng.



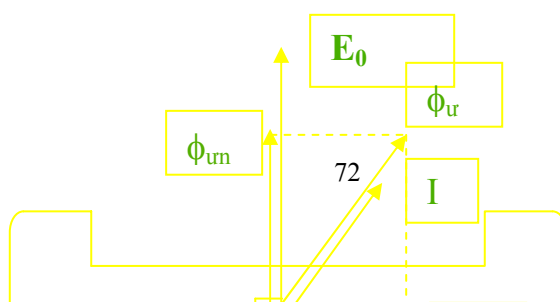
Hình 9.4.c

Tải bất kỳ

Phân tích từ trường phản ứng thành hai thành phần:

Thành phần ngang trục làm lệch hướng từ trường tổng

Thành phần dọc trục khử từ hoặc trợ từ tùy theo tính chất của tải (hình 9.4.d)



Hình 9.4.d

Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ vừa phụ thuộc vào dòng điện tải  $I$  (độ lớn bé) vừa phụ thuộc vào tính chất của tải (thuần trở, thuần cảm và thuần dung).

## 9.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP VÀ CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 9.5.1. Phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện đồng bộ

Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực ắc

$X_{db} = X_d = X_q$  gọi là điện kháng đồng bộ.

Phương trình cân bằng điện áp:

□

### 9.5.2. Các đường đặc tính của máy phát điện đồng bộ

a. Đặc tính không tải

$U_0 = E_0 = f(I_{kt})$  khi  $I_{tải} = 0$ ,  $n = \text{const}$  ( $f = \text{const}$ )

Ta có:  $E_0 = 4,44f \cdot W_1 \cdot k_{dq} \cdot \phi_0 = K \cdot \phi_0$

Đặc tính không tải là đường  $\phi_0 = f(I_{kt})$ , gọi là đường cong từ hóa vật liệu sắt từ

b. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Mối quan hệ giữa điện áp  $U$  trên cực máy phát và dòng điện tải  $I$  khi tính chất tải  $\cos\varphi_t$  không đổi, tần số  $f$  và dòng điện kích từ  $I_{kt}$  không đổi

$U = f(I)$  khi  $I_{kt} = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$  ( $f = \text{const}$ ),  $\cos\varphi_t = \text{const}$

Đặc tính ngoài của máy phát phụ thuộc tính chất của tải

c. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ

Mối quan hệ giữa dòng điện kích từ với dòng điện tải điện áp  $U$  bằng điện áp định mức, tần số  $f$  và tính chất tải không đổi.

$I_{kt} = f(I)$  khi  $U = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$  ( $f = \text{const}$ ),  $\cos\varphi_t = \text{const}$

## 9.6. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 9.6.1. Nguyên lý làm việc

Khi cho dòng điện ba pha  $I_a, I_b, I_c$  vào ba dây quấn stato, dòng điện ba pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ  $n_1 = 60f/p$

Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto, rôto biến thành một nam châm điện

Khi từ trường stato quay với tốc độ  $n_1$ , lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto quay với tốc độ  $n = n_1$

Phương trình điện áp của động cơ điện đồng bộ:

$$\vec{U} = \vec{E} + jX_{db}\vec{I}$$

### 9.6.2. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Muốn động cơ làm việc, phải tạo mômen mở máy để quay rôto đồng bộ với từ trường quay stato.

Trên các mặt cực từ rôto, người ta đặt các thanh dẫn, được nối ngắn mạch như lồng sóc ở động cơ không đồng bộ ( hình 9.6.2)



Hình 9.6.2

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở rôto động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ.

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 mạch điện có điện trở lớn để bảo vệ dây quấn kích từ

Khi rôto đã quay đến tốc độ bằng tốc độ đồng bộ  $n_1$ , đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ.

### 9.6.3. Máy bù đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ làm việc ở chế độ không tải và dòng điện kích từ điều chỉnh quá kích thích để động cơ phát ra công suất phản kháng với mục đích nâng cao hệ số công suất lưới điện.

Công suất phản kháng:  $Q = mU (E_0 \cos\theta - U)/X_{db}$  mà  $E_0$  phụ thuộc  $I_{kt}$

Tăng  $I_{kt} \Rightarrow$  tăng  $E_0 \Rightarrow Q > 0$  động cơ phát ra công suất phản kháng vào lưới điện, động cơ làm việc quá kích thích.

Hệ số công suất lưới điện  $\cos\varphi_L$

$$\cos\varphi_L = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_L^2}}$$

Tăng  $I_{kt} \Rightarrow$  tăng  $Q \Rightarrow$  giảm  $Q_L \Rightarrow \cos\varphi_L$  tăng và ngược lại

## CHƯƠNG 10. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 10.1. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều bao gồm stato với cực từ, rôto và cổ góp với chổi than

#### 10.1.1. PHẦN TĨNH (STATO )

Stato gọi là phần cảm gồm lõi thép bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy. Gắn với stato là các cực từ chính có dây quấn kích từ

#### 10.1.2. PHẦN QUAY (RÔTO)

Rôto của máy điện một chiều gọi là phần ứng bao gồm lõi thép, dây quấn phần ứng, cổ góp và chổi than (hình 10.1.2.a)



Hình 10.1.2.a

a. Lõi thép và dây quấn

Lõi thép hình trụ, làm bằng các lá thép kỹ thuật điện ghép lại với nhau.

Các lá thép kỹ thuật điện có lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn phần ứng.

Mỗi phần tử của dây quấn phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu nối với hai phiến góp.

Các phiến góp đặt trên cổ góp

b. Cổ góp và chổi than

Cổ góp gồm các phiến góp bằng đồng được ghép cách điện, có dạng hình trụ, được gắn ở đầu trục rôto. Các đầu dây của phần tử dây quấn rôto nối với phiến góp. Chổi than làm bằng than graphit, các chổi than được tỳ chặt lên cổ góp nhờ lò xo

## 10.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 10.2.1. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ta xét máy phát điện một chiều có dây quấn phần ứng gồm hai thanh dẫn ab và cd chỉ nối với hai phiến góp 1 và 2 ( hình 10.2.1)

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sức điện động được xác định bằng quy tắc bàn tay phải.

Trên thanh dẫn ab sức điện động có chiều từ a đến b.

Trên thanh dẫn cd chiều sức điện động từ c đến d .

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của hai thanh dẫn phần tử và hai phiến góp thay đổi cho nhau. Sức điện động trong thanh dẫn đổi chiều nhưng chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi.

Cổ góp và chổi than đóng vai trò bộ chỉnh lưu dòng điện I ra tải có chiều không đổi.

Phương trình cân bằng điện áp:

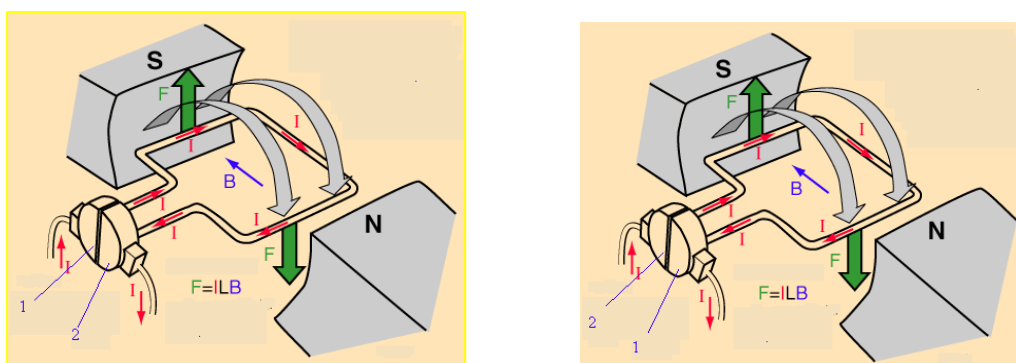
$$U = E_r - R_r I_r$$

$R_r$  là điện trở dây quấn phần ứng; U là điện áp hai đầu cực máy ;  $E_r$  là sức điện động phần ứng.

### 10.2.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Khi cho điện áp một chiều U vào hai chổi than tiếp xúc với hai phiến góp 1 và 2, trong dây quấn phần ứng có dòng điện (hình 10.2.2 )

Hai thanh dẫn 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 10.2.2

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí hai thanh dẫn và hai phiến góp 1 và 2 đổi chỗ cho nhau, đổi chiều dòng điện trong các thanh dẫn và chiều lực tác dụng không đổi cho nên động cơ có chiều quay không đổi

Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường và sinh ra sức điện động cảm ứng  $E_r$  trong dây quấn rôto

Phương trình điện áp động cơ điện một chiều:

$$U = E_u + R_u I_u$$

### 10.3. SỨC ĐIỆN ĐỘNG PHẢN ỨNG, CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ VÀ MÔMEN

#### ĐIỆN TỪ

##### a. Sức điện động phản ứng

Khi quay rôto, các thanh dẫn của dây quấn phản ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động :  $e = B_{tb} l \cdot v$

Sức điện động phản ứng  $E_u$  bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một nhánh.

Số thanh dẫn trong một nhánh:  $N/2a$

Sức điện động phản ứng  $E_u$ :

$$E_u = N/2a \cdot e = N/2a \cdot B_{tb} l \cdot v \quad (1)$$

$$\text{Tốc độ dài: } v = \pi D n / 60 \quad (2)$$

$$\text{Mật khác từ thông mỗi cực từ } \phi = B_{tb} \pi D l / 2p \quad (3)$$

$$\text{Từ (1) (2) (3) ta có } E_u = pN/60a \cdot n\phi = k_E n\phi$$

$$\text{Kết luận: } E_u = k_E n\phi$$

##### b. Công suất điện từ và mômen điện từ

$$\text{Công suất điện từ: } P_{dt} = E_u I_u \quad (5)$$

$$\text{Từ (4) và (5) ta có: } P_{dt} = pN/60a \cdot n\phi I_u$$

$$\text{Mômen điện từ: } M_{dt} = P_{dt} / \omega_r \quad (6)$$

$$\omega_r \text{ là tần số góc quay của rôto: } \omega_r = 2\pi n / 60 \quad (7)$$

$$\text{Từ (6) và (7) ta có: } M_{dt} = pN/2\pi a I_u \phi = k_M I_u \phi$$

$$\text{Kết luận: } M_{dt} = k_M I_u \phi$$

### 10.4. PHẢN ỨNG PHẢN ỨNG CỦA MÁY PHÁT 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 .

Từ trường cực từ phân bố đối xứng, ở đường trung tính hình học AB

Ở đường trung tính hình học có cường độ từ cảm  $B = 0$ , thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sức điện động .

Khi máy điện có tải, dòng điện  $I_u$  trong dây quấn phản ứng (rôto) sinh ra từ trường phản ứng . Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phản ứng. Từ trường trong máy là từ trường tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phản ứng .

Hậu quả của phản ứng phản ứng

##### a. Từ trường trong máy bị biến dạng

Đường trung tính hình học AB đến vị trí mới gọi là trung tính vật lý A1B1 với góc lệch thường nhỏ và lệch theo chiều quay của rôto khi là máy phát điện, và ngược chiều quay của rôto khi là động cơ điện.

b. Khi tải lớn, dòng điện phần ứng lớn, từ trường phần ứng lớn, từ thông  $\phi$  của máy bị giảm xuống, kéo theo sức điện động phần ứng  $E_u$  giảm, điện áp 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 cực từ phụ và dây quấn bù ngược chiều với từ trường phần ứng nhằm triệt tiêu từ trường phần ứng.

## 10.5. NGUYÊN NHÂN 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 điện giữa chổi than 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, và làm nhiễu đến các thiết bị điện tử khác.

Sự phát sinh tia lửa điện 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 cổ 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 đổi từ mạch nhánh này sang mạch nhánh khác. trong phần tử đổi chiều ấy sẽ xuất hiện các sức điện động sau:

- Sức điện động tự cảm  $e_L$ , do sự biến thiên dòng điện trong phần tử đổi chiều.
- Sức điện động hồ cảm  $e_m$ , do sự biến thiên dòng điện của các phần tử đổi chiều khác lân cận.
- Sức điện động  $e_q$  do từ trường phần ứng gây ra

### 3. Biện pháp khắc phục

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 bằng cách 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  $e_L, e_m, e_q$ .

## 10.6. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dựa vào phương pháp cung cấp dòng điện kích từ, người ta chia máy điện một chiều ra các loại:

- Máy điện một chiều kích từ độc lập.
- Máy điện một chiều kích từ song song
- Máy điện một chiều kích từ nối tiếp
- Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp

### 10.6.1. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Sơ đồ máy phát điện kích từ độc lập

Phương trình cân bằng điện áp

Mạch phần ứng:  $U = E_u - R_u I_u$

Mạch kích từ :  $U_{kt} = I_{kt} (R_{kt} + R_{dc})$

Khi dòng điện  $I$  tải tăng, dòng điện phản ứng  $I_r$  tăng, điện áp  $U$  giảm xuống do hai nguyên nhân:

1. Tác dụng của từ trường phản ứng làm cho từ thông  $\phi$  giảm, kéo theo sức điện động  $E_r$  giảm.
2. Điện áp rơi  $R_r I_r$  tăng.

Đường đặc tính ngoài  $U=f(I)$  khi tốc độ và dòng điện kích từ không đổi

Đường đặc tính điều chỉnh  $I_{kt} = f(U)$ , khi giữ điện áp và tốc độ không đổi

Máy phát kích từ độc lập có ưu điểm về điều chỉnh điện áp, thường gặp trong các hệ thống máy phát - động cơ, truyền động máy cán, máy cắt kim loại, thiết bị tự động trên tàu thủy, máy bay v.v

### 10.6.2. MÁY PHÁT ĐIỆN KÍCH TỪ SONG SONG

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 dư

Phương trình cân bằng điện áp

Mạch phản ứng :  $U = E_r - R_r I_r$

Mạch kích từ :  $U = I_{kt} (R_{kt} + R_{dc})$

Phương trình dòng điện:  $I_r = I - I_{kt}$

Khi dòng điện tải tăng, dòng điện phản ứng tăng, ngoài hai nguyên nhân làm điện áp  $U$  giảm như máy phát điện kích từ độc lập, ở máy kích từ song song khi  $U$  giảm, làm cho dòng điện kích từ giảm, từ thông và sức điện động càng giảm.

Đường đặc tính ngoài dốc hơn so với máy kích từ độc lập

Đường đặc tính điều chỉnh của máy phát điện  $I_{kt}=f(U)$  khi  $U, n$  không đổi

### 10.6.3. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP

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.

Khi  $I$  tải tăng, dòng điện  $I_r$  tăng, từ thông  $\phi$  và  $E_r$  tăng, do đó  $U$  tăng,

Khi  $I = (2-2,5)I_{dm}$ , máy bão hoà, thì  $I$  tăng  $U$  sẽ giảm.

### 10.6.4. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ HỖN HỢP

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 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 của máy phát điện kích từ hỗn hợp.

Đường đặc tính ngoài  $U = f(I)$

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 dốc, nên được sử dụng làm máy hàn một chiều.

## 10.7. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dựa vào phương pháp kích từ, việc phân loại động cơ điện một chiều giống đối với máy phát một chiều.

Sức điện động của động cơ điện một chiều  $E_u$ :

$$E_u = pN/60a \cdot n\phi = k_E n\phi$$

Mômen điện từ  $M_{dt}$  của động cơ:

$$M_{dt} = pN/2\pi a I_u \phi = k_M I_u \phi$$

### 10.7.1. MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ CHO ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

#### a. Mở máy động cơ điện một chiều

Phương trình cân bằng điện áp:  $U = E_u + R_u I_u \Rightarrow I_u = (U - E_u) / R_u$

Khi mở máy, tốc độ  $n=0 \Rightarrow E_u = k_E n\phi = 0 \Rightarrow I_u = U / R_u$

Vì  $R_u$  rất nhỏ, dòng điện phản ứng  $I_u$  lúc mở máy rất lớn  $I_u = (20 \div 30) I_{dm}$ , làm hỏng cổ góp, chổi than và ảnh hưởng đến lưới điện.

Để giảm dòng điện mở máy, dùng các biện pháp :

- Dùng biến trở mở máy  $R_{mở}$

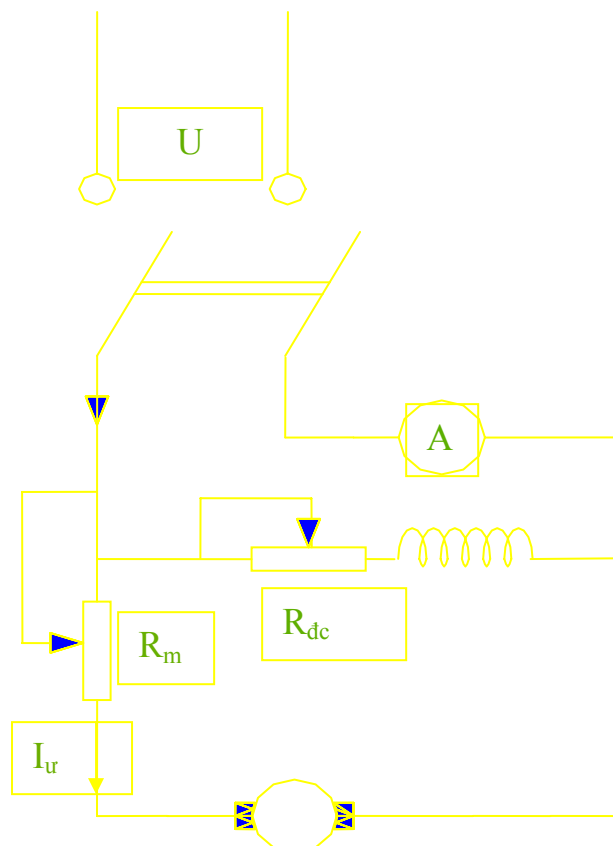
Mắc biến trở mở máy vào mạch phản ứng, dòng điện mở máy lúc có biến trở mở máy:

$$I_{umở} = U / (R_u + R_{mở})$$

Lúc đầu để biến trở  $R_{mở}$  lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, điện trở mở máy giảm dần đến không (hình 10.7.1)

- Giảm điện áp đặt vào phản ứng

Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể điều chỉnh được điện áp



Hình 10.7.1

b. Điều chỉnh tốc độ

$$E_u = U - R_u I_u = k_E n \cdot \phi \Rightarrow n = (U - R_u I_u) / k_E \phi$$

Điều chỉnh tốc độ bằng các phương pháp:

- Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phản ứng

Khi thêm điện trở vào mạch phản ứng, tốc độ giảm.

Dòng điện phản ứng lớn, nên tổn hao công suất lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ.

- 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.

- Thay đổi từ thông

Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng điện kích từ.

Khi điều chỉnh tốc độ, ta kết hợp phương pháp thay đổi từ thông với thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh tốc độ rất rộng.

### 10.7.2. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ SONG SONG

Để mở máy dùng biến trở mở máy  $R_{mở}$ , để điều chỉnh tốc độ thường điều chỉnh  $R_{đc}$ .

a. Đường đặc tính cơ  $n = f(M)$

$$n = (U - R_u I_u) / k_E \phi \quad (1)$$

$$\text{Mặt khác: } M_{dt} = k_M I_u \phi \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có:

$$n = U / k_E \phi - R_u M / (k_M k_E \phi^2)$$

Thêm điện trở  $R_p$  vào mạch phản ứng thì ta có:

$$n = U / k_E \phi - (R_u + R_p) M / (k_M k_E \phi^2)$$

Đường 1 đặc tính cơ tự nhiên ( $R_p = 0$ ), đường 2 đặc tính cơ ứng với  $R_p \neq 0$ . (hình 10.7.2)

b. Đặc tính làm việc

Các đường quan hệ giữa tốc độ  $n$ , mômen  $M$ , dòng điện phản ứng  $I_u$  và hiệu suất  $\eta$  theo công suất cơ trên trục  $P_2$

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 máy cắt kim loại, máy công cụ.

### 10.7.3. ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP

Để điều chỉnh tốc độ ta có thể điều chỉnh từ thông, mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.

a. Đường đặc tính cơ  $n = f(M)$

Khi máy không bão hòa, dòng điện phản ứng  $I_u$  và từ thông  $\phi$  tỷ lệ với nhau:

$$I_u = k_I \phi \quad (1)$$

$$\text{Ta có: } M = k_M I_u \phi = k_M k_I \phi^2 \quad (2)$$

□

$$n = (U - R_u I_u) / k_E \phi \quad (3)$$

Từ (1), (2) và (3) ta có:

$$n = \frac{k_U}{k_E \sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E} = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u$$

Phương trình đặc tính cơ có dạng hypecbôn

Khi không tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng rất lớn, vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp mở máy không tải hoặc tải nhỏ.

b. Đường đặc tính làm việc

#### **10.7.4. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ HỖN HỢP**

Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường hai dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược 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)

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 đảm bảo 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 là đường 4, nghĩa là tốc độ quay hầu như không đổi khi mômen thay đổi .

# PHẦN III. THÍ NGHIỆM KỸ THUẬT ĐIỆN

## CHƯƠNG 11. THÍ NGHIỆM KỸ THUẬT ĐIỆN

### 11.1. THÍ NGHIỆM 1: MẠCH ĐIỆN HÌNH SIN MỘT PHA

#### 11.1.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

Hiểu được sự phân bố dòng điện, điện áp và sự thay đổi góc pha do tính chất của tải trong mạch điện phân nhánh và không phân nhánh.

b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 1

| Stt | Tên thiết bị                | Ký hiệu              | Quy cách                          | Số lượng |
|-----|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|
| 1   | Nguồn xoay chiều 1 pha 220V | 220V~                |                                   |          |
| 2   | Biến áp tự ngẫu             | BAT                  | In 220V/ Out 250V/6,6A            | 1        |
| 3   | Ampe kế điện từ             | $A_1, A_2, A_3, A_4$ | $0 \div 1 \text{ A}$              | 4        |
| 4   | Vôn mét điện từ             | $V_1, V_2, V_3, V_4$ | $0 \div 250 \text{ VAC}$          | 4        |
| 5   | Đèn đốt tim                 | $R_1$                | 75W ÷ 110VAC                      | 2        |
| 6   | Đèn đốt tim                 | $R_2$                | 75W ÷ 110VAC                      | 4        |
| 7   | Cuộn cảm                    | L                    |                                   | 1        |
| 8   | Tụ điện                     | $C_1, C_2, C_3$      | 2 $\mu$ F, 1 $\mu$ F, 0.5 $\mu$ F | 3        |
| 9   | Công tắc                    | K                    | 5A/250VAC                         | 2        |
| 10  | Công tơ 1 pha               | KWh 1~               | 10A                               | 1        |
|     |                             |                      |                                   |          |

#### 11.1.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

a. Mạch R – L – C nối tiếp

Trình tự thao tác

Mắc mạch điện mạch R – L – C nối tiếp

Vặn núm điều chỉnh của BAT về vị trí 0 ( Ngược chiều kim đồng hồ ).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện, đóng cầu dao CD cung cấp điện cho BAT.
- Điều chỉnh điện áp ra của BAT là  $U_{nguồn} = 60V$  (  $V_4 = 60V$  ).
- Thay đổi giá trị của điện dung (đầu nối tiếp hoặc song song các tụ) hoặc thay đổi giá trị điện cảm (chỉnh khe hở mạch từ của cuộn cảm hoặc đầu nối tiếp các cuộn cảm) sao cho mạch mang tính cảm (  $U_L > U_C$  ).
- Lấy số liệu ghi vào bảng 2.
- Điều chỉnh tụ C hoặc cuộn cảm L để mạch mang tính dung (  $U_C > U_L$  ).
- Lấy các số liệu ghi vào bảng 2.

**Bảng 2**

| Tính chất<br><br>mạch | Kết quả đo  |       |       |       |       | Ghi chú |
|-----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|---------|
|                       | $U_{nguồn}$ | $I_t$ | $U_R$ | $U_L$ | $U_C$ |         |
| tính cảm              |             |       |       |       |       |         |
| tính dung             |             |       |       |       |       |         |

Dựa vào kết quả đo được vẽ giản đồ vectơ khi mạch mang tính cảm, mạch mang tính dung.

Sinh viên phải vẽ giản đồ vectơ khi mạch mang tính cảm

Sinh viên phải vẽ giản đồ vectơ khi mạch mang tính dung

b. Mạch R – L – C mắc song song

Trình tự thao tác

Mắc mạch điện mạch R – L – C mắc song song

Vặn núm điều chỉnh của BAT về vị trí 0 ( Ngược chiều kim đồng hồ ).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện, chỉnh núm vặn của BAT theo chiều kim đồng hồ để có điện áp ra là 60V ( $V_4 = 60V$ ).
- Đóng cầu dao CD cung cấp điện cho BAT
- Thay đổi tụ C và cuộn L sao cho mạch mang tính cảm (  $I_L > I_C$  ).
- Lấy số liệu ghi vào bảng 3
- Thay đổi tụ C và cuộn cảm L sao cho mạch mang tính dung (  $I_C > I_L$  ).
- Lấy số liệu ghi vào bảng 3

**Bảng 3**

| Tính chất<br><br>mạch | Kết quả đo |       |       |       |
|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
|                       | $I_t$      | $I_R$ | $I_L$ | $I_C$ |
| Tính cảm              |            |       |       |       |
| Tính dung             |            |       |       |       |

Dựa vào số liệu đo được vẽ giản đồ vectơ khi mạch mang tính cảm, mạch mang tính dung. Sinh viên phải vẽ giản đồ vectơ khi mạch mang tính cảm và giản đồ vectơ khi mạch mang tính dung

## 11.2. THÍ NGHIỆM 2 : MẠCH ĐIỆN HÌNH SIN BA PHA

### 11.2.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

#### a. Mục đích thí nghiệm

1. Làm quen với mạch điện 3 pha thực tế, biết cách nối phụ tải theo kiểu sao và tam giác.
2. Khảo sát mối quan hệ dòng điện và điện áp pha và dây trong mạch 3 pha đối xứng.
3. Khảo sát vai trò của dây trung tính trong mạch 3 pha không đối xứng.
4. Vẽ được đồ thị vectơ dòng điện và điện áp của mạch điện ba pha

#### b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 4

| Stt | Tên thiết bị               | Ký hiệu         | Quy cách               | Số lượng |
|-----|----------------------------|-----------------|------------------------|----------|
| 1   | Áp tô mát 3 pha            | CB              | 220V/ 30A              | 1        |
| 2   | Công tơ 3 pha              | KWH 3~          | 220V/10A               | 1        |
| 3   | Ampe mét                   | $A_0$           | $0 \div 1 \text{ A}$   | 1        |
| 4   | Ampe mét                   | $A_1, A_2, A_3$ | $0 \div 3 \text{ A}$   | 3        |
| 5   | Vôn mét                    | V               | $0 \div 260 \text{ V}$ | 1        |
| 6   | Phụ tải (bóng đèn dây tóc) | $Z_A, Z_B, Z_C$ | 220V/75W               | 15       |

### 11.2.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

#### a. Mạch điện hình sin 3 pha phụ tải đối xứng nối tam giác

- Lắp sơ đồ mạch điện phụ tải đối xứng nối tam giác
- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện, đóng cầu dao CD.
- Lấy số liệu ghi vào bảng 5.
- Dựa vào số liệu ở bảng 5 vẽ đồ thị vectơ

Bảng 5

| Kết quả đo |          |          |          |          |          |       |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| $U_{AB}$   | $U_{BC}$ | $U_{CA}$ | $I_{AB}$ | $I_{BC}$ | $I_{CA}$ | $I_A$ |
|            |          |          |          |          |          |       |

#### b. Mạch điện hình sin 3 pha phụ tải đối xứng nối sao

- Lắp sơ đồ mạch điện phụ tải đối xứng nối sao
- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện, đóng cầu dao CD.
- Lấy các số liệu ghi vào bảng 6.
- Dựa vào bảng 6 vẽ đồ thị vectơ.

Bảng 6

| Kết quả đo |          |          |          |          |          |       |       |       |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|
| $U_{AB}$   | $U_{BC}$ | $U_{CA}$ | $U_{AX}$ | $U_{BY}$ | $U_{CZ}$ | $I_A$ | $I_B$ | $I_C$ |
|            |          |          |          |          |          |       |       |       |

Sinh viên vẽ đồ thị vectơ dòng áp trường hợp nối tam giác và trường hợp nối sao

#### 3. Khảo sát vai trò của dây trung tính

Dây trung tính có tác dụng làm cân bằng điện áp 3 pha khi phụ tải ở các pha không đối xứng

a. Mạch 3 pha không có dây trung tính phụ tải không đối xứng nối sao.

- Sơ đồ mạch điện 3 pha không có dây trung tính phụ tải không đối xứng nối sao.

Bảng hai công tắc K1, K2, điều chỉnh  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$  (số bóng đèn 3 pha khác nhau).

- Đọc số liệu ghi vào bảng 7.

- Dựa vào số liệu trong bảng 7 vẽ đồ thị véctor

Bảng 7

| Trường hợp              | Kết quả đo |          |          |          |          |          |           |       |       |       |           |
|-------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
|                         | $U_{AB}$   | $U_{BC}$ | $U_{CA}$ | $U_{AX}$ | $U_{BY}$ | $U_{CZ}$ | $U_{OO'}$ | $I_A$ | $I_B$ | $I_C$ | $I_{OO'}$ |
| Không có dây trung tính |            |          |          |          |          |          |           |       |       |       |           |
| Có dây trung tính       |            |          |          |          |          |          |           |       |       |       |           |

Sinh viên phải nhận xét:

b. Mạch 3 pha có dây trung tính phụ tải không đối xứng nối hình sao

Sơ đồ mạch điện trong đó O là điểm trung tính của nguồn, O' là điểm trung tính của tải.

- Ampe mét  $A_0$  chỉ giá trị  $I_{O'O}$
- Đóng cầu dao CD
- Đọc số liệu, ghi vào bảng 7.
- Dựa vào số liệu trong bảng 7, vẽ đồ thị véctor.

Sinh viên phải vẽ đồ thị véctor trường hợp không dây trung tính và trường hợp có dây trung tính

### 11.3. THÍ NGHIỆM 3: MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA

#### 11.3.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

1. Tìm hiểu cấu tạo và nguyên lý máy biến áp (MBA)
2. Xác định thông số của MBA
3. Dụng đường đặc tính ngoài qua đó đánh giá chất lượng của máy biến áp

b. Dụng cụ thí nghiệm

| Stt | Tên thiết bị               | Ký hiệu       | Quy cách               | Số lượng |
|-----|----------------------------|---------------|------------------------|----------|
| 1   | Máy biến áp cách ly 1 pha  | BA            | 110/220V/1KW           | 1        |
| 2   | Máy biến áp tự ngẫu 1pha   | BAT           | 220V/250V/6.6A         | 1        |
| 3   | Công tơ 1 pha              | KWH           | 220V/10A               | 1        |
| 4   | Vôn mét                    | $V_1, V_{10}$ | $0 \div 250 \text{ V}$ | 1        |
| 5   | Vôn mét                    | $V_2, V_{20}$ | $0 \div 250 \text{ V}$ | 1        |
| 6   | Ampe mét                   | $A_{10}$      | $0 \div 1 \text{ A}$   | 1        |
| 7   | Ampe mét                   | $A_1$         | $0 \div 9 \text{ A}$   | 1        |
| 8   | Ampe mét                   | $A_2$         | $0 \div 5 \text{ A}$   | 1        |
| 9   | Phụ tải (bóng đèn dây tóc) | $R_{PT}$      | 220V/75W               | 15       |

#### 11.3.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

a. Thí nghiệm không tải

Mắc mạch điện cho máy biến áp ở chế độ không tải

- Điều chỉnh núm vặn BAT về vị trí 0 ( ngược chiều kim đồng hồ).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện đóng cầu dao CD cung cấp điện cho BAT.
- Chỉnh núm vặn BAT theo chiều kim đồng hồ để có điện áp ra là 110V ( $V_{10} = 110V$ ).

- Theo dõi đĩa của công tơ quay 1 vòng hết bao nhiêu giây.  
 Từ hằng số của công tơ bằng 400 vòng/1000wh ta tính được công suất tiêu thụ của MBA khi không tải.

$$P_o = \frac{1000 \cdot 3600}{600 \cdot \text{số giây ứng với 1 vòng}}$$

- Dựa vào kết quả đo được tính các thông số MBA

□

Kết quả đo và tính ghi vào bảng 8.

Bảng 8

| $U_{10}$ | $U_{20}$ | $I_{10}$ | $P_0$ | K | $R_0$ | $X_0$ | $\cos\varphi_0$ |
|----------|----------|----------|-------|---|-------|-------|-----------------|
|          |          |          |       |   |       |       |                 |

$I_{10}$  bằng khoảng  $(2\% \div 10\%) I_{1dm}$

#### b. Thí nghiệm ngắn mạch

Mắc sơ đồ mạch điện máy biến áp ở chế độ ngắn mạch

- Xoay núm vặn của biến áp tự ngẫu về 0 (ngược chiều kim đồng hồ).
- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện, đóng cầu dao CD cung cấp điện cho BAT, xoay núm vặn của BAT theo chiều kim đồng hồ để tăng điện áp ngõ ra sao cho dòng điện trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp đạt giá trị định mức:

$$I_{1dm} = I_{1ng} = 8A \quad (\text{giá trị này đọc trên đồng hồ } A_1)$$

$$I_{2dm} = I_{2ng} = 5A \quad (\text{giá trị này đọc trên đồng hồ } A_2)$$

Đo các số liệu rồi ghi vào bảng 9.

Dựa vào kết quả đo, tính các thông số ngắn mạch rồi ghi vào bảng 9.

Công thức tính các thông số ngắn mạch.

$$U_{1ng} \% = \frac{U_{1ng}}{U_{1dm}} 100; R_{ng} = \frac{P_{ng}}{I_{1ng}^2}; Z_{ng} = \frac{U_{ng}}{I_{ng}}, X_{ng} = \sqrt{Z_{ng}^2 - R_{ng}^2}; \cos\varphi_{ng} = \frac{P_{ng}}{U_{1ng} I_{1ng}}$$

Áp dụng công thức trên để tính  $P_{ng}$

Bảng 9

| Kết quả đo |           |           |           |          | Kết quả tính |          |          |          |                    |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------|----------|----------|----------|--------------------|
| $U_{1ng}$  | $U_{2ng}$ | $I_{1ng}$ | $I_{2ng}$ | $P_{ng}$ | $U_{1ng} \%$ | $Z_{ng}$ | $R_{ng}$ | $X_{ng}$ | $\cos\varphi_{ng}$ |
|            |           |           |           |          |              |          |          |          |                    |

#### c. Thí nghiệm có tải

- Mắc sơ đồ mạch điện máy biến áp ở chế độ ngắn mạch
- Xoay núm vặn BAT về vị trí 0.

- Sau khi giáo viên kiểm tra xong, đóng cầu dao CD cung cấp điện cho BAT
- Vận núng vận của BAT theo chiều kim đồng hồ khi  $V_2 = 220V$
- Giữ nguyên núng vận của BAT
- Thay đổi  $R_{PT}$  bằng cách thay đổi số lượng bóng đèn (đóng công tắc K)
- Các số liệu đo được ghi vào bảng 10.
- Dựa vào kết quả đo được tính các thông số còn lại rồi ghi vào bảng 10.
- Công thức tính các thông số có tải :

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi$$

$$\eta = P_2/P_1 \cdot 100\%$$

**Bảng 10**

| Kết quả đo |       |       |       | Kết quả tính |       |       |          |
|------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|----------|
| $R_{PT}$   | $U_1$ | $U_2$ | $I_1$ | $I_2$        | $P_1$ | $P_2$ | $\eta\%$ |
| 0          |       |       |       |              |       |       |          |
| 3 bóng     |       |       |       |              |       |       |          |
| 5 bóng     |       |       |       |              |       |       |          |
| 8 bóng     |       |       |       |              |       |       |          |
| 11 bóng    |       |       |       |              |       |       |          |
| 15 bóng    |       |       |       |              |       |       |          |
|            |       |       |       |              |       |       |          |

Theo kết quả ở bảng 10, sinh viên phải dựng đặc tính ngoài của MBA, từ đó đưa ra nhận xét về chất lượng của MBA.

Nhận xét của sinh viên:

Sinh viên phải vẽ đường đặc tính ngoài

## 11.4. THÍ NGHIỆM 4: ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

### 11.4.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

1. Tìm hiểu cấu tạo của động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc ba pha.
2. Kiểm tra sơ bộ chất lượng một động cơ, xác định các đầu dây ra để biết cách đấu một động cơ 3 pha
3. Tập đấu dây, khởi động và đổi chiều quay động cơ ở hai cách đấu sao và đấu tam giác

b. Dụng cụ thí nghiệm

**Bảng 11**

| Stt | Tên thiết bị                | Kí hiệu | Quy cách          | Số lượng |
|-----|-----------------------------|---------|-------------------|----------|
| 1   | Nguồn 220V xoay chiều       | 220V~   |                   | 1        |
| 2   | Động cơ không đồng bộ 3 pha | ĐC3     | 220V/380V/ 0,18KW | 1        |
| 3   | Vôn mét                     | $V_1$   | 0÷450 V           | 1        |
| 4   | Vôn mét                     | V       | 0÷15 V            | 1        |

|    |                  |                |                |   |
|----|------------------|----------------|----------------|---|
| 5  | Megaohm          | MΩ             |                | 1 |
| 6  | Đồng hồ vạn năng | VOM            |                | 1 |
| 7  | Cầu dao đảo      | K <sub>2</sub> | 30 A           | 1 |
| 8  | Ampe mét         | A <sub>1</sub> |                | 1 |
| 9  | Watt mét         | KW             |                | 1 |
| 10 | Biến áp tự ngẫu  | BAT            | 220V/250V/6.6A | 1 |

### 11.4.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

#### a. Tìm hiểu cấu tạo động cơ

Mở nắp động cơ xem cấu tạo dây quấn của stato và rôto lồng sóc

#### b. Kiểm tra cơ khí

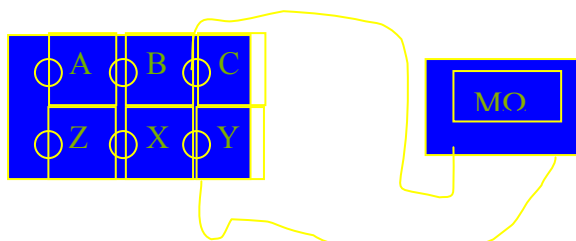
Dùng tay quay trục động cơ xem có bị kẹt trục, ổ bi có bị rơ, mòn hay không ?

#### c. Kiểm tra dây quấn

Dùng 1 đầu Megaohm nối lần lượt vào từng đầu dây stato (A, B, C) của động cơ, đầu còn lại của Megaohm cho tiếp xúc với vỏ máy (hình 11.4.2.a)

Nếu điện trở cách điện của dây quấn stato với vỏ động cơ  $R_{cd} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$  thì đạt yêu cầu.

Nếu  $R_{cd} = 0 \Omega$ , dây quấn stato chạm vỏ phải sửa chữa.



Hình 11.4.2.a

#### d. Đo điện trở ba cuộn dây stato

Dùng đồng hồ DVM ( đồng hồ số) để ở giai đo điện trở để đo điện trở ba cuộn dây AX, BY, CZ.

Ghi các giá trị điện trở của ba cuộn dây stato:  $R_{AX} = R_{BY} = R_{CZ} =$

Nếu  $R_{AX} = R_{BY} = R_{CZ}$  thì tốt

Nếu  $R_{AX} \neq R_{BY} \neq R_{CZ}$  thì dây quấn stato bị chạm, có sự cố, phải sửa chữa.

Chú ý :

Hai đầu dây của một cuộn có một giá trị điện trở nào đó ( khoảng vài ôm tới vài chục ôm). còn hai đầu dây khác cuộn có điện trở bằng  $\infty$ .

Ví dụ AY, BX, CX ... có điện trở bằng  $\infty$

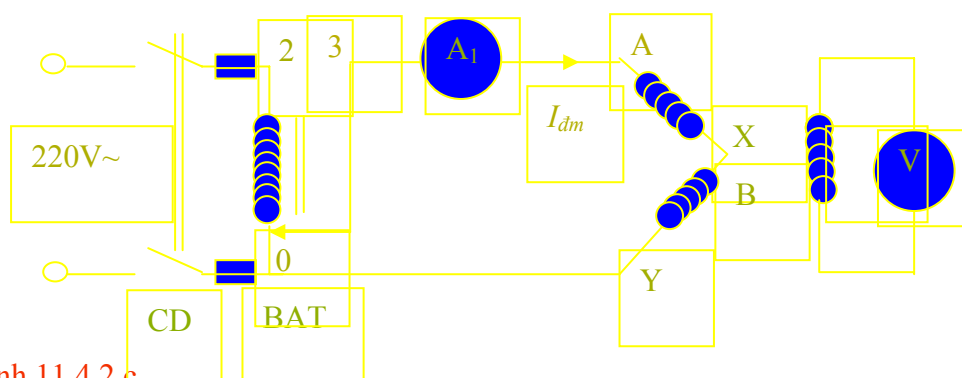
#### e. Xác định các đầu đầu A, B, C và các đầu cuối X, Y, Z của ba cuộn dây stato

Khi đặt vào 2 cuộn dây stato của động cơ một điện áp  $U_{dm}$  mà rô to đứng yên thì tương đương với hiện tượng ngắn mạch động cơ, dòng điện trong dây quấn rất lớn sẽ làm cháy động cơ, do đó phải hạn chế điện áp đặt vào động cơ sao cho dòng điện I qua động cơ là  $I_{dm}$  ( trong thí nghiệm này thì  $I_{dm} = 0,4A$ ).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch điện, xoay núm vặn của BAT về 0

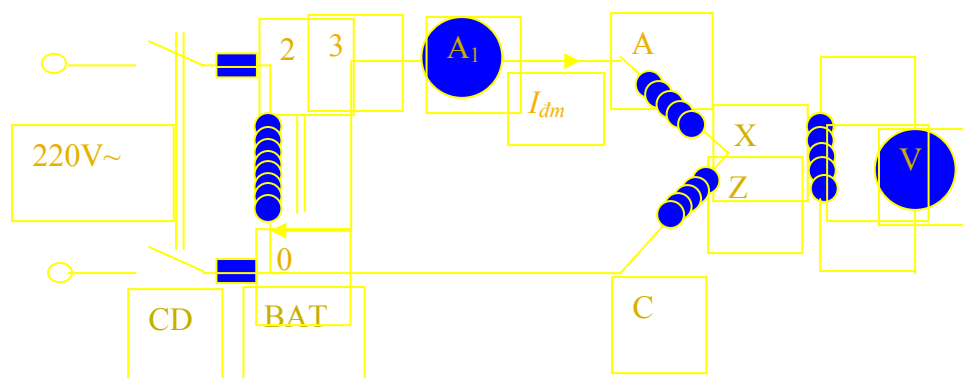
( vận ngược chiều kim đồng hồ).

- Đóng cầu dao CD cung cấp điện cho BAT.
- Chính núm vận BAT theo chiều kim đồng hồ sao cho dòng điện qua ampe kế  $A_1$  là 0,4A.
- Nếu kim lệch phải và vôn kế chỉ vài vôn thì các đầu dây trên sơ đồ là đúng (X nối B: cuối cuộn này nối đầu cuộn kia )
- Nếu vôn kế chỉ 0V thì các đầu dây trên sơ đồ là X nối Y, cuối cuộn này nối cuối cuộn kia như hình 11.4.2.c



Hình 11.4.2.c

- Khi đã xác định AX, BY đổi vị trí cuộn BY và cuộn CZ để xác định C,Z như hình 11.4.2.d



Hình 11.4.2.d

f. Cho động cơ chạy thử

Mắc mạch điện theo sơ đồ hình 11.4.2.e ( động cơ đấu sao)

Ghi các giá trị :  $I_A = I_B = I_C =$

Nếu  $I_A = I_B = I_C$  và động cơ quay không có tiếng ù là tốt.

Chỉ cho phép  $I_A, I_B, I_C$  lệch nhau 15%

Dòng điện không tải  $I_0$  tính theo phần trăm  $I_{dm}$  của động cơ 3 pha tra theo bảng 12

Bảng 12

| $P_{dm}$ (KW)      | $I_0$ |       |        |       |
|--------------------|-------|-------|--------|-------|
| $n_{db}$ (vòng/ph) | 3000  | 1500  | 1000   | 750   |
| 0,1 - 0,5          | 55(%) | 70(%) | 80 (%) | 90(%) |

|           |    |    |    |    |
|-----------|----|----|----|----|
| 0,51 – 1  | 40 | 55 | 60 | 65 |
| 1,1 – 5   | 35 | 50 | 55 | 60 |
| 5,1 – 10  | 25 | 45 | 50 | 55 |
| 10,1 – 25 | 20 | 40 | 45 | 40 |
| 25,1 – 50 | 18 | 35 | 40 | 45 |

### g. Khởi động trực tiếp và đảo chiều quay động cơ

#### 1. Khởi động trực tiếp

- Mắc sơ đồ mạch điện đảo chiều quay động cơ

Yêu cầu giáo viên kiểm tra mạch điện.

Chú ý:

Cầu dao đảo  $K_2$  có 2 vị trí: Y và  $\Delta$

$I_{kd}$  và  $I_0$  bằng ampe kế  $A_2$  nhưng tại các thời điểm khác nhau.

- Đóng  $K_2$  sang vị trí Y, đóng cầu dao CD, lấy số liệu ghi vào bảng 13
- Ngắt cầu dao CD để động cơ ngừng quay ( $n = 0$ )
- Đóng  $K_2$  sang vị trí  $\Delta$ , đóng cầu dao CD, lấy số liệu ghi vào bảng 13

Chú ý :

Dòng điện khởi động ( $I_{kd}$ ) và công suất khởi động ( $P_{kd}$ ) là dòng điện và công suất ngay tại thời điểm vừa đóng cầu dao, cần quan sát ngay.

Còn  $I_0$  và  $P_0$  là các giá trị khi động cơ đạt tốc độ định mức và không tải.

Bảng 13

| Chế độ khởi động sao sang tam giác | $I_{kd}$ | $I_0$ | $P_{kd}$ | $P_0$ |
|------------------------------------|----------|-------|----------|-------|
| Nối hình sao                       |          |       |          |       |
| Nối hình tam giác                  |          |       |          |       |

#### 2. Đảo chiều động cơ

Đổi vị trí 2 pha A, B, giữ nguyên pha C

Phần nhận xét của sinh viên:

#### h . Khởi động sao – tam giác ( Y/ $\Delta$ )

Khởi động Y/ $\Delta$  để giảm dòng khởi động của động cơ

- Giữ nguyên sơ đồ mạch điện
- Đóng  $K_2$  sang vị trí Y.
- Đóng CD cung cấp điện cho động cơ.
- Ghi số liệu vào hàng 1 bảng 14
- Động cơ đang quay chuyển  $K_2$  sang vị trí  $\Delta$
- Ghi số liệu vào hàng 2 bảng 14

Bảng 14

| Chế độ khởi động | $I_{kd}$ | $I_0$ | $P_{kd}$ | $P_0$ |
|------------------|----------|-------|----------|-------|
| Nối sao          |          |       |          |       |
| Nối tam giác     |          |       |          |       |

## 11.5. THÍ NGHIỆM 5: ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

### 11.5.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

#### a. Mục đích thí nghiệm

1. Tìm hiểu cấu tạo của động cơ không đồng bộ một pha .
2. Kiểm tra sơ bộ chất lượng một động cơ, xác định các đầu dây ra để biết cách đấu một động cơ 1 pha
3. Tập đấu dây, khởi động và đổi chiều quay động cơ

#### b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 11

| Stt | Tên thiết bị                | Kí hiệu        | Quy cách          | Số lượng |
|-----|-----------------------------|----------------|-------------------|----------|
| 1   | Nguồn 220V xoay chiều       | 220V~          |                   | 1        |
| 2   | Động cơ không đồng bộ 1 pha | ĐC 1~          | 220V/110V/ 0,75KW | 1        |
| 3   | Vôn mét                     | V <sub>1</sub> | 0÷ 450 V          | 1        |
| 4   | Vôn mét                     | V              | 0÷ 15 V           | 1        |
| 5   | Megaohm                     | MΩ             |                   | 1        |
| 6   | Đồng hồ vạn năng            | VOM            |                   | 1        |
| 7   | Ampe mét                    |                |                   | 1        |

### 11.5.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

#### a. Tìm hiểu cấu tạo động cơ

Mở nắp động cơ xem cấu tạo dây quấn của stato và rôto lồng sóc

#### b. Kiểm tra cơ khí

Dùng tay quay trục động cơ xem có bị kẹt trục, ổ bi có bị rơ, mòn hay không ?

#### c. Kiểm tra sự cách điện của dây quấn stato với vỏ động cơ.

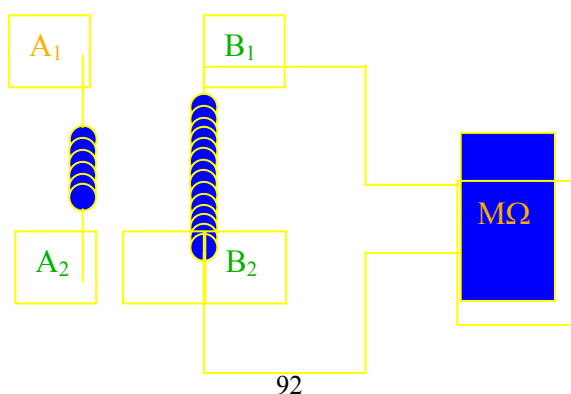
Dùng 1 đầu Megaohm nối lần lượt vào từng đầu dây stato ( A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>) của động cơ, đầu còn lại của Megaohm cho tiếp xúc với vỏ máy .

Nếu điện trở cách điện của dây quấn stato với vỏ động cơ  $R_{cd} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$  thì đạt yêu cầu.

Nếu  $R_{cd} = 0\Omega$ , dây quấn stato chạm vỏ phải sửa chữa.

#### d. Đo điện trở cuộn chạy ( pha chính) và cuộn đề ( pha phụ)

Mắc mạch điện như hình 11.5.2.b



Hình 11.5.2.b

Bật công tắc của DVM ( đồng hồ số) tới vị trí  $\Omega$

Đo điện trở hai cuộn dây  $A_1A_2$  và  $B_1B_2$ , hình 11.5.2.b đang đo điện trở của  $B_1B_2$

Ghi giá trị của chúng vào bảng 1 và kết luận cuộn nào là cuộn chạy, cuộn nào là cuộn đề

Bảng 1

|               | Giá trị điện trở | Kết luận |
|---------------|------------------|----------|
| Cuộn $A_1A_2$ |                  |          |
| Cuộn $B_1B_2$ |                  |          |

Chú ý: Điện trở cuộn đề lớn hơn điện trở cuộn chạy.

Đo điện áp nguồn, điện áp của tụ điện, điện áp của cuộn chạy và cuộn đề. Ghi các giá trị đo vào bảng 2

Bảng 2

| Điện áp       | Giá trị | Ghi chú |
|---------------|---------|---------|
| Tụ điện C     |         |         |
| Cuộn đề       |         |         |
| Cuộn chạy     |         |         |
| Điện áp nguồn |         |         |

e. Đảo chiều động cơ 1 pha.

Muốn đảo chiều động cơ 1 pha ta đảo đầu cuộn chạy hoặc đảo đầu cuộn đề

Quan sát chiều quay của động cơ

Động cơ có đảo chiều quay không?      Có                      Không



































