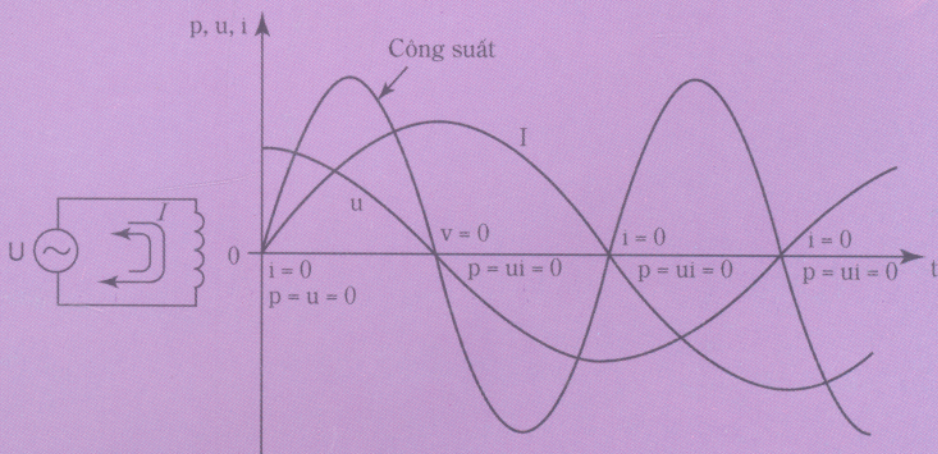


VỤ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP - DẠY NGHỀ



SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

PGS. TS. ĐẶNG VĂN ĐÀO (chủ biên) - PGS. TS. LÊ VĂN DOANH

GIÁO TRÌNH **KỸ THUẬT ĐIỆN**

Sách dùng cho các trường đào tạo hệ THCN

(Tái bản lần thứ hai)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Lời giới thiệu

Việc tổ chức biên soạn và xuất bản một số giáo trình phục vụ cho đào tạo các chuyên ngành Điện - Điện tử, Cơ khí - Động lực ở các trường THCN - DN là một sự cố gắng lớn của Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề và Nhà xuất bản Giáo dục nhằm từng bước thống nhất nội dung dạy và học ở các trường THCN trên toàn quốc.

Nội dung của giáo trình đã được xây dựng trên cơ sở kế thừa những nội dung được giảng dạy ở các trường, kết hợp với những nội dung mới nhằm đáp ứng yêu cầu nâng cao chất lượng đào tạo phục vụ sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa. Đề cương của giáo trình đã được Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề tham khảo ý kiến của một số trường như : Trường Cao đẳng Công nghiệp Hà Nội, Trường TH Việt - Hung, Trường TH Công nghiệp II, Trường TH Công nghiệp III v.v... và đã nhận được nhiều ý kiến thiết thực, giúp cho tác giả biên soạn phù hợp hơn.

Giáo trình do các nhà giáo có nhiều kinh nghiệm giảng dạy ở các trường Đại học, Cao đẳng, THCN biên soạn. Giáo trình được biên soạn ngắn gọn, dễ hiểu, bổ sung nhiều kiến thức mới và biên soạn theo quan điểm mở, nghĩa là, để cập những nội dung cơ bản, cốt yếu để tùy theo tính chất của các ngành nghề đào tạo mà nhà trường tự điều chỉnh cho thích hợp và không trái với quy định của chương trình khung đào tạo THCN.

Tuy các tác giả đã có nhiều cố gắng khi biên soạn, nhưng giáo trình chắc không tránh khỏi những khiếm khuyết. Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề đề nghị các trường sử dụng những giáo trình xuất bản lần này để bổ sung cho nguồn giáo trình đang rất thiếu hiện nay, nhằm phục vụ cho việc dạy và học của các trường đạt chất lượng cao hơn. Giáo trình này cũng rất bổ ích đối với đội ngũ kỹ thuật viên, công nhân kỹ thuật để nâng cao kiến thức và tay nghề cho mình.

Hy vọng nhận được sự góp ý của các trường và bạn đọc để những giáo trình được biên soạn tiếp hoặc lần tái bản sau có chất lượng tốt hơn. Mọi góp ý xin gửi về NXB Giáo dục - 81 Trần Hưng Đạo - Hà Nội.

VỤ THCN - DN

Mở đầu

Giáo trình KỸ THUẬT ĐIỆN được biên soạn theo đề cương do vụ THCN - DN, Bộ Giáo dục & Đào tạo xây dựng và thông qua. Nội dung được biên soạn theo tinh thần ngắn gọn, dễ hiểu. Các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ logic chặt chẽ. Tuy vậy, giáo trình cũng chỉ là một phần trong nội dung của chuyên ngành đào tạo cho nên người dạy, người học cần tham khảo thêm các giáo trình có liên quan đối với ngành học để việc sử dụng giáo trình có hiệu quả hơn.

Khi biên soạn giáo trình, chúng tôi đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học và phù hợp với đối tượng sử dụng cũng như cố gắng gắn những nội dung lý thuyết với những vấn đề thực tế thường gặp trong sản xuất, đời sống để giáo trình có tính thực tiễn cao.

Nội dung của giáo trình được biên soạn với dung lượng 60 tiết, gồm 8 chương :

Chương 1. Mạch điện một chiều ; Chương 2. Điện từ ; Chương 3. Dòng điện xoay chiều hình sin ; Chương 4. Mạch điện ba pha ; Chương 5. Chính lưu và ổn áp ; Chương 6. Các thiết bị đóng cắt và bảo vệ mạch điện ; Chương 7. Chiều sáng ; Chương 8. Tính toán mạng điện.

Trong quá trình sử dụng, tùy theo yêu cầu cụ thể có thể điều chỉnh số tiết trong mỗi chương. Trong giáo trình, chúng tôi không đề ra nội dung thực tập của từng chương vì trang thiết bị phục vụ cho thực tập của các trường không đồng nhất. Vì vậy, căn cứ vào trang thiết bị đã có của từng trường và khả năng tổ chức cho học sinh thực tập ở các xí nghiệp bên ngoài mà trường xây dựng thời lượng và nội dung thực tập cụ thể - Thời lượng thực tập tối thiểu nói chung cũng không ít hơn thời lượng học lý thuyết của mỗi môn.

Giáo trình được biên soạn cho đối tượng là học sinh THCN, Công nhân lành nghề bậc 3/7 và nó cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên Cao đẳng kỹ thuật cũng như Kỹ thuật viên đang làm việc ở các cơ sở kinh tế nhiều lĩnh vực khác nhau.

Mặc dù đã cố gắng nhưng chắc chắn không tránh khỏi hết khiếm khuyết. Rất mong nhận được ý kiến đóng góp của người sử dụng để lần tái bản sau được hoàn chỉnh hơn. Mọi góp ý xin được gửi về Nhà XBGD - 81 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

TÁC GIẢ

Chương 1

MẠCH ĐIỆN MỘT CHIỀU

1.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dòng điện một chiều có trị số và chiều không đổi theo thời gian.

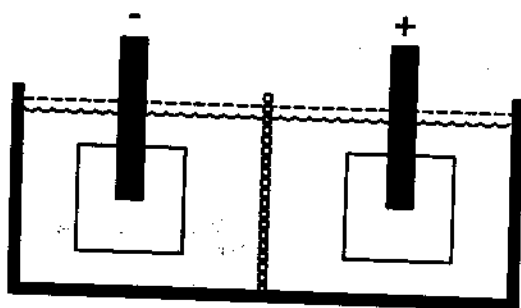
1. Nguồn điện một chiều

Các loại nguồn điện một chiều :

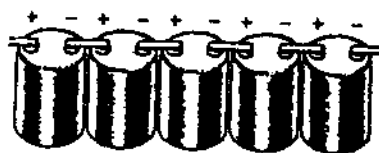
a. Pin, acquy

Biến đổi hoá năng thành điện năng (hình 1.1).

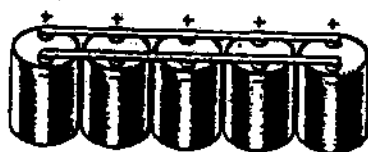
Điện áp giữa 2 điện cực của một phân tử (pin, acquy) không lớn, vì thế để có điện áp lớn, ta nối tiếp các phân tử với nhau (hình 1.2a), để có dòng điện lớn, ta nối song song các phân tử với nhau (hình 1.2b).



Hình 1.1. Nguồn điện hoá học



a)



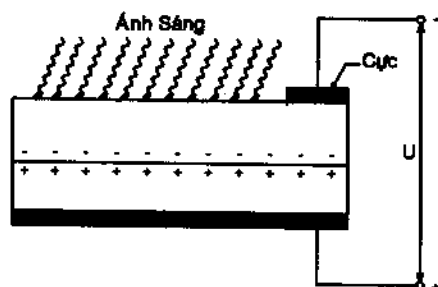
b)

Hình 1.2. Nối các pin, acquy

b. Pin mặt trời

Pin mặt trời làm việc dựa vào hiệu ứng quang điện, biến đổi trực tiếp quang năng thành điện năng.

Dưới tác dụng của ánh sáng, hình thành sự phân bố điện tích khác nhau ở lớp tiếp xúc giữa 2 chất bán dẫn khác nhau sẽ tạo ra điện áp giữa 2 cực (hình 1.3).



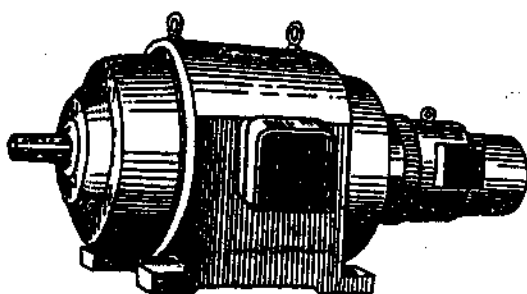
Hình 1.3. Cấu tạo pin mặt trời

c. Máy phát điện một chiều

Máy phát điện biến đổi cơ năng đưa vào trục của máy thành điện năng lấy ra ở các cực của dây quấn (hình 1.4).

d. Bộ nguồn điện tử công suất

Bộ nguồn điện tử công suất không tạo ra điện năng mà chỉ biến đổi điện áp xoay chiều (lấy từ lưới điện) thành điện áp một chiều lấy ra ở 2 cực (hình 1.5).



Hình 1.4. Hình dáng của một máy phát điện



Hình 1.5. Bộ nguồn biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều

2. Phụ tải

Phụ tải (tải) là các thiết bị điện tiêu thụ điện năng để biến đổi thành các dạng năng lượng khác như cơ năng (động cơ điện), nhiệt năng (bàn là điện, bếp điện), quang năng (đèn điện)...v.v..

3. Mạch điện

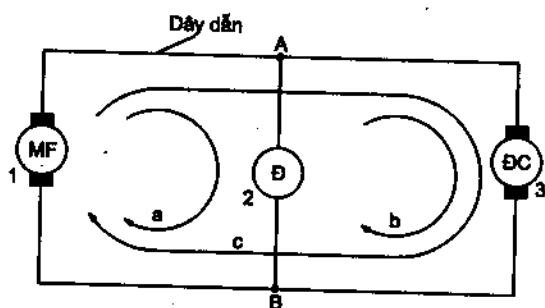
Mạch điện là tập hợp các thiết bị điện (nguồn, tải, dây dẫn) nối với nhau trong đó dòng điện có thể chạy qua (hình 1.6).

Mạch điện phức tạp có nhiều nhánh, nhiều mạch vòng và nhiều nút.

Nhánh. Nhánh là bộ phận của mạch điện gồm có các phần tử nối tiếp nhau trong đó có cùng dòng điện chạy qua.

Nút. Nút là chỗ gặp nhau của các nhánh (từ 3 nhánh trở lên).

Mạch vòng. Mạch vòng là lối đi khép kín qua các nhánh.



Hình 1.6. Nút và vòng của mạch điện.

Máy phát (MF) cung cấp điện cho đèn (Đ) và động cơ điện (ĐC) gồm có 3 nhánh (1,2,3), 2 nút (A, B) và 3 mạch vòng (a, b, c).

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

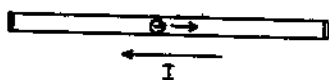
1. Dòng điện

Dòng điện i có trị số bằng tốc độ biến thiên của điện lượng Q qua tiết diện ngang của vật dẫn.

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

Đơn vị là ampe, A.

Người ta quy ước chiều của dòng điện chạy trong vật dẫn ngược với chiều chuyển động của điện tử (hình 1.7).



Hình 1.7

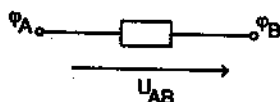
2. Điện áp

Tại mỗi điểm trong mạch điện có một điện thế φ . Hiệu điện thế giữa hai điểm gọi là điện áp U , đơn vị là von, V.

Điện áp giữa 2 điểm A và B (hình 1.8) là :

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

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



Hình 1.8

Điện áp giữa 2 cực của nguồn điện khi hở mạch ngoài (dòng điện $I = 0$) được gọi là sức điện động E .

3. Công suất

Công suất của nguồn sức điện động là :

$$P = EI \quad (1-3)$$

Công suất của mạch ngoài là :

$$P = UI \quad (1-4)$$

Đơn vị của công suất là oát, W.

1.3. MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN MỘT CHIỀU

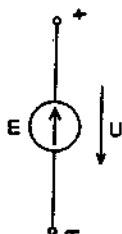
Khi tính toán, mạch điện thực được thay thế bằng một sơ đồ gọi là mô hình mạch điện, trong đó các phần tử thực được thay thế bằng các phần tử lý tưởng E, J, R

1. Sức điện động E

Sức điện động E là phần tử lý tưởng, có trị số bằng điện áp U đo được giữa 2 cực của nguồn khi hở mạch ngoài. Chiều của sức điện động quy ước từ điện thế thấp đến điện thế cao (cực âm tới cực dương) (hình 1.9).

Chiều của điện áp quy ước từ điện thế cao đến điện thế thấp, do đó nếu chiều vẽ như hình 1.9 thì:

$$U = E \quad (1-5)$$



Hình 1.9. Ký hiệu nguồn sức điện động

2. Nguồn dòng điện J

Nguồn dòng điện J là phần tử lý tưởng có trị số bằng dòng điện ngắn mạch giữa 2 cực của nguồn (hình 1.10).

3. Điện trở R

Điện trở R đặc trưng cho một vật dẫn về mặt cản trở dòng điện chạy qua. Về hiện tượng năng lượng, điện trở R đặc trưng cho tiêu tán, biến đổi điện năng tiêu thụ thành các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, quang năng...v.v.. (hình 1.11).



Hình 1.10. Ký hiệu nguồn dòng



Hình 1.11 Ký hiệu điện trở

Công suất của điện trở

$$P = RI^2 \quad (1-6)$$

4. Thiết lập mô hình mạch điện

a. Nguồn điện

Sơ đồ thay thế của nguồn điện gồm sức điện động E nối tiếp với điện trở trong R_n (hình 1.12).

Khi giải mạch điện có các phần tử tranzito, nhiều khi nguồn điện có sơ đồ thay thế là nguồn dòng điện

$$J = \frac{E}{R_n} \text{ mắc song song với điện trở } R_n$$

(hình 1.13).

b. Sơ đồ thay thế tải

- Các tải như động cơ điện một chiều, acquy ở chế độ nạp điện được thay thế bằng sơ đồ gồm sức điện động E nối tiếp với điện trở trong R_n (hình 1.14), trong đó chiều E ngược với chiều I .

- Các tải như bàn là điện, bếp điện, bóng đèn...v.v.. được thay thế bằng điện trở R của chúng (hình 1.15).

Ví dụ 1: Một nguồn điện một chiều có sức điện động $E = 100V$, điện trở trong $R_n = 1\Omega$ cung cấp điện cho tải có $R_t = 24\Omega$.

Thiết lập mô hình mạch điện và tính dòng điện tải I_t .

Lời giải : Mô hình mạch điện theo E vẽ trên hình 1.16.

Dòng điện tải I_t :

$$I_t = \frac{E}{R_n + R_t} = \frac{100}{1 + 24} = 4A$$

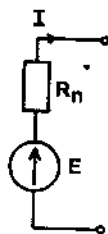
Có thể giải bài toán theo mô hình nguồn dòng điện như sau:

Mô hình mạch điện theo nguồn dòng điện :

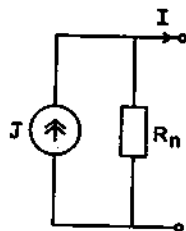
$$J = \frac{E}{R_n} = \frac{100}{1} = 100A$$

vẽ trên hình 1.17.

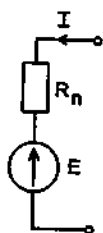
$$\text{Dòng điện tải : } I_t = 100 \cdot \frac{1}{(1 + 24)} = 4A$$



Hình 1.12. Sơ đồ thay thế nguồn E



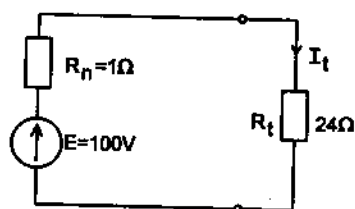
Hình 1.13. Sơ đồ thay thế bằng nguồn dòng



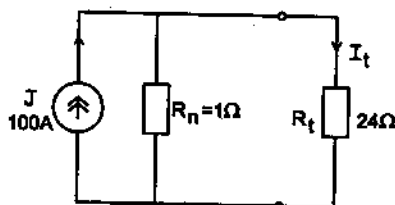
Hình 1.14



Hình 1.15



Hình 1.16



Hình 1.17

1.4. CÁC ĐỊNH LUẬT CỦA MẠCH ĐIỆN

Các định luật của mạch điện đã học ở vật lý, ở đây nhấn mạnh áp dụng và thực hành và vận dụng các biểu thức vào tính toán mạch điện.

1. Định luật Ôm

a. Nhánh thuần điện trở R

Xét nhánh thuần điện trở (hình 1.18)

Biểu thức tính điện áp trên điện trở :

$$U = RI \quad (1-7)$$

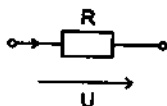
Biểu thức tính dòng điện qua điện trở:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

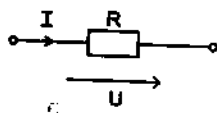
U - tính bằng V

I - tính bằng A

R - tính bằng Ω



Hình 1.18



Hình 1.19

Ví dụ 2 : Trong mạch điện hình 1.19, biết $I = 210\text{mA}$; $R = 100\Omega$. Tính điện áp trên điện trở U .

Lời giải :

Điện áp trên điện trở:

$$U = RI = 100 \cdot 0,21 = 21 \text{ V}$$

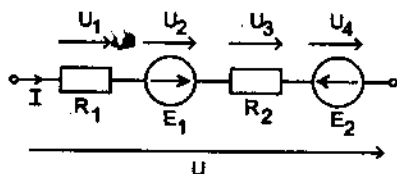
b. Nhánh có sức điện động

E và điện trở R

Xét nhánh có E , R (hình 1.20)

Biểu thức tính điện áp U :

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \\ &= R_1 I - E_1 + R_2 I + E_2 \\ &= (R_1 + R_2) I - (E_1 - E_2) \end{aligned}$$



Hình 1.20

$$\text{Vậy:} \quad U = (\Sigma R) I - \Sigma E \quad (1-9)$$

Trong biểu thức (1-9), quy ước dấu như sau:

Sức điện động E và dòng điện I có chiều trùng với chiều điện áp U sẽ lấy dấu dương, ngược lại sẽ lấy dấu âm.

Biểu thức tính dòng điện :

$$I = \frac{U + \Sigma E}{\Sigma R} \quad (1-10)$$

Trong biểu thức (1-10) quy ước dấu như sau :

Sức điện động E và điện áp U có chiều trùng với chiều dòng điện sẽ lấy dấu dương, ngược lại sẽ lấy dấu âm.

Ví dụ 3 : Cho mạch điện hình 1.21.

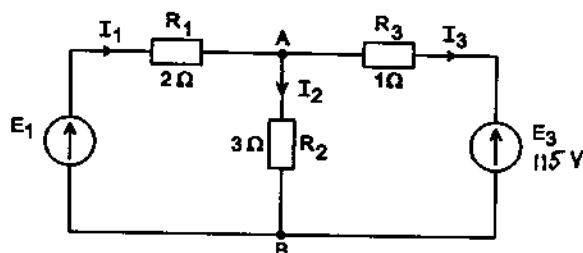
Biết $E_1 = 100V$; $I_1 = 5A$

Tính điện áp U_{AB} và dòng điện các nhánh I_2 , I_3 .

Lời giải:

Tính điện áp U_{AB} :

$$U_{AB} = E_1 - R_1 I_1 \\ = 100 - 2.5 = 90V$$



Hình 1.21

Dòng điện I_2 :

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{90}{3} = 30A$$

Dòng điện I_3 :

$$I_3 = \frac{U_{AB} - E_3}{R_3} = \frac{90 - 115}{1} = -25A$$

Dòng điện $I_3 < 0$, chiều thực của dòng điện I_3 ngược với chiều đã vẽ trên hình 1.21.

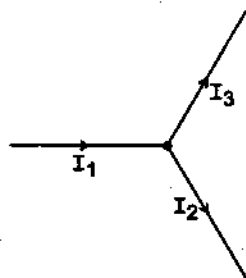
2. Định luật Kiêcschôp

a. Định luật Kiêcschôp I

Định luật này cho ta quan hệ giữa các dòng điện tại một nút, được phát biểu như sau :

Tổng đại số những dòng điện ở một nút bằng không.

Trong đó quy ước dòng điện đi tới nút lấy dấu dương, dòng điện rời khỏi nút lấy dấu âm (hình 1.22).



Hình 1.22. Dòng điện nút

$$\Sigma I_{\text{nút}} = 0 \quad (1-11)$$

Ở hình 1.22 thì :

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) = 0$$

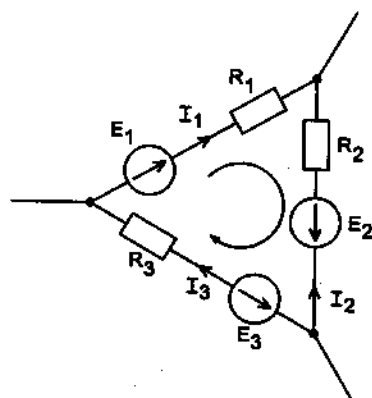
b. Định luật Kiếcschốp 2

Định luật này cho ta quan hệ giữa sức điện động, dòng điện và điện trở trong một mạch vòng khép kín, được phát biểu như sau :

Đi theo một mạch vòng khép kín theo một chiều tùy ý chọn, *tổng đại số những sức điện động bằng tổng đại số các điện áp rơi trên các điện trở của mạch vòng.*

$$\sum RI = \sum E \quad (1-12)$$

Quy ước dấu : các sức điện động, dòng điện có chiều trùng chiều mạch vòng lấy dấu dương, ngược lại lấy dấu âm.



Ở mạch vòng hình 1.23 :

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_1 + E_2 - E_3$$

Hình 1.23. Mạch vòng dòng điện

Ví dụ 4 : Tính dòng điện I_3 và các sức điện động E_1 , E_3 trong mạch điện hình 1.24. Cho biết $I_2 = 10A$; $I_1 = 4A$; $R_1 = 1\Omega$; $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 5\Omega$.

Lời giải :

Áp dụng định luật Kiếcschốp 1 tại nút A.

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

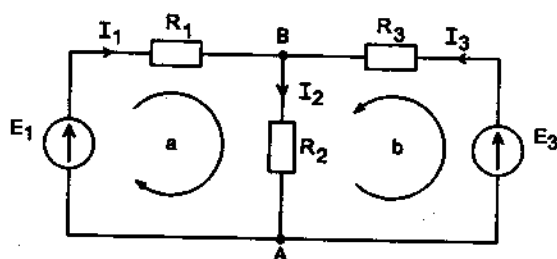
$$I_3 = I_2 - I_1 = 10 - 4 = 6A$$

Áp dụng định luật Kiếcschốp 2 cho mạch vòng a :

$$\begin{aligned} E_1 &= R_1 I_1 + R_2 I_2 \\ &= 1.4 + 2.10 = 24V \end{aligned}$$

mạch vòng b :

$$E_3 = R_3 I_3 + R_2 I_2 = 5.6 + 2.10 = 50V$$



Hình 1.24. Mạch điện cho ví dụ 4

1.5. CÁC BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG

Biến đổi tương đương nhằm mục đích đưa mạch điện phức tạp về dạng đơn giản hơn. Khi biến đổi tương đương, dòng điện, điện áp tại các bộ phận không bị biến đổi vẫn giữ nguyên. Dưới đây đưa ra một số biến đổi tương đương thường gặp.

1. Các điện trở mắc nối tiếp

Điện trở tương đương R_{td} của các điện trở R_1, R_2, R_n mắc nối tiếp (hình 1.25) là:

$$R_{td} = R_1 + R_2 + \dots R_n \quad (1-13)$$

2. Các điện trở mắc song song

Điện trở tương đương R_{td} của các điện trở $R_1, R_2 \dots R_n$ mắc song song (hình 1.26) tính như sau :

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_n} \quad (1-14)$$

Khi chỉ có 2 điện trở R_1, R_2 mắc song song điện trở tương đương của chúng.

$$R_{td} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-15)$$

Ví dụ 5 : Tính dòng điện I trong mạch điện hình 1.27.

Lời giải:

Trước hết tính điện trở tương đương R_{23} của 2 điện trở R_2 và R_3 nối song song.

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{18 \cdot 2}{18 + 2} = 1,8\Omega$$

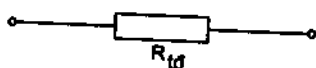
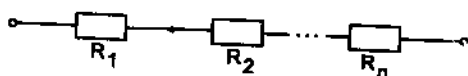
Sau khi tính được R_{23} ta có mạch thay thế đơn giản hơn (hình 1.27b).

Các điện trở R_1, R_{23}, R_4 mắc nối tiếp, điện trở tương đương R_{ab} của mạch.

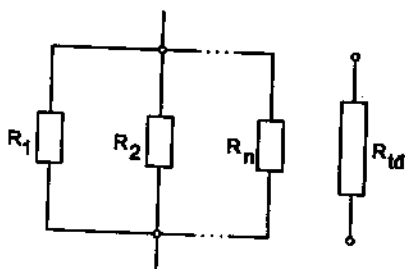
$$R_{ab} = R_1 + R_{23} + R_4 = 2,2 + 1,8 + 6 = 10\Omega$$

Dòng điện I là:

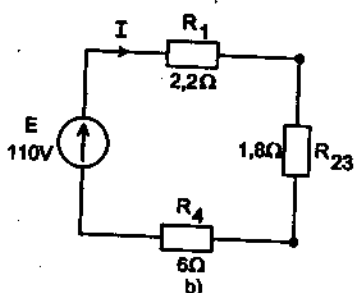
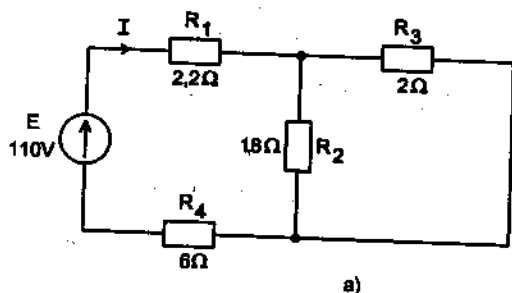
$$I = \frac{E}{R_{ab}} = \frac{110}{10} = 11A$$



Hình 1.25. Điện trở tương đương của mạch nối tiếp



Hình 1.26. Điện trở tương đương của mạch song song



Hình 1.27

3. Biến đổi sao (Y) thành tam giác (Δ) và ngược lại

a. Biến đổi sao thành tam giác $Y \rightarrow \Delta$

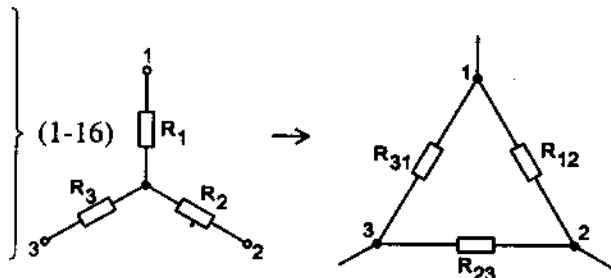
Giả thiết có 3 điện trở R_1, R_2, R_3 nối hình sao. Biến đổi hình sao thành các điện trở đầu tam giác (hình 1.28).

Công thức tính các điện trở nối hình tam giác là:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}$$



Khi hình sao đối xứng:

$R_1 = R_2 = R_3 = R$ thì ta có :

$$R_{12} = R_{23} = R_{31} = 3R$$

Hình 1.28. Biến đổi $Y \rightarrow \Delta$

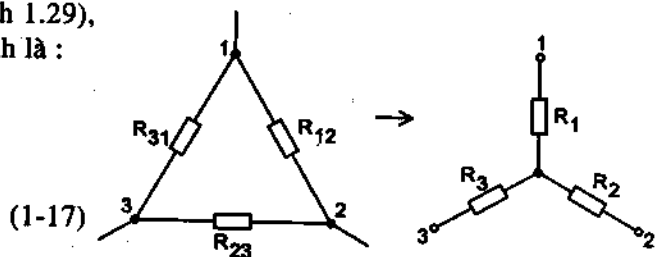
b. Biến đổi tam giác thành sao $\Delta \rightarrow Y$

Giả thiết có 3 điện trở R_{12}, R_{23}, R_{31} nối hình tam giác. Biến đổi hình tam giác thành hình sao (hình 1.29), điện trở các cạnh hình sao tính là :

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{31} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$



Hình 1.29. Biến đổi $\Delta \rightarrow Y$

Khi hình tam giác đối xứng $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R$, thì $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{R}{3}$

Ví dụ 6 :

Tính dòng điện I chạy qua nguồn của mạch cầu hình 1.30, biết $R_1 = 12\Omega$, $R_3 = R_2 = 6\Omega$, $R_4 = 21\Omega$, $R_0 = 18\Omega$, $E = 240V$, $R_n = 2\Omega$ (hình 1.30).

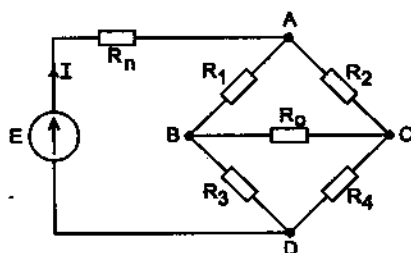
Lời giải :

Biến đổi tam giác ABC (R_1, R_2, R_0) thành sao R_A, R_B, R_C (hình 1.31).

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

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

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



Hình 1.30. Mạch điện cho ví dụ 6

Điện trở tương đương R_{OD} của 2 nhánh song song:

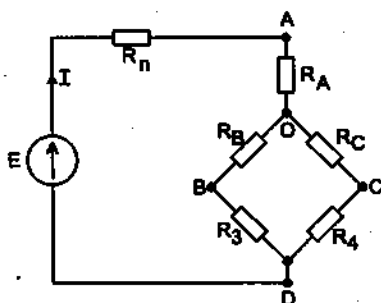
$$R_{OD} = \frac{(R_B + R_3) \cdot (R_C + R_4)}{R_B + R_3 + R_C + R_4} \\ = \frac{(6 + 6) \cdot (3 + 21)}{6 + 6 + 3 + 21} = 8\Omega$$

Điện trở tương đương toàn mạch

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

Dòng điện chạy qua nguồn

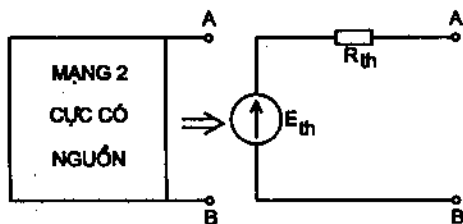
$$I = \frac{E}{R_{td}} = \frac{240}{12} = 20A$$



Hình 1.31

4. Định lý Thevenin

Một mạng điện 2 cực phức tạp có nguồn có thể được thay thế bằng một mạch điện 2 cực đơn giản gồm sức điện động E_{th} nối tiếp với điện trở R_{th} (hình 1.32), trong đó E_{th} bằng điện áp giữa 2 cực U_{AB} khi hở mạch ngoài, R_{th} là điện trở giữa 2 cực A và B của mạng 2 cực khi các sức điện động của mạng bằng không.



Hình 1.32. Mạch tương đương của mạng 2 cực có nguồn

Ví dụ 7. Hãy tính E_{th} và R_{th} (sơ đồ Thevenin) của mạng 2 cực hình 1.33.

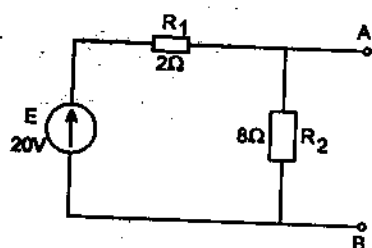
Lời giải :

$$E_{th} = U_{AB} = \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{20}{2 + 8} \cdot 8 = 16V; R_{th} = R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6\Omega$$

Sơ đồ Thevenin vẽ trên hình 1.34.

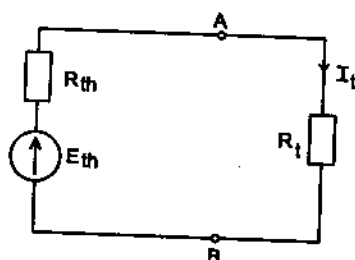
Nếu mạng 2 cực nối với một tải có điện trở $R_l = 30,4\Omega$, dòng điện tải I_l sẽ là:

$$I_l = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_l} = \frac{16}{1,6 + 30,4} = 0,5A$$



Hình 1.33

Mạch điện cho ví dụ 7

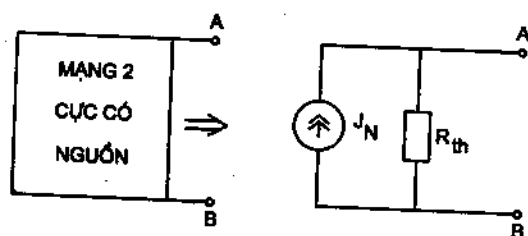


Hình 1.34

Sơ đồ Thevenin

5. Định lý Noctông

Một mạng điện 2 cực phức tạp có nguồn có thể được thay thế bằng mạch điện đơn giản gồm nguồn dòng điện J_N nối song song với điện trở R_{th} (hình 1.35), trong đó J_N bằng dòng điện ngắn mạch giữa 2 cực A và B, R_{th} là điện trở giữa 2 cực A và B của mạng 2 cực khi các sức điện động của mạng bằng không (như đã xét ở định lý Thevenin).



Hình 1.35. Sơ đồ thay thế mạng 2 cực có nguồn

Ví dụ 8: Hãy thay thế mạng 2 cực hình 1.33 bằng sơ đồ Noctông.

Lời giải:

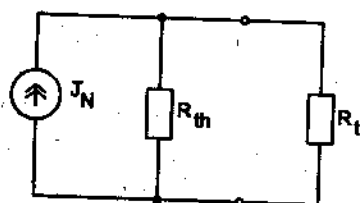
$$J = I_{\text{ngắn mạch AB}} = \frac{E}{R_1} = \frac{20}{2} = 10A$$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2.8}{2+8} = 1,6\Omega$$

Sơ đồ Noctông vẽ trên hình 1.36.

Nếu mạng nối với tải có $R_t = 30,4\Omega$, dòng điện tải sẽ là :

$$I_t = \frac{J_N \cdot R_{th}}{R_{th} + R_t} = \frac{10 \cdot 1,6}{1,6 + 30,4} = 0,5A$$



Hình 1.36. Sơ đồ Noctông

1.6. NGUYÊN LÝ XẾP CHỒNG

Đây là tính chất cơ bản của mạch điện tuyến tính.

Trong mạch điện tuyến tính nhiều nguồn, dòng điện qua mỗi nhánh bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh do tác dụng riêng rẽ của từng sức điện

động (lúc đó các sức điện động khác coi bằng không). Nguyên lý xếp chồng được ứng dụng nhiều để nghiên cứu mạch điện có nhiều nguồn tác dụng:

Tính bằng phương pháp xếp chồng, thực hiện theo các bước sau:

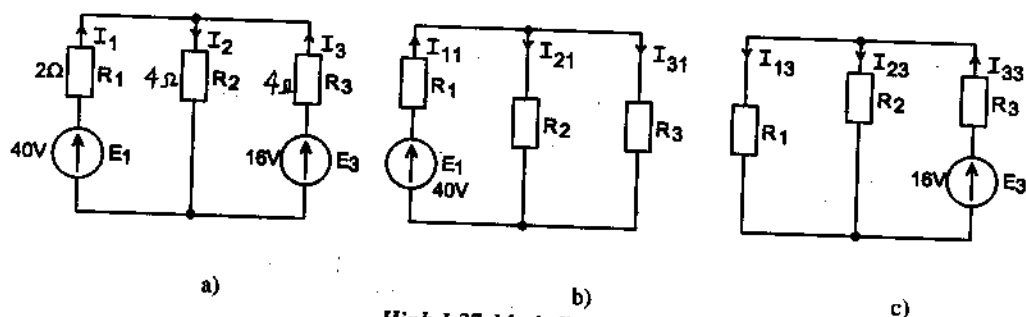
Bước 1 : Thiết lập sơ đồ điện chỉ có một nguồn tác động.

Bước 2 : Tính dòng điện và điện áp trong mạch chỉ có một nguồn tác động.

Bước 3 : Thiết lập sơ đồ mạch điện cho nguồn tiếp theo, lặp lại các bước 1 và 2 cho mỗi nguồn tác động.

Bước 4 : Xếp chồng (cộng đại số) các kết quả tính dòng điện, điện áp của mỗi nhánh do các nguồn tác dụng riêng rẽ.

Ví dụ 9 : Hãy tính dòng điện I_2 trong nhánh 2 của mạch điện hình 1.37a.



Hình 1.37. Mạch điện cho ví dụ 9

Lời giải :

Ta sẽ thực hiện theo các bước :

Bước 1 : Lập sơ đồ chỉ có một sức điện động E_1 tác dụng (hình 1.37b)

Bước 2 : Giải sơ đồ hình 1.37b chỉ có nguồn E_1 tác dụng

$$R_{td} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 2 + \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = 4\Omega$$

Dòng điện nhánh 1 do nguồn E_1 tác dụng :

$$I_{11} = \frac{E_1}{R_{td}} = \frac{40}{4} = 10A$$

Dòng điện nhánh 2 do nguồn E_1 tác dụng:

$$I_{21} = \frac{I_{11} \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 4}{4 + 4} = 5A$$

Bước 3 : Thiết lập sơ đồ chỉ có một mình sức điện động E_3 tác dụng (hình 1.37c).

Giải sơ đồ hình 1.37c ta có :

$$R_{td} = R_3 + \frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 + R_1} = 4 + \frac{4 \cdot 2}{4 + 2} = \frac{16}{3} \Omega$$

Dòng điện nhánh 3 do nguồn E_3 tác động :

$$I_{33} = \frac{E_3}{R_{td}} = \frac{16}{16/3} = 3A$$

Dòng điện nhánh 2 do nguồn E_3 tác động :

$$I_{23} = \frac{I_{33} \cdot R_1}{R_1 + R_2} = 3 \cdot \frac{2}{2 + 4} = 1A$$

Bước 4 : Xếp chồng kết quả.

Dòng điện nhánh 2 do cả 2 nguồn tác động là:

$$I_2 = I_{21} + I_{23} = 5 + 1 = 6A$$

1.7. CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢI MẠCH ĐIỆN PHỨC TẠP

Giải mạch điện là tính dòng điện, điện áp, công suất của các nhánh, các phần tử. Dòng điện trong các nhánh còn chưa biết, vì thế ta tùy ý chọn chiều dòng điện (gọi là chiều dương) trong các nhánh. Kết quả tính toán, nếu dòng điện dương $I > 0$, chiều (thực) dòng điện trong nhánh trùng với chiều dương đã chọn. Nếu $I < 0$ chiều dòng điện ngược với chiều đã chọn.

Chúng ta xét 3 phương pháp cơ bản dưới đây :

1. Phương pháp dòng điện nhánh

Ấn số của hệ phương trình là dòng điện các nhánh.

Phương pháp này ứng dụng trực tiếp 2 định luật Kiếtshôp 1 và 2, và thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Xác định số nút $n = \dots\dots\dots$, số nhánh $m = \dots\dots\dots$ Số ẩn của hệ phương trình bằng số nhánh m .

Bước 2: Tùy ý vẽ chiều dòng điện mỗi nhánh.

Bước 3 :Viết phương trình Kiếtshôp 1 cho $(n-1)$ nút đã chọn.

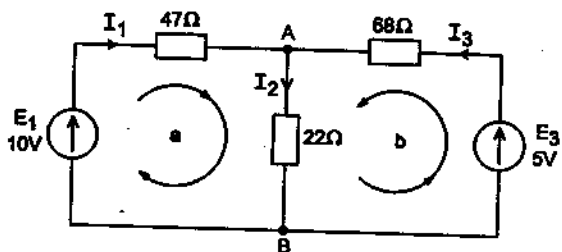
Bước 4 :Viết phương trình Kiếtshôp 2 cho $(m-(n-1)) = (m - n + 1)$ mạch vòng độc lập.

Bước 5 : Giải hệ thống m phương trình đã thiết lập, ta có dòng điện các nhánh.

Ví dụ 10: Áp dụng phương pháp dòng điện nhánh, tính dòng điện trong các nhánh của mạch điện hình 1.38.

Lời giải :

Bước 1: Mạch điện có 2 nút A và B, số nút $n = 2$; mạch có 3 nhánh 1, 2, 3, số nhánh $m = 3$.



Hình 1.38. Mạch điện dùng phương pháp dòng điện nhánh

Bước 2: Vẽ chiều dòng điện các nhánh I_1, I_2, I_3 như hình 1.38.

Bước 3: Số nút cần viết phương trình Kiếtshôp 1 là $n - 1 = 2 - 1 = 1$. Chọn nút A. Phương trình Kiếtshôp 1 viết cho nút A là:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1)$$

Bước 4: Chọn $(m - n + 1) = 3 - 2 + 1 = 2$ mạch vòng.

Chọn 2 mạch vòng độc lập a, b như hình vẽ. Viết phương trình Kiếtshôp 2 cho mạch vòng a và b.

Phương trình Kiếtshôp 2 cho mạch vòng a.

$$47I_1 + 22I_2 = 10 \quad (2)$$

Mạch vòng b

$$22I_2 + 68I_3 = 5 \quad (3)$$

Bước 5: Giải hệ 3 phương trình ta có dòng điện các nhánh

$$I_1 = 138 \text{ mA}$$

$$I_2 = 160 \text{ mA}$$

$$I_3 = 22 \text{ mA}$$

Phương pháp dòng điện nhánh giải trực tiếp được các dòng điện các nhánh, song số phương trình bằng số nhánh m , tương đối lớn, đòi hỏi nhiều thời gian tính toán giải hệ phương trình.

Vì thế dưới đây đưa ra các phương pháp sử dụng các ẩn số trung gian là dòng điện mạch vòng, điện thế nút, do đó số phương trình sẽ được giảm bớt, nhờ vậy tiết kiệm thời gian tính toán.

2. Phương pháp dòng điện mạch vòng

Ở phương pháp này, ẩn số trong hệ phương trình không phải là dòng điện các nhánh, mà là một dòng điện mạch vòng mang ý nghĩa về toán học, vì nếu biết được chúng, có thể dễ dàng tính dòng điện các nhánh.

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

Bước 1: Xác định $(m-n+1)$ mạch vòng độc lập và tùy ý vẽ chiều dòng điện mạch vòng, thông thường nên chọn chiều các dòng điện mạch vòng giống nhau, thuận tiện cho lập hệ phương trình.

Bước 2: Viết phương trình Kiécshôp 2 cho mỗi mạch vòng theo các dòng điện mạch vòng đã chọn.

Bước 3: Giải hệ phương trình vừa thiết lập, ta có dòng điện mạch vòng.

Bước 4: Tính dòng điện các nhánh theo dòng điện mạch vòng như sau: dòng điện mỗi nhánh bằng tổng đại số dòng điện mạch vòng chạy qua nhánh ấy.

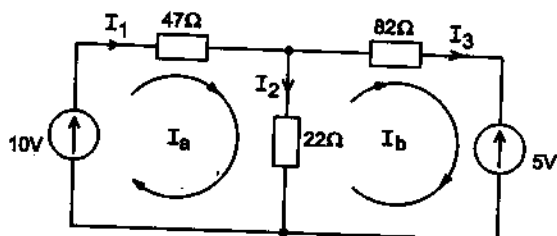
Ví dụ 11: Áp dụng phương pháp dòng điện mạch vòng giải mạch điện hình 1.39.

Lời giải :

Bước 1 : Số mạch vòng độc lập :

$$m - n + 1 = 3 - 2 + 1 = 2 \text{ mạch vòng.}$$

Vẽ chiều dòng điện mạch vòng I_a, I_b như hình vẽ.



Hình 1.39. Mạch điện áp dụng phương pháp dòng điện mạch vòng

Bước 2 : Viết phương trình Kiécshôp 2 cho các mạch vòng.

$$\begin{aligned} \text{Mạch vòng a} \quad (47 + 22) I_a - 22 I_b &= 10 \\ 69 I_a - 22 I_b &= 10 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Mạch vòng b} \quad -22 I_a + (22 + 82) I_b &= -5 \\ -22 I_a + 104 I_b &= -5 \end{aligned} \quad (2)$$

Bước 3 : Giải hệ phương trình đã thiết lập

$$\begin{cases} 69 I_a - 22 I_b = 10 \\ -22 I_a + 104 I_b = -5 \end{cases}$$

Sử dụng phương pháp ma trận

$$I_a = \frac{\begin{vmatrix} 10 & -22 \\ -5 & 104 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 69 & -22 \\ -22 & 104 \end{vmatrix}} = \frac{(10)(104) - (-5)(-22)}{(69)(104) - (-22)(-22)} = 0,139 \text{ A}$$

$$I_b = \frac{\begin{vmatrix} 69 & 10 \\ -22 & -5 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 69 & -22 \\ -22 & 104 \end{vmatrix}} = \frac{(69)(-5) - (-22)(10)}{(69)(104) - (-22)(-22)} = -0,0187 \text{ A}$$

Bước 4 : Tính dòng điện nhánh

$$I_1 = I_a = 139 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_a - I_b = 139 - (-18,7) = 158 \text{ mA}$$

$$I_3 = I_b = -18,7 \text{ mA}$$

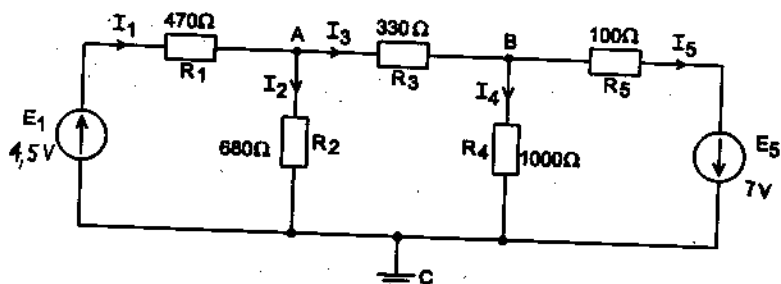
Dòng điện $I_3 < 0$, do đó I_3 có chiều ngược lại với chiều đã vẽ.

3. Phương pháp điện thế nút

Phương pháp này sử dụng ẩn số trung gian là điện thế các nút để thiết lập hệ phương trình.

Biết điện thế các nút, ta dễ dàng tính dòng điện các nhánh.

Xét mạch điện hình 1.40.



Hình 1.40. Mạch điện để tính điện thế nút

Tùy ý chọn trước điện thế một điểm coi là biết trước. Thường lấy điện thế điểm ấy bằng không.

Ở đây chọn điện thế điểm C bằng không : $\varphi_C = 0$.

Dựa vào định luật Ôm ta có dòng điện các nhánh

$$I_1 = \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} ; \quad I_4 = \frac{\varphi_B}{R_4}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_A}{R_2} ; \quad I_5 = \frac{E_5 + \varphi_B}{R_5}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3}$$

Định luật Kiécshốp 1 tại nút A

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$\frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} - \frac{\varphi_A}{R_2} - \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} = 0$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \varphi_A - \left(\frac{1}{R_3} \right) \varphi_B = \left(\frac{1}{R_1} \right) E_1$$

Định luật Kierchhoff 1 tại điểm B

$$I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$\frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} - \frac{\varphi_B}{R_4} - \frac{E_5 + \varphi_B}{R_5} = 0$$

$$\left(-\frac{1}{R_3} \right) \varphi_A + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) \varphi_B = -\left(\frac{1}{R_5} \right) E_5$$

Gọi: $G_A = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$ - Tổng dẫn của các nhánh nối với nút A.

$G_B = \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right)$ - Tổng dẫn của các nhánh nối với nút B.

$G_{AB} = \left(\frac{1}{R_3} \right)$ - Tổng dẫn chung giữa 2 nút A và B.

$G_1 = \frac{1}{R_1}$ - Điện dẫn nhánh 1.

$G_5 = \frac{1}{R_5}$ - Điện dẫn nhánh 5.

Hệ phương trình điện thế nút sẽ là

$$G_A \varphi_A - G_{AB} \varphi_B = G_1 E_1$$

$$-G_{AB} \varphi_A + G_B \varphi_B = -G_5 E_5$$

Giải hệ phương trình ta sẽ có điện thế các nút, và từ đó tính được dòng điện các nhánh.

Các bước để giải mạch điện theo phương pháp điện thế nút là:

Bước 1: Xác định số nút n.

Bước 2: Chọn một nút bất kỳ có điện thế biết trước.

Bước 3: Tính tổng dẫn của các nhánh nối với mỗi nút $G_A, G_B, \dots$ và tổng dẫn chung của các nhánh giữa 2 nút $G_{AB} \dots$ và điện dẫn các nhánh có nguồn G_1, G_5 .

Bước 4 : Lập hệ phương trình điện thế nút.

Bước 5 : Giải hệ phương trình ta có điện thế của mỗi nút.

Bước 6 : Sử dụng định luật Ôm tính dòng điện các nhánh.

Ví dụ 12 : Giải mạch điện ở hình 1.40

$$G_A = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \left(\frac{1}{470} + \frac{1}{680} + \frac{1}{330} \right) = 0,00663$$

$$G_B = \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) = \left(\frac{1}{330} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{100} \right) = 0,01403$$

$$G_{AB} = \left(\frac{1}{R_3} \right) = \frac{1}{300} = 0,00303$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{470}$$

$$G_5 = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{100}$$

Hệ phương trình điện thế nút

$$0,00663\varphi_A - 0,00303\varphi_B = \frac{4,5}{470}$$

$$-0,00303\varphi_A + 0,01403\varphi_B = \frac{-7}{100}$$

Giải hệ phương trình ta có:

$$\varphi_A = -0,928V \quad ; \quad \varphi_B = -5,19V$$

Từ đó tính được dòng điện các nhánh

$$I_1 = \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} = \frac{4,5 + 0,928}{470} = 0,01155A$$

$$I_2 = \frac{\varphi_A}{R_2} = \frac{-0,928}{680} = -0,00136A$$

$$I_3 = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} = \frac{-0,928 + 5,19}{330} = 0,01291A$$

$$I_4 = \frac{\varphi_B}{R_4} = \frac{-5,19}{1000} = -0,00519A$$

$$I_5 = \frac{E_5 + \varphi_B}{R_5} = \frac{7 - 5,19}{100} = 0,0181A$$

Phương pháp điện thế nút được sử dụng khi mạch điện có nhiều nhánh ít nút. Đặc biệt khi mạch chỉ có 2 nút (hình 1.41), ta dễ dàng tính điện thế của nút.

Chọn $\varphi_B = 0$, vậy chỉ còn điện thế nút A là ẩn số.

$$G_A \varphi_A = G_1 E_1 + G_3 E_3$$

$$G_A = \frac{1}{47} + \frac{1}{22} + \frac{1}{82} = 0,07892$$

$$G_1 = \left(\frac{1}{R_1} \right) = \frac{1}{47}$$

$$G_3 = \left(\frac{1}{R_3} \right) = \frac{1}{82}$$

$$G_1 E_1 + G_3 E_3 = 0,27374$$

Vậy phương trình điện thế nút A là

$$0,07892 \varphi_A = 0,27374$$

Giải ra ta có:

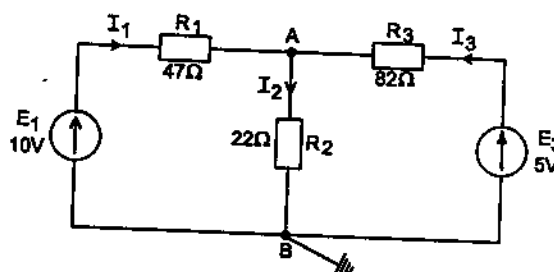
$$\varphi_A = 3,468 \text{ V}$$

Dòng điện các nhánh

$$I_1 = \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} = \frac{10 - 3,468}{47} = 0,139 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_A}{R_2} = \frac{3,468}{22} = 0,158 \text{ A}$$

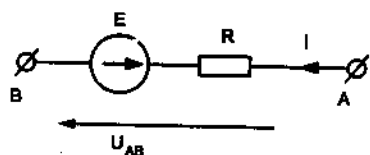
$$I_3 = \frac{E_3 - \varphi_A}{R_3} = \frac{5 - 3,468}{82} = 0,0187 \text{ A}$$



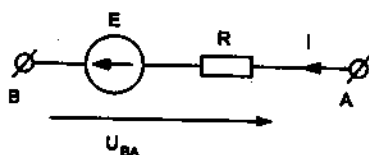
Hình 1.41. Mạch điện có 2 nút

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

- 1.1. Nguồn điện là gì ? Tải là gì ? Hãy cho các ví dụ về nguồn điện và tải.
- 1.2. Phát biểu định luật Ôm.
- 1.3. Phát biểu định luật Kiécshôp.
- 1.4. Các bước giải mạch điện bằng phương pháp dòng điện nhánh.
- 1.5. Các bước giải mạch điện bằng phương pháp điện thế các điểm nút.
- 1.6. Cho $E = 100 \text{ V}$; $R = 10 \Omega$; $I = 5 \text{ A}$. Tính điện áp U trong 2 sơ đồ hình B1.6a và B1.6b.



a)



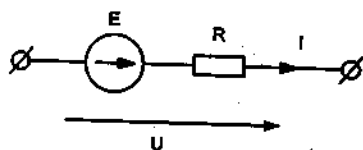
b)

Hình B1.6

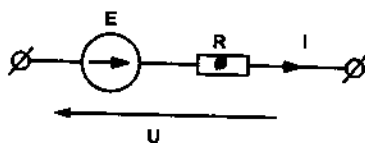
Đáp số: a) $U_{AB} = 150V$

b) $U_{BA} = 50V$

1.7. Cho $E = 50V$; $R = 5\Omega$; $U = 40V$. Tính dòng điện I trong 2 sơ đồ hình B1.7a và B1.7b.



a)



b)

Hình B1.7

Đáp số: a) $I = 18A$

b) $I = 2A$.

1.8. Một tải có điện trở $R = 19\Omega$ đấu vào nguồn điện một chiều có $E = 100V$, điện trở trong $R_r = 1\Omega$. Tính dòng điện I , điện áp U và công suất P của tải.

Đáp số: $I = 5A$; $U = 95V$; $P = 475W$

1.9. Cho một nguồn điện một chiều có sức điện động $E = 50V$; điện trở trong $R_r = 0,1\Omega$. Nguồn điện cung cấp điện cho tải có điện trở R . Biết công suất tổn hao trong nguồn điện là $10W$. Tính dòng điện I , điện áp U giữa 2 cực của nguồn điện, điện trở R và công suất P tải tiêu thụ.

Đáp số: $I = 10A$; $U = 49V$; $R = 4,9\Omega$; $P = 490W$.

1.10. Một nguồn điện có sức điện động E và điện trở trong $R_r = 0,5\Omega$, cung cấp điện cho tải có điện trở R . Biết điện áp của tải $U = 95V$; công suất tải tiêu thụ $P = 950W$. Tính E , R .

Đáp số: $E = 100V$; $R = 9,5\Omega$.

1.11. Bốn điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 mắc nối tiếp đầu vào nguồn điện áp U 12V (điện trở trong bằng không). Dòng điện trong mạch $I = 25\text{mA}$, điện áp trên các điện trở R_1, R_2, R_3 là 2,5V ; 3V ; 4,5V.

Vẽ sơ đồ cách đấu dây, cách mắc ampe kế, vôn kế để đo các đại lượng trên. Tính điện áp U_4 trên điện trở R_4 . Tính điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 .

Đáp số : $U_4 = 2\text{V}$; $R_1 = 100\Omega$; $R_2 = 120\Omega$

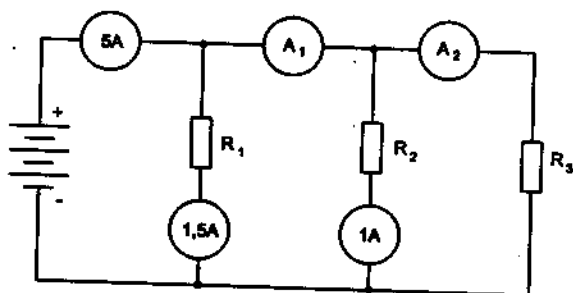
$R_3 = 180\Omega$; $R_4 = 80\Omega$

1.12. Biết số chỉ của một số ampe kế trên hình B1.12. Xác định số chỉ của ampe kế A_1 và A_2 .

Đáp số :

$I_{A1} = 3,5\text{A}$;

$I_{A2} = 2,5\text{A}$



Hình B1.12

1.13. Để có điện trở (tương đương) 150Ω , người ta đấu song song hai điện trở $R_1 = 330\Omega$ và R_2 .

Tính R_2

Đáp số : $R_2 = 275\Omega$.

1.14. Hai điện trở $R_1 = 100\Omega$ và $R_2 = 47\Omega$ đấu song song, biết dòng điện ở mạch chính $I = 100\text{mA}$. Tính dòng điện qua các điện trở R_1, R_2 .

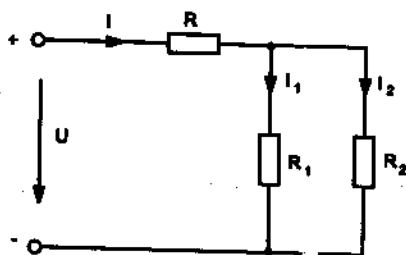
Đáp số : $I_1 = 32\text{mA}$; $I_2 = 68\text{mA}$

1.15. Dùng phép biến đổi tương đương, tính dòng điện trong các nhánh trên sơ đồ hình B1.15. Tính công suất nguồn và công suất trên các điện trở. Cho $U = 80\text{V}$; $R = 1,25\Omega$; $R_1 = 6\Omega$; $R_2 = 10\Omega$.

Đáp số :

$I_1 = 10\text{A}$; $I_2 = 6\text{A}$; $I = 16\text{A}$;

$P = UI = 1280\text{W}$; $P_R = 320\text{W}$;



Hình B1.15

$$P_{R1} = 600W ; P_{R2} = 360 W$$

$$Ta thấy P = P_R + P_{R1} + P_{R2}$$

1.16. Tính dòng điện I và công suất nguồn trong sơ đồ hình B1.16. Cho $U = 120V$; $R_1 = R_2 = R_3 = 2\Omega$; $R_4 = R_5 = R_6 = 6\Omega$.

Đáp số :

$$I = 60A ; P = 7,2kW$$

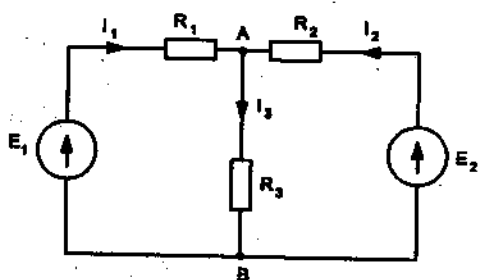
1.17. Cho mạch điện trên sơ đồ hình B1.17. Hãy giải mạch điện trên bằng 2 phương pháp sau :

Hình B1.16

a) Phương pháp dòng điện nhánh.

b) Phương pháp điện thế các nút (chọn điểm nút B có điện thế bằng không).

Cho $E_1 = 200V$; $R_1 = 2\Omega$; $E_2 = 170V$; $R_2 = 10\Omega$; $R_3 = 20\Omega$.



Hình B1.17

Đáp số : Chọn chiều dòng điện nhánh như hình B1.17.

a) $I_1 = 10A$; $I_3 = 9A$; $I_2 = -1A$ (chiều dòng điện I_2 (nhánh 2) ngược với chiều đã vẽ).

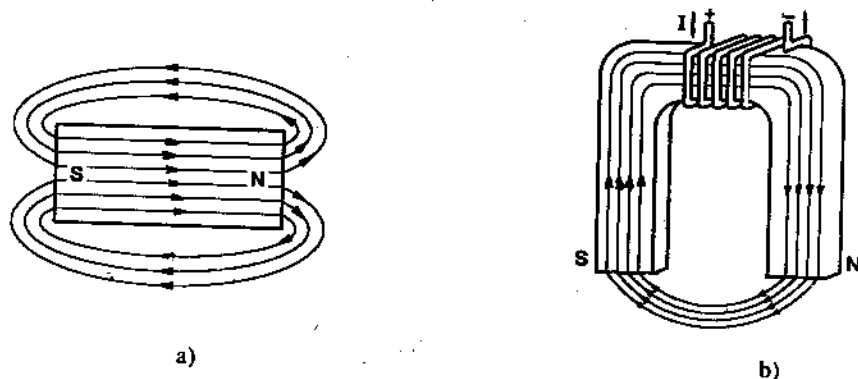
b) Lập phương trình điện thế nút A, giải ra $\varphi_A = 180V$; Từ đó có $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 180 - 0 = 180V$. Áp dụng định luật Ôm cho các nhánh ta có : $I_1 = 10A$; $I_2 = -1A$; $I_3 = 9A$.

Chương 2

ĐIỆN TỪ

2-1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ TỪ TRƯỜNG

Nam châm vĩnh cửu, nam châm điện, dây dẫn mang dòng điện tạo ra xung quanh chúng từ trường. Từ trường được biểu diễn bằng các đường sức từ trường (đường cảm ứng từ) đi từ cực bắc (N) tới cực nam (S) và trở về cực bắc qua lõi nam châm (hình 2.1a, b).

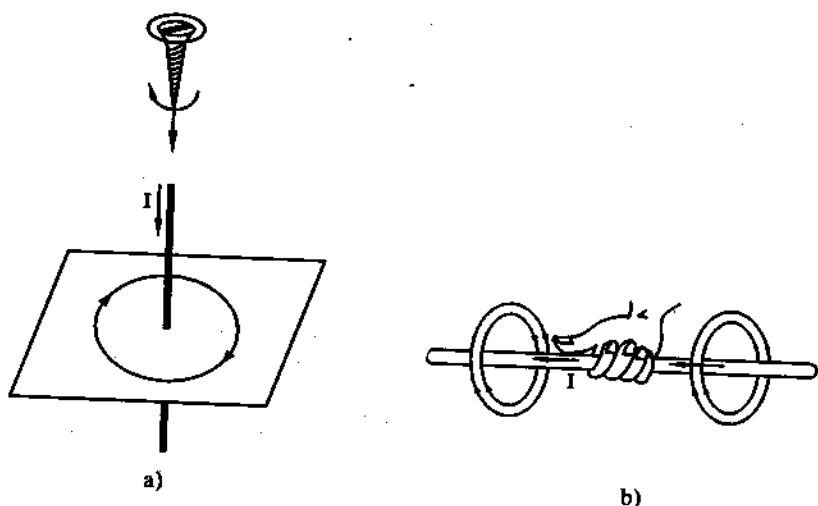


Hình 2.1. Đường sức của nam châm

a) nam châm vĩnh cửu ; b) nam châm điện

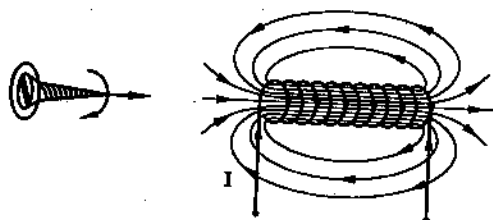
Đối với dây dẫn thẳng dài mang điện, chiều từ trường được xác định theo quy tắc vặn nút chai: nếu chiều dòng điện trùng với chiều tiến của cái mở nút chai thì chiều quay của cái mở nút chai xác định cho ta chiều từ trường ở mỗi điểm (hình 2.2a).

Ta cũng có thể sử dụng quy tắc bàn tay phải (hình 2.2b) : ngón tay cái hướng theo chiều dòng điện, bốn ngón tay còn lại chỉ hướng đường sức từ trường.



Hình 2.2. Xác định chiều đường sức từ trường của dây dẫn thẳng mang dòng điện

Đối với cuộn dây gồm một số vòng dây có dòng điện ta cũng dùng quy tắc mở nút chai để xác định chiều đường sức từ trường: nếu chiều quay của cái mở nút chai trùng với chiều dòng điện thì chiều tiến của cái mở nút chai là chiều đường sức từ trường (hình 2.3).



Hình 2.3. Xác định chiều đường sức từ trường của cuộn dây có dòng điện

Sự có mặt của từ trường trong không gian đặc trưng bằng các biểu hiện sau :

1. Lực từ giữa các cực của nam châm

Hai cực khác tên của 2 nam châm đặt gần nhau, sẽ hút nhau (hình 2.4). Ngược lại 2 cực cùng tên để gần nhau sẽ đẩy nhau (hình 2.5).



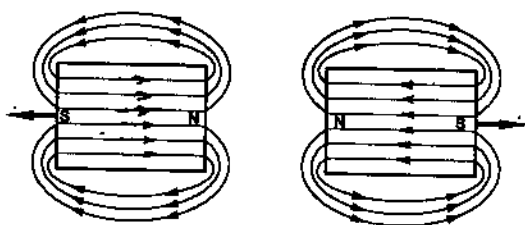
Hình 2.4. Lực hút giữa 2 cực khác tên của 2 nam châm

2. Lực điện từ

Lực tác dụng lên dây dẫn có dòng điện đặt trong từ trường hoặc điện tích đang chuyển động trong từ trường.

3. Cảm ứng điện từ

Sự xuất hiện sức điện động cảm ứng vào một vòng dây khi từ trường biến thiên hoặc thanh dẫn chuyển động trong từ trường.



Hình 2.5. Lực đẩy giữa 2 cực cùng tên của 2 nam châm

2-2. CƯỜNG ĐỘ TỪ CẢM - CƯỜNG ĐỘ TỪ TRƯỜNG - TỪ THÔNG

Ở trên đã thấy, từ trường phân bố trong không gian được biểu diễn bằng các đường sức từ trường, nó là đường cong khép kín, tiếp tuyến tại mỗi điểm trùng với phương của từ trường tại điểm ấy, mật độ đường sức lớn hay nhỏ cho ta biết từ trường mạnh hay yếu. Cách biểu diễn bằng đường sức cho ta thấy một cách tường minh sự phân bố của từ trường tuy nhiên trong tính toán, nghiên cứu, để đặc trưng cho từ trường người ta dùng khái niệm vectơ cường độ từ cảm $\vec{B}$.

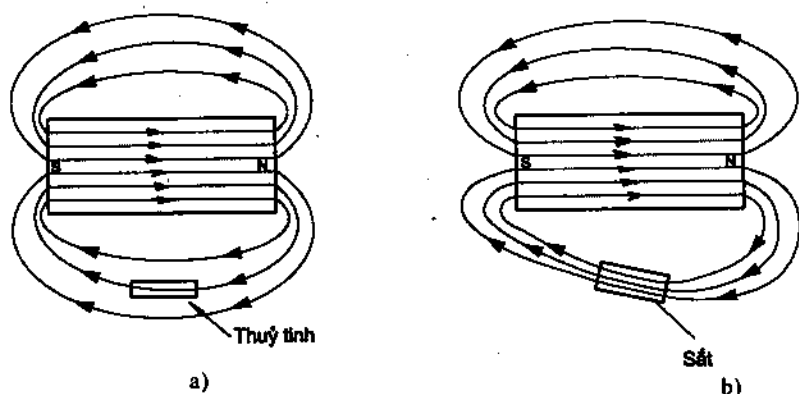
1. Vectơ cường độ từ cảm $\vec{B}$

Từ trường được đặc trưng bởi đại lượng vật lý là vectơ cường độ từ cảm $\vec{B}$ (gọi tắt là vectơ từ cảm, vectơ cảm ứng từ). Trị số B của vectơ từ cảm $\vec{B}$ cho ta biết từ trường mạnh hay yếu. Chiều của vectơ từ cảm $\vec{B}$ là chiều của từ trường (chiều của đường sức từ trường).

Trong hệ đơn vị quốc tế (SI), đơn vị của cường độ từ cảm là tesla, ký hiệu là T. Trong các máy điện, cường độ từ cảm B thường khoảng từ 1T đến 1,6T.

2. Vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$

Trong chân không vectơ từ cảm $\vec{B}$ đủ để mô tả trạng thái của từ trường. Nhưng trong môi trường vật chất ta phải xét đến ảnh hưởng của chúng lên từ trường. Để thấy rõ, chúng ta hãy quan sát đường sức từ trường trong 2 trường hợp ở hình 2.6.



Hình 2.6

Khi đặt vật liệu như giấy, thủy tinh, gỗ, nhựa vào trong từ trường của một nam châm, đường sức từ không bị biến dạng (hình 2.6a), song khi đặt một tấm sắt (dẫn từ tốt) đường sức từ tập trung đi vào sắt, từ trường bị biến dạng (hình 2.6b). Để xét đến ảnh hưởng này của môi trường vật chất, người ta dùng vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ đặc trưng cho từ trường trong các môi trường vật chất.

Trong môi trường đẳng hướng (môi trường có các tính chất vật lý đồng nhất theo mọi hướng khác nhau), quan hệ giữa vectơ từ cảm $\vec{B}$ và vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ như sau:

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m) \cdot \vec{H} = \mu \vec{H} \quad (2-1)$$

Trong đó :

χ_m - Độ thấm từ của môi trường vật chất, đặc trưng ảnh hưởng của môi trường.

μ_0 - Hệ số (độ) từ thấm của chân không.

μ - hệ số (độ) từ thấm của môi trường vật chất.

Đơn vị của hệ số từ thấm là henry trên mét, ký hiệu $\frac{H}{m}$.

Đơn vị của cường độ từ trường là ampe trên mét, ký hiệu $\frac{A}{m}$.

Trong thực tế hệ số từ thấm của các vật liệu dẫn từ lớn gấp hàng nghìn lần của chân không, để so sánh người ta đưa khái niệm hệ số từ thấm tương đối μ_r

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2-2)$$

Trong kỹ thuật điện, các vật liệu sắt từ dẫn từ rất tốt có μ_r từ vài trăm đến vài vạn vì thế vật liệu sắt từ được sử dụng để chế tạo các mạch từ cho các thiết bị điện.

Biểu thức (2-1), áp dụng vào các bộ phận của các thiết bị điện ta có:

Trong khe hở không khí hoặc bộ phận không sắt từ:

$$B = \mu_0 H \quad (2-3)$$

Trong đó :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad \frac{H}{m}$$

Trong phần thép

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (2-4)$$

3. Từ thông ϕ

Khi nghiên cứu, thiết kế các thiết bị, ngoài các khái niệm $\vec{B}$, $\vec{H}$, người ta còn sử dụng khái niệm từ thông.

Thông lượng của vectơ $\vec{B}$ xuyên qua một bề mặt S được gọi là từ thông ϕ (hình 2.7).

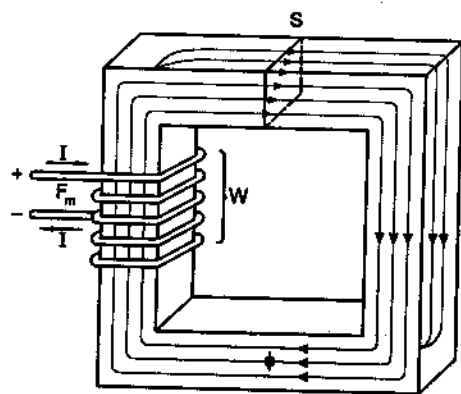
Khi vectơ $\vec{B}$ thẳng góc với bề mặt S và có trị số bằng nhau trên toàn mặt phẳng ấy thì từ thông ϕ được tính là:

$$\phi = BS \quad (2-5)$$

Đơn vị của từ thông là webe, ký hiệu là Wb.

Biểu thức (2-5) có thể viết là:

$$B = \frac{\phi}{S} \quad (2-6)$$



Hình 2.7

Vậy cường độ từ cảm B chính là mật độ từ thông trên bề mặt S .

Ví dụ 1: Cường độ từ cảm B dưới mặt cực của một nam châm có trị số là $8 \cdot 10^{-3} T$. Diện tích mặt cực $S = 10 dm^2$. Tính từ thông của mỗi cực từ.

Lời giải:

Từ thông của mỗi cực từ

$$\phi = BS = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Ví dụ 2 : Cường độ từ cảm B trong lõi thép của máy biến áp (hình 2.7) là 1,45T.

Tiết diện ngang của lõi thép $S = 120 \text{ cm}^2$. Tính từ thông chạy trong lõi thép.

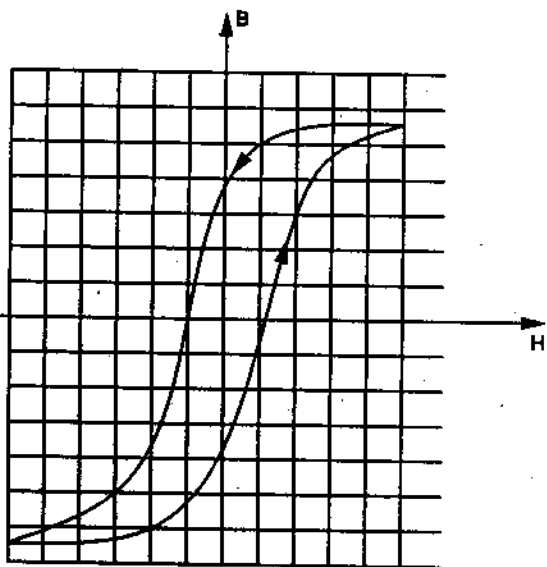
Lời giải :

Từ thông chạy trong lõi thép

$$\phi = BS = 1,45 \cdot 120 \cdot 10^{-4} = 1,74 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

2.3. VẬT LIỆU SẮT TỪ

Các chất sắt, niken, coban và những hợp kim của chúng làm thành nhóm những vật liệu sắt từ. Do cấu tạo vật chất của nó, hệ số từ thẩm μ của vật liệu sắt từ rất lớn (μ_r có trị số từ vài trăm đến vài vạn) và hệ số từ thẩm không phải là hằng số mà là một hàm số của cường độ từ trường H. Ngoài ra ở vật liệu sắt từ, có hiện tượng từ trễ, nghĩa là khi ta từ hoá lõi sắt bằng dòng điện xoay chiều trong cả chu kỳ, quá trình diễn ra không thuận nghịch, nghĩa là khi tăng cường độ từ trường H thì cường độ từ cảm B tăng, quan hệ theo nhánh tăng, và khi H giảm thì B sẽ giảm, quan hệ với nhau theo nhánh giảm không trùng với nhánh tăng. Đường cong quan hệ giữa B và H trong cả chu kỳ từ hoá gọi là đường khép kín từ trễ (hình 2.8).

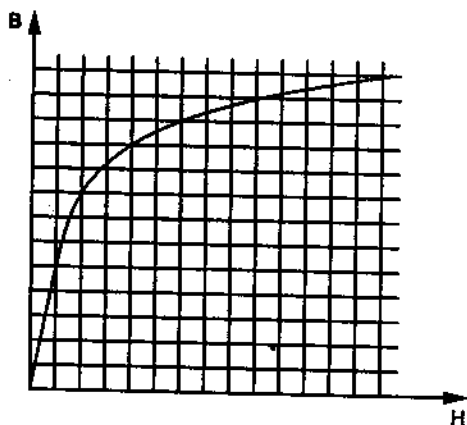


Hình 2.8

Trong việc tính toán mạch từ thường dùng đường cong từ hoá trung bình $B = f(H)$ (hình 2.9).

Phụ thuộc vào loại thép sẽ có các đường cong từ hoá khác nhau. Hình 2.10 là đường cong từ hoá của lá thép kỹ thuật điện cán nguội.

Khi cường độ từ cảm thấp quan hệ $B(H)$ theo đường cong I, khi cường độ từ cảm lớn quan hệ $B(H)$ theo đường cong II.



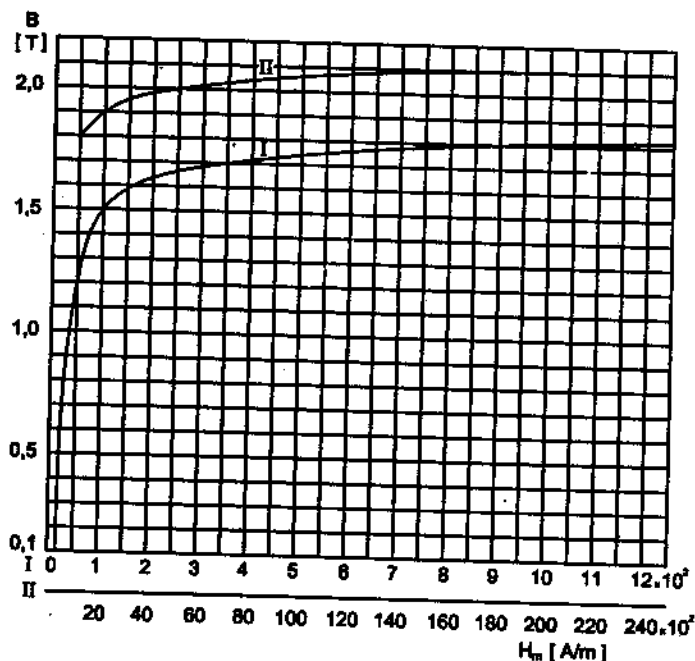
Hình 2.9

Ví dụ 3 :
 Lõi thép của máy biến áp làm bằng thép có đường đặc tính từ hoá ở hình 2.10. Biết tiết diện ngang của lõi thép $S = 90 \text{ cm}^2$, từ thông trong lõi thép $\phi = 1,386 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$. Xác định cường độ từ trường trong lõi thép.

Lời giải:

Cường độ từ cảm:

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{1,386 \cdot 10^{-2}}{90 \cdot 10^{-4}} = 1,54 \text{ T}$$



Hình 2.10

Từ trị số B tra đường cong I hình 2.10 ta được trị số cường độ từ trường $H = 1,2 \cdot 10^2 \text{ A/m}$

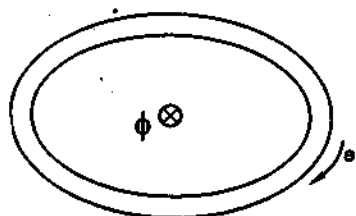
2.4. ĐỊNH LUẬT CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

1. Sức điện động cảm ứng khi từ thông xuyên qua vòng dây biến thiên

Hiện tượng cảm ứng điện từ do Faraday phát hiện năm 1931, sau đó năm 1833 Lenz phát hiện ra quy tắc về chiều. Nội dung định luật như sau : *khi từ thông xuyên qua vòng dây biến thiên, trong vòng dây sẽ cảm ứng ra sức điện động, sức điện động ấy có chiều sao cho dòng điện nó sinh ra có xu hướng chống lại sự biến thiên của từ thông.*

Nếu chọn chiều dương của sức điện động cảm ứng phù hợp với chiều của từ thông ϕ theo quy tắc vụn nút chai (hình 2.11) sức điện động cảm ứng trong một vòng dây được viết theo công thức Macxoen như sau :

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2-7)$$



Hình 2.11

Dấu $\otimes$ trên hình 2.11 chỉ chiều từ thông ϕ đi từ độc giả vào trang giấy.

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

$$e = -W \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt} \quad (2-8)$$

Trong đó $\psi = W\phi$ (2-9)

gọi là từ thông móc vòng của cuộn dây.

Trong các công thức trên từ thông đo bằng webe (Wb), sức điện động cảm ứng đo bằng vôn (V).

Ví dụ 4 : Hãy xác định trị số và chiều sức điện động cảm ứng khi lõi sắt chuyển động hướng vào cuộn dây (hình 2.12). Cho biết cuộn dây có 200 vòng và tốc độ biến thiên từ thông xuyên qua mỗi vòng dây bằng $0,5 \frac{Wb}{s}$.

Lời giải :

Chiều từ thông ϕ và chiều dương sức điện động cảm ứng vẽ trên hình 2.12. Khi lõi sắt tiến vào giữa hai cực của nam châm vĩnh cửu, từ thông xuyên qua vòng dây tăng, lượng biến thiên từ thông $d\phi > 0$, $\frac{d\phi}{dt} = 0,5$.

Sức điện động cảm ứng:

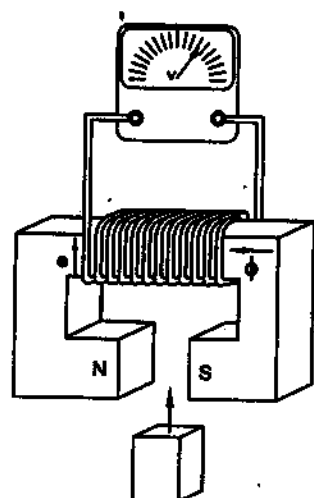
$$e = -W \frac{d\phi}{dt} = -200 \cdot 0,5 = -100V$$

Sức điện động $e < 0$ nghĩa là chiều sức điện động cảm ứng ngược với chiều dương đã chọn trên hình 2.12.

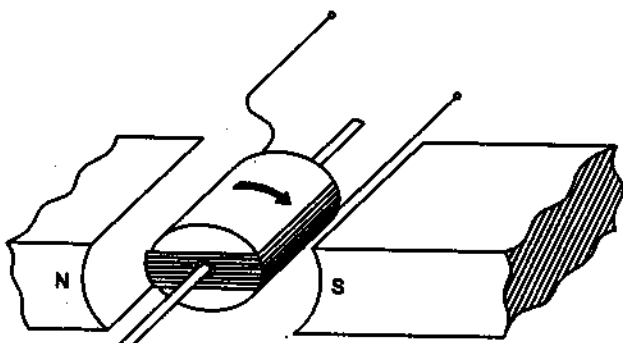
Ví dụ 5 : Một cuộn dây 10 vòng hình chữ nhật quay trong từ trường của một nam châm (hình 2.13). Biết rằng vòng dây quay với tốc độ góc $\omega = 314 \frac{rad}{s}$ và sau thời gian t từ thông xuyên qua vòng dây là :

$$\phi = 0,004 \cos 314 t \text{ Wb.}$$

Tính sức điện động cảm ứng trong cuộn dây.



Hình 2.12



Hình 2.13

Lời giải :

Sức điện động cảm ứng trong cuộn dây

$$e = -W \frac{d\phi}{dt} = -10 \frac{d(0,004 \cos 314t)}{dt} = 12,56 \sin 314t \text{ V}$$

Sức điện động e biến thiên hình sin theo thời gian. Đây là một ví dụ đơn giản giúp ta hiểu cách tạo ra dòng điện xoay chiều hình sin.

2. Sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn chuyển động trong từ trường

Khi một thanh dẫn chuyển động cắt đường sức từ trường, trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động e có trị số là:

$$e = Blv \sin \alpha \quad (2.10)$$

Trong đó :

B - Cường độ từ cảm đo bằng T.

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

v - Vận tốc của thanh dẫn đo bằng $\frac{m}{s}$

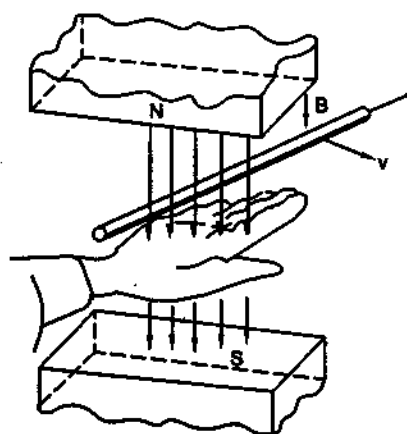
α - Góc giữa chiều vận tốc với chiều từ trường $\alpha = (\vec{v}, \vec{B})$

Khi chiều chuyển động vuông góc với chiều từ trường (thường gặp trong máy điện, $\alpha = 90^\circ$) thì sức điện động cảm ứng là:

$$e = Blv \quad (2.11)$$

Chiều của sức điện động cảm ứng được xác định theo quy tắc bàn tay phải được phát biểu như sau:

Cho đường sức từ trường đi vào lòng bàn tay phải, chiều chuyển động của thanh dẫn theo chiều ngón tay cái xòe ra, thì chiều 4 ngón tay còn lại là chiều của sức điện động cảm ứng (hình 2.14).



Hình 2.14

Khi thanh dẫn chuyển động song song với phương từ trường, trong thanh dẫn sẽ không có sức điện động cảm ứng.

Ví dụ 6 : Một thanh dẫn ab chiều dài $l = 0,5m$ (hình 2.15) nằm trong từ trường đều $B = 1,4T$. Người ta tác dụng một lực cơ học F_{∞} làm cho nó chuyển động với vận

tốc $v = 20 \frac{m}{s}$ thẳng góc với phương từ trường. Thanh dẫn trượt trên hai thanh kim loại và hai đầu thanh kim loại nối với điện trở $R = 0,5 \Omega$ làm thành một vòng kín. Coi điện trở của thanh kim loại rất nhỏ và bỏ qua.

Tính sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn, công suất điện trở tiêu thụ, công suất cơ và lực cơ học tác dụng vào thanh dẫn.

Lời giải :

Sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn:

$$e = Blv = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 20 = 14V$$

Dòng điện chạy qua điện trở R

$$I = \frac{e}{R} = \frac{14}{0,5} = 28A$$

Công suất điện trở tiêu thụ

$$P_d = RI^2 = 0,5 \cdot 28^2 = 392 W$$

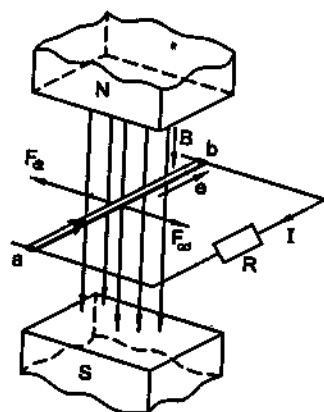
Bỏ qua tổn hao trong hệ thống, theo định luật bảo toàn năng lượng công suất cơ tác dụng vào thanh dẫn phải bằng công suất điện phát ra cung cấp cho điện trở R.

Vậy : Công suất cơ: $P_{cs} = P_d = 392 W$

Lực cơ học tác dụng vào thanh dẫn là :

$$F_{cs} = \frac{P_{cs}}{v} = \frac{392}{20} = 19,6N$$

Đây là một ví dụ đơn giản, giúp ta hiểu nguyên lý làm việc của các máy phát điện là: Nhờ từ trường, cơ năng đưa vào trục của máy phát điện được biến đổi thành điện năng lấy ra ở dây quấn của máy phát để cung cấp cho tải.



Hình 2.15

2.5. ĐỊNH LUẬT LỰC ĐIỆN TỪ

Khi thanh dẫn mang dòng điện nằm trong từ trường, thanh dẫn sẽ chịu lực điện từ tác dụng có trị số là :

$$F_{dt} = BIl \sin \alpha$$

(2-12)

Trong đó :

B - Cường độ từ cảm đo bằng T.

I - Dòng điện đo bằng A.

l - Chiều dài hiệu dụng thanh dẫn đo bằng m.

α - Góc giữa chiều dòng điện và chiều từ trường $\alpha = (\vec{I}, \vec{B})$.

F_{dt} - Lực điện từ đo bằng N (niutơn).

Khi thanh dẫn đặt vuông góc với từ trường (là trường hợp thường gặp trong máy điện, $\alpha = 90^\circ$) lực điện từ là :

$$F_{dt} = BIl$$

(2-13)

Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái (hình 2.16) như sau : cho chiều đường sức từ trường xuyên vào lòng bàn tay trái, chiều dòng điện trùng với chiều 4 ngón tay, thì chiều ngón tay cái xòe ra là chiều lực điện từ F_{dt} .

Ví dụ 7 : Một thanh dẫn $l = 2\text{m}$ có dòng điện $I = 150\text{mA}$ chạy qua, đặt vuông góc với từ trường đều $B = 1,2\text{T}$. Chiều dòng điện đi từ dọc giả vào trang giấy (hình 2.17).

Tính trị số và chiều lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn.

Lời giải :

Trị số của lực điện từ

$$F_{dt} = BIl = 1,2 \cdot 0,15 \cdot 2 = 0,36 \text{ N}$$

Áp dụng quy tắc bàn tay trái ta xác định được chiều lực điện từ hướng xuống dưới.

Ví dụ 8: Xác định trị số và chiều của lực điện từ F_{dt} tác dụng lên thanh dẫn trong ví dụ 6.

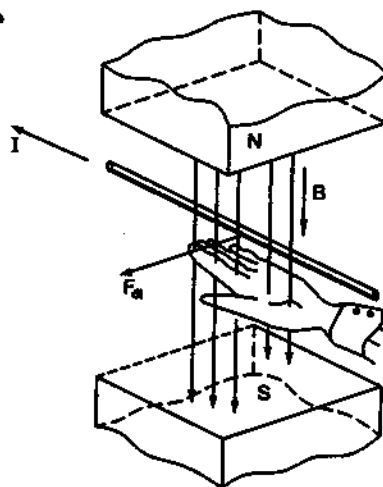
Lời giải :

Lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn:

$$F_{dt} = BIl = 1,4 \cdot 28 \cdot 0,5 = 19,6 \text{ N}$$

Chiều của lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái vẽ trên hình 2.15.

Ta thấy rằng trong ví dụ 6 thanh dẫn đóng vai trò phát điện, lực điện từ F_{dt} có tác dụng hãm (hình 2.15) cân bằng với lực cơ tác dụng vào thanh, nhờ đó thanh dẫn chuyển động với vận tốc v không đổi.



Hình 2.16



Hình 2.17

2.6. ĐỊNH LUẬT MẠCH TỪ - TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

1. Định luật dòng điện toàn phần áp dụng cho mạch từ

Mạch từ gồm các bộ phận sau: bộ phận dẫn từ gồm chủ yếu là các đoạn làm bằng vật liệu sắt từ nối lại với nhau thành một mạch khép kín để dẫn từ thông và nguồn từ hoá là cuộn dây có dòng điện để tạo ra từ thông trong mạch.

Hình 2.18 là mạch từ đơn giản đồng nhất bằng thép kỹ thuật điện, chỉ có một cuộn dây. Khi có dòng điện I đi qua cuộn dây, sẽ tạo ra từ thông chạy trong mạch từ. Vì rằng hệ số từ thẩm μ của thép lớn hơn của không khí bao quanh rất nhiều nên hầu hết từ thông tập trung chạy trong mạch từ.

Định luật dòng điện toàn phần áp dụng vào mạch từ hình 2.18 được viết như sau :

$$WI = HI \quad (2-14)$$

Trong đó :

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

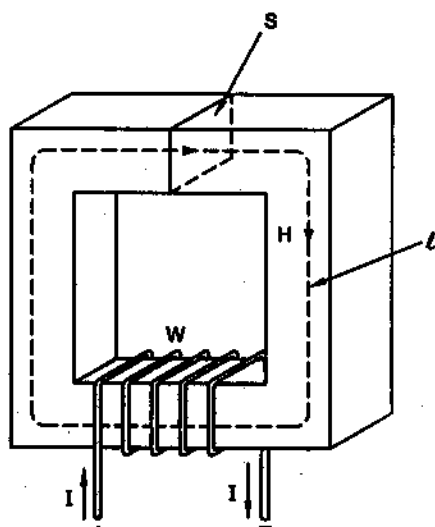
l - chiều dài trung bình của mạch từ đo bằng m.

W - số vòng dây của cuộn dây.

Dòng điện I tạo ra từ thông cho mạch từ, gọi là dòng điện từ hoá.

Tích số WI được gọi là sức từ động.

HI được gọi là từ áp rơi trong mạch từ.



Hình 2.18

Đối với mạch từ gồm nhiều cuộn dây và nhiều đoạn khác nhau (các đoạn làm bằng vật liệu khác nhau, hoặc tiết diện khác nhau), ví dụ mạch từ hình 2.19 thì định luật mạch từ viết là:

$$W_1 I_1 - W_2 I_2 = H_1 l_1 + H_2 l_2$$

Trong đó :

H_1, H_2 - tương ứng là cường độ từ trường trong đoạn 1, 2.

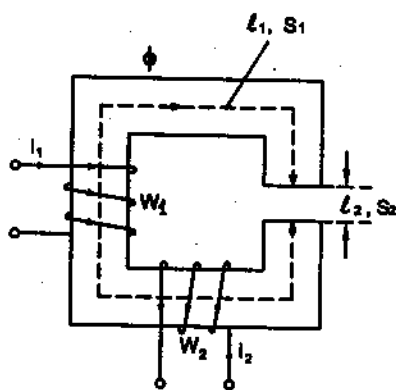
l_1, l_2 - chiều dài trung bình đoạn 1, 2.

$H_1 l_1, H_2 l_2$ - gọi là từ áp đoạn 1, 2.

$W_1 I_1, W_2 I_2$ - sức từ động dây quấn 1, 2.

S_1, S_2 - tiết diện đoạn 1, 2.

Chú ý rằng : có dấu - trước $W_2 I_2$ vì dòng điện I_2 sinh ra từ thông ngược với chiều từ thông đã chọn theo quy tắc vắn nút chai.



Hình 2.19

Một cách tổng quát đối với mạch từ có n đoạn và m cuộn dây định luật mạch từ được viết:

$$\sum_{j=1}^m W_j I_j = \sum_{k=1}^n H_k l_k \quad (2-15)$$

Trong đó : dòng điện I_j nào có chiều phù hợp với chiều từ thông ϕ đã chọn theo quy tắc vắn nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm.

k - Chỉ số tên đoạn mạch từ.

j - Chỉ số tên cuộn dây dòng điện.

Công thức 2-15 được gọi là định luật mạch từ.

Ví dụ 9 : Một mạch từ hình 2.20. Đường cong từ hoá $B = f(H)$ của vật liệu cho ở bảng sau :

B (T)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,35
H (A/m)	52	58	65	76	90	110	132	165	220	300	380	600	900

B (T)	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
H (A/m)	1200	2000	3000	4500	6000	10000	14000

Cho biết từ cảm trong khe hở $B_2 = 1,3T$ và cuộn dây có 1000 vòng. Tính dòng điện trong cuộn dây.

Lời giải:

Cường độ từ trường trong khe hở không khí.

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{1,3}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1035032 \text{ A/m}$$

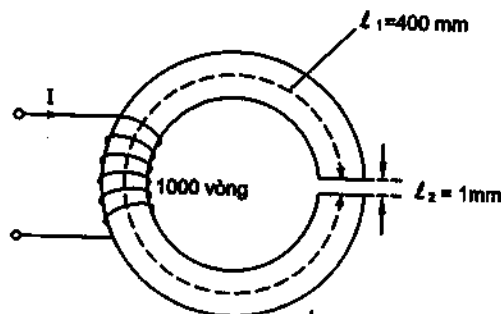
Cường độ từ trường trong đoạn thép : từ $B_1 = 1,3T$ tra bảng được $H_1 = 600 \text{ A/m}$.

Áp dụng định luật mạch từ :

$$W I = H_1 l_1 + H_2 l_2$$

$$1000 I = 600 \cdot 0,4 + 1035032 \cdot 0,001$$

$$\text{Từ đó : } I = \frac{1275}{1000} = 1,275 \text{ A}$$



Hình 2.20

Ví dụ 10 : Mạch từ hình 2.21 gồm 3 cuộn dây

$$W_1 = 2000 \text{ vòng ; } I_1 = 0,5 \text{ A}$$

$$W_2 = 400 \text{ vòng ; } I_2 = 1 \text{ A}$$

$$W_3 = 1000 \text{ vòng.}$$

Đường cong từ hoá của vật liệu $B = f(H)$ cho ở ví dụ 9. Cho biết từ thông trong lõi thép bằng $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$.

Xác định dòng điện I_3 .

Lời giải:

Chọn chiều từ thông như hình 2.21.

Từ cảm trong lõi thép

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ T}$$

Tra bảng đường cong từ hoá ở ví dụ 9.

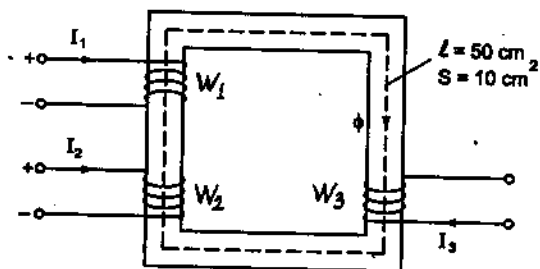
$$\text{Từ trị số: } B = 1,5 \text{ T ; } H = 3000 \text{ A/m}$$

Áp dụng định luật mạch từ:

$$Hl = W_1 I_1 - W_2 I_2 + W_3 I_3$$

$$\text{Suy ra: } I_3 = \frac{Hl - W_1 I_1 + W_2 I_2}{W_3} = \frac{3000 \cdot 0,5 - 2000 \cdot 0,5 + 400 \cdot 1}{1000}$$

$$I_3 = 0,9 \text{ A}$$



Hình 2.21

2. Định luật Ôm cho mạch từ

Từ (2-4) $H = \frac{B}{\mu}$ và (2-5) $BS = \phi$ thay vào biểu thức (2-14) ta có :

$$Wl = Hl = \frac{B}{\mu} \cdot \frac{Sl}{S} = \phi \cdot \frac{l}{\mu S} \quad (2-16)$$

Từ thông ϕ chạy trong mạch từ tương tự như dòng điện I chạy trong mạch điện, khi thiết lập mô hình mạch từ, từ biểu thức (2-16) người ta đưa vào các khái niệm sức từ động F_m và từ trở R_m như sau:

a. Sức từ động F_m

Sức từ động F_m đặc trưng cho khả năng tạo ra từ thông trong mạch từ.

(Tương tự như sức điện động E tạo ra dòng điện I trong mạch điện).

Sức từ động F_m của cuộn dây dòng điện được tính là:

$$F_m = WI \quad (2-17)$$

Trong đó :

W - số vòng dây

I - dòng điện chạy trong cuộn dây

Đơn vị của sức từ động là ampe, ký hiệu là A.

b. Từ trở R_m

Từ trở R_m là đại lượng đặc trưng cho vật dẫn từ về mặt cản trở từ thông chạy qua. (Tương tự như điện trở R hạn chế dòng điện trong mạch điện).

Từ trở của một vật dẫn từ phụ thuộc vào bản chất và kích thước của nó.

Từ trở của một vật dẫn từ đồng chất có hệ số từ thẩm μ , tiết diện S , chiều dài l được tính là:

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (2-18)$$

Đơn vị của từ trở là $\frac{1}{H} = \frac{A}{Wb}$

Sau khi đưa khái niệm sức từ động F_m , từ trở R_m , biểu thức (2-16) được viết là :

$$F_m = \phi R_m \quad (2-19)$$

Biểu thức (2-19) (tương tự như định luật Ôm cho mạch điện $E = IR$), được gọi là định luật Ôm cho mạch từ.

Ví dụ 11: Tính từ trở của một đoạn mạch từ làm bằng thép $\mu = 1500\mu_0$, có tiết diện ngang $S = 120\text{cm}^2$, chiều dài $l = 50\text{cm}$.

Lời giải :

Từ trở của đoạn mạch từ là :

$$R_m = \frac{l}{\mu S} = \frac{50 \cdot 10^{-2}}{1500 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 120 \cdot 10^{-4}} = 2,21 \cdot 10^4 \frac{1}{H}$$

Ví dụ 12 : Một nam châm điện một chiều có 1250 vòng dây, dòng điện chạy trong cuộn dây $I = 0,2\text{A}$. Tính sức từ động của nam châm điện.

Lời giải :

Sức từ động của nam châm điện

$$F_m = WI = 1250 \cdot 0,2 = 250\text{A}$$

Ví dụ 13: Một mạch từ như hình 2.22a, phần thép có chiều dài trung bình $l_{Fe} = 75\text{cm}$, tiết diện $S = 100\text{ cm}^2$, phần không khí có chiều dài $l_g = 2\text{mm}$. Biết hệ số từ thẩm của thép $\mu_{Fe} = 1725\mu_0$, dòng điện trong cuộn dây $I = 100\text{A}$.

Xác định số vòng dây W để có từ cảm trọng khe hở không khí $B_g = 1,3\text{T}$.

Lời giải :

Mô hình mạch từ vẽ trên hình 2.22b.

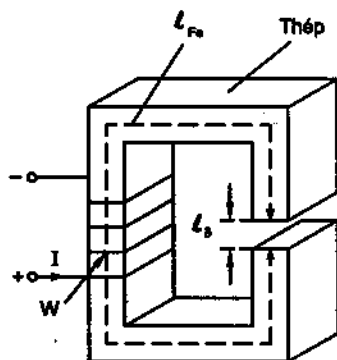
Trước hết tính từ trở của các đoạn mạch từ.

Từ trở phần thép :

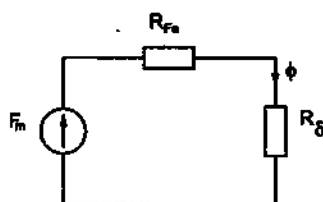
$$R_{Fe} = \frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}S} = \frac{75 \cdot 10^{-2}}{1725 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 3,46 \cdot 10^4 \frac{1}{H}$$

Từ trở phần khe hở không khí

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 S} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 1,59 \cdot 10^5 \frac{1}{H}$$



a)



b)

Hình 2.22

Từ thông chạy trong mạch từ :

$$\phi = B_g S = 1,3 \cdot 100 \cdot 10^{-4} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

Áp dụng định luật Ôm cho mạch từ ta có sức từ động toàn mạch:

$$WI = F_m = \phi (R_{Fe} + R_g) = 1,3 \cdot 10^{-2} (3,46 \cdot 10^4 + 1,59 \cdot 10^5)$$

$$F_m = 2516,8\text{A}$$

Số vòng dây là :

$$W = \frac{F_m}{I} = \frac{2516,8}{100} \approx 25 \text{ vòng}$$

Từ áp rơi trên phần thép U_{mFe}

$$U_{mFe} = \Phi R_{Fe} = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 3,46 \cdot 10^4 = 4,498 \cdot 10^2 \text{ A}$$

Từ áp rơi trên phần khe hở không khí

$$U_{m\delta} = \Phi R_{\delta} = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,59 \cdot 10^5 = 2,067 \cdot 10^3 \text{ A}$$

Tổng từ áp rơi trên toàn mạch là :

$$U_{mFe} + U_{m\delta} = 4,5 \cdot 10^2 + 2,067 \cdot 10^3 = 2516,8 \text{ A}$$

Ta thấy tổng từ áp rơi trên toàn mạch từ khép kín bằng tổng sức từ động F_m trong mạch từ (tương tự như định luật Kiécshôp 2 trong mạch điện đã học ở chương I).

Từ sự tương tự giữa mạch từ và mạch điện, ta có thể sử dụng các phương pháp giải mạch điện để giải mạch từ.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

2.1. Hãy viết biểu thức quan hệ giữa cường độ từ cảm B và từ thông Φ và đơn vị của chúng.

2.2. Hãy viết biểu thức quan hệ giữa cường độ từ cảm B và cường độ từ trường H và đơn vị của chúng.

2.3. Phát biểu định luật cảm ứng điện từ.

2.4. Phát biểu định luật lực điện từ.

2.5. So sánh sự tương tự giữa sơ đồ mạch điện và sơ đồ mạch từ, chỉ rõ các đại lượng tương tự nhau.

2.6. Từ thông xuyên qua một tiết diện $S = 50\text{cm}^2$ bằng $\Phi = 6 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$. Cho biết từ trường phân bố đều trên diện tích S . Tính cường độ từ cảm B .

Đáp số $B = 1,2\text{T}$

2.7. Một cuộn dây 500 vòng. Người ta đưa một nam châm tiến gần đến cuộn dây. Biết rằng tốc độ biến thiên từ thông qua cuộn dây là $0,6 \frac{\text{Wb}}{\text{s}}$. Tính sức điện động cảm ứng trong cuộn dây.

Đáp số $e = 300\text{V}$

2.8. Một thanh dẫn có chiều dài $l = 0,6\text{m}$ chuyển động thẳng góc với một từ trường đều giữa 2 cực của một nam châm. Cho biết diện tích mặt cực nam châm $s = 12\text{cm}^2$, từ thông dưới mỗi cực $\Phi = 1,44 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$, tốc độ $v = 14\text{m/s}$. Tính sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn.

Đáp số $e = 10,08\text{V}$

2.9. Thanh dẫn trong bài số 2.8 cung cấp điện cho điện trở $R = 2\Omega$. Tính lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn. Chiều của lực điện từ và chiều v quan hệ với nhau như thế nào? Vai trò của lực điện từ trong trường hợp này.

Đáp số $F_m = 3,6288 \text{ N}$; $\vec{F}$ đi ngược chiều $\vec{v}$; F_m đóng vai trò lực hãm.

2.10. Tính từ trở của đoạn mạch từ khe hở không khí dài $l = 2\text{mm}$, tiết diện $S = 120\text{cm}^2$.

Đáp số $R_M = 1,326 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{H}}$

2.11. Tính từ trở của đoạn mạch từ làm bằng thép dài $l = 7\text{cm}$; tiết diện hình vuông cạnh 3cm . Biết hệ số từ thẩm $\mu = 500 \mu_0$.

Đáp số: $R_M = 1,238 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{H}}$

2.12. Một mạch từ làm bằng thép có hệ số từ thẩm $\mu = 750 \mu_0$; chiều dài mạch từ $l = 1,26\text{m}$. Tiết diện mạch từ $S = 20\text{cm}^2$. Cuộn dây 650 vòng mang dòng điện $I = 3\text{A}$.

- Tính
- Sức từ động mạch từ
 - Từ trở R_M của mạch từ
 - Từ thông chạy trong mạch từ
 - Cường độ từ cảm và cường độ từ trường trong mạch từ.

Đáp số: $F_m = 1950 \text{ A}$

$$R_M = 6,68 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{H}}$$

$$\Phi = 2,917 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$B = 1,458 \text{ T}$$

$$H = 1547 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

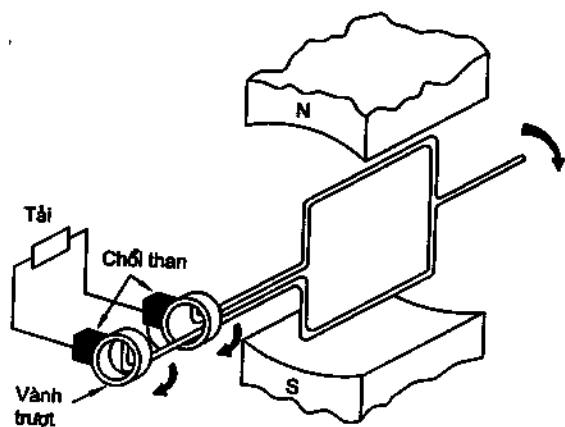
Chương 3

DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

Dòng điện xoay chiều hình sin được sử dụng phổ biến trong sản xuất và đời sống xã hội.

3.1. CÁCH TẠO RA SỨC ĐIỆN ĐỘNG XOAY CHIỀU HÌNH SIN

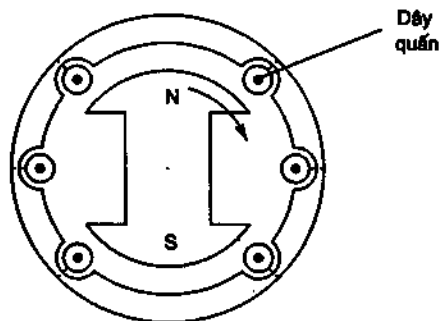
Ở chương 2, khi nghiên cứu về định luật cảm ứng điện từ, đã đưa ra các ví dụ về cách tạo ra sức điện động xoay chiều hình sin. Người ta tác dụng lực cơ học vào trục làm cho khung dây quay, cắt đường sức từ trường của nam châm NS, trong khung dây sẽ cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin.



Hình 3.1

Dòng điện cung cấp cho tải thông qua vòng trượt và chổi than (hình 3.1). Khi công suất điện lớn, cách lấy điện như vậy gặp nhiều khó khăn ở chỗ tiếp xúc giữa vành trượt và chổi than.

Trong công nghiệp, máy phát điện xoay chiều được chế tạo như sau: dây quấn đứng yên trong các rãnh của lõi thép là phần tĩnh và nam châm NS là phần quay.



Hình 3.2

Khi tác dụng lực cơ học vào trục làm nam châm NS quay, trong dây quấn ở phần tĩnh sẽ cảm ứng ra sức điện động xoay chiều hình sin. Dây quấn đứng yên nên việc lấy điện cung cấp cho tải rất an toàn và thuận lợi. Mô hình của máy phát điện xoay chiều vẽ trên hình 3.2.

Cấu tạo chi tiết của máy phát điện xoay chiều được viết trong sách máy điện.

3.2. CÁC ĐỊNH NGHĨA VỀ DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

Dòng điện xoay chiều hình sin là dòng điện biến đổi một cách chu kỳ theo quy luật hình sin với thời gian, được biểu diễn bằng đồ thị hình sin trên hình 3.3.

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \Psi_i) \quad (3-1)$$

1. Chu kỳ T, tần số f, tần số góc ω

Chu kỳ T là khoảng thời gian ngắn nhất để dòng điện lặp lại trị số và chiều biến thiên.

Tần số f là số chu kỳ của dòng điện trong một giây

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

Đơn vị của tần số là héc, ký hiệu là Hz.

Tần số góc ω là tốc độ biến thiên của dòng điện hình sin, đơn vị là rad/s.

Quan hệ giữa tần số góc ω và tần số f là:

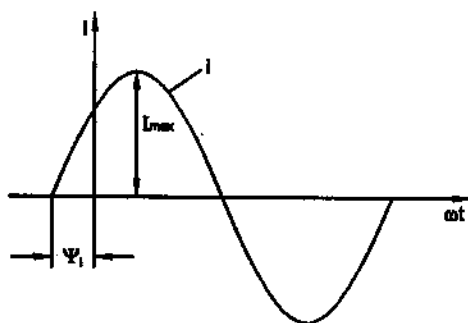
$$\omega = 2\pi f \quad (3-3)$$

Ví dụ 1: Trên hình 3.4 vẽ điện áp xoay chiều hình sin.

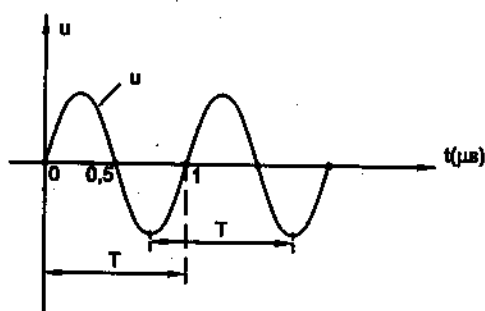
Hãy xác định chu kỳ T và tần số f.

Lời giải: Chu kỳ T của điện áp được xác định một cách dễ dàng từ điểm trị số 0 tới thời điểm 0 liên sau đó.

$$T = 1 \mu s$$



Hình 3.3



Hình 3.4

Tần số của điện áp

$$f = \frac{1}{1.10^{-6}} = 10^6 \text{ Hz}$$

Ví dụ 2: Dòng điện xoay chiều trong sản xuất và sinh hoạt ở nước ta có tần số $f = 50\text{Hz}$. Tính chu kỳ T và tần số góc ω .

Lời giải: Chu kỳ của dòng điện

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02\text{s}$$

Tần số góc của dòng điện

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

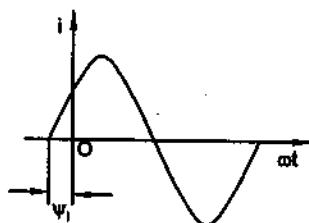
2. Trị số tức thời của dòng điện

Trị số tức thời là trị số ứng với mỗi thời điểm t . Trong biểu thức (3-1) trị số tức thời phụ thuộc vào biên độ $I_{\max}$ và góc pha $(\omega t + \Psi_i)$.

- Biên độ $I_{\max}$ là trị số cực đại, nói lên dòng điện lớn hay nhỏ.

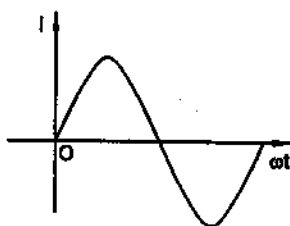
- Góc pha $(\omega t + \Psi_i)$ nói lên trạng thái của dòng điện ở thời điểm t . Ở thời điểm $t = 0$ góc pha của dòng điện là Ψ_i . Ψ_i được gọi là góc pha ban đầu (hoặc gọi ngắn gọn là pha đầu) của dòng điện.

Góc pha đầu Ψ phụ thuộc vào thời điểm chọn làm gốc thời gian (thời điểm $t = 0$). Góc pha đầu là đoạn NO trong đó N là điểm dòng điện đi qua trị số không từ âm đến dương, gần điểm gốc O nhất. Trên hình 3.5 chỉ ra góc pha đầu Ψ_i khi chọn gốc tọa độ khác nhau.



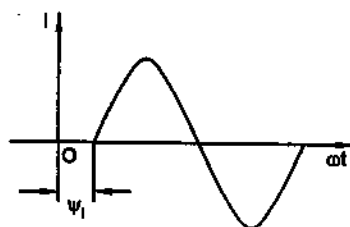
$\Psi_i > 0$

a)



$\Psi_i = 0$

b)



$\Psi_i < 0$

c)

Hình 3.5

Ví dụ 3: Trên hình 3.6 vẽ đường cong biến thiên của dòng điện có tần số góc $\omega = 314\text{rad/s}$.

Hãy xác định biên độ, pha đầu Ψ_i và viết biểu thức dòng điện tức thời, khi chọn gốc toạ độ ở điểm O, O' và O''.

Lời giải:

Dựa vào đồ thị của dòng điện ta có:

$$I_{\max} = 4,5A$$

a) Khi chọn gốc toạ độ ở điểm O, pha đầu $\Psi_i = 0$

Biểu thức dòng điện tức thời

$$i = 4,5\sin 314t$$

b) Khi chọn gốc toạ độ ở điểm O'

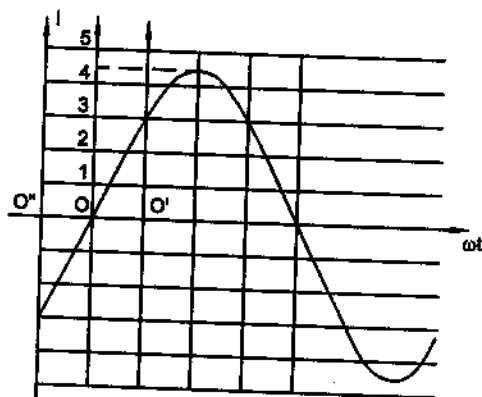
$$\Psi_i = \frac{\pi}{4}$$

$$i = 4,5\sin \left(314t + \frac{\pi}{4} \right)$$

c) Khi chọn gốc toạ độ ở O''

$$\Psi_i = -\frac{\pi}{4}$$

$$i = 4,5\sin \left(314t - \frac{\pi}{4} \right)$$



Hình 3.6

3. Góc lệch pha φ giữa điện áp và dòng điện

Ở trên đã xét biểu thức trị số tức thời của dòng điện

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

Một cách tương tự, ta có biểu thức trị số tức thời của điện áp

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

Trong đó $U_{\max}$, Ψ_u - biên độ, pha đầu của điện áp. Điện áp và dòng điện biến thiên cùng tần số, song phụ thuộc vào tính chất mạch điện, góc pha của chúng có thể không trùng nhau, người ta gọi giữa chúng có sự lệch pha. Góc φ thường được dùng để ký hiệu góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện.

$$\varphi = \Psi_u - \Psi_i \quad (3-4)$$

Khi $\varphi > 0$ – điện áp vượt trước dòng điện (hoặc dòng điện chậm sau điện áp)

$\varphi < 0$ – điện áp chậm sau dòng điện (hoặc dòng điện vượt trước điện áp)

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

3.3. TRỊ SỐ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN

Ta biết rằng tác dụng nhiệt và lực điện từ tỷ lệ với bình phương dòng điện. Đối với dòng điện biến thiên có chu kỳ T thì tác dụng này tỷ lệ với trị số trung bình bình phương của dòng điện trong một chu kỳ T .

Trị số trung bình bình phương trong một chu kỳ được gọi là trị số hiệu dụng I .

Trị số hiệu dụng của dòng điện được tính là :

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

Thay thế $i = I_{\max} \sin \omega t$ vào biểu thức trên.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_{\max}^2 \sin^2 \omega t dt} = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt}$$

$$\text{Vì } \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{2} \text{ cho nên}$$

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

$$\text{Trong đó: } \frac{1}{2} \int_0^T dt = \frac{T}{2}$$

$$\frac{1}{2} \int_0^T \cos 2\omega t dt = 0$$

$$\text{Cho nên } \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{T}{2}$$

$$\text{Do đó } I = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \frac{T}{2}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Vậy trị số hiệu dụng của dòng điện hình sin là:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_{\max} \quad (3-5)$$

Tương tự như vậy ta có trị số hiệu dụng của điện áp và sức điện động xoay chiều hình sin là :

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707U_{\max} \quad (3-6)$$

$$E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707E_{\max} \quad (3-7)$$

Trị số hiệu dụng là đại lượng quan trọng của mạch điện xoay chiều. Ta nói dòng điện xoay chiều này bằng bao nhiêu ampe hoặc điện áp xoay chiều này bằng bao nhiêu von là nói trị số hiệu dụng của chúng. Các trị số ghi trên nhãn các thiết bị điện, các dụng cụ đo lường (sử dụng dòng điện xoay chiều) là trị số hiệu dụng.

Chú ý : Để phân biệt cần chú ý các ký hiệu:

- i, u – trị số tức thời, ký hiệu chữ in thường
- I, U – trị số hiệu dụng ký hiệu chữ in hoa
- $I_{\max}, U_{\max}$ – biên độ (trị số cực đại).

Ví dụ 4: Dòng điện hình sin trong ví dụ 3 chạy qua điện trở $R = 10\Omega$. Tính công suất P , điện năng A của điện trở tiêu thụ trong 20 giờ.

Lời giải : Trị số cực đại dòng điện $I_{\max} = 4,5A$, trị số hiệu dụng của dòng điện qua điện trở là :

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{4,5}{\sqrt{2}} = 3,18A$$

Công suất điện P của điện trở

$$P = RI^2 = 10 \cdot (3,18)^2 = 101,1W$$

Điện năng điện trở tiêu thụ trong 20h

$$A = Pt = 101,1 \cdot 20 = 2022Wh = 2,022.kWh$$

3.4. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN BẰNG VECTOR

Ở trên ta đã biểu diễn điện áp, dòng điện bằng đường hình sin, cách biểu diễn này cũng như biểu thức giải tích trị số tức thời, giúp ta thấy rõ quy luật biến thiên, song sử dụng để tính toán sẽ không thuận tiện, vì thế ta đưa vào cách biểu diễn bằng vector.

Từ biểu thức trị số tức thời dòng điện

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

Ta thấy khi tần số đã cho, nếu biết trị số hiệu dụng I và pha đầu Ψ_i , thì dòng điện i hoàn toàn xác định.

Từ toán học, vector được đặc trưng bởi độ dài (độ lớn, mô đun) và góc (argumen), từ đó ta có thể dùng vector để biểu diễn dòng điện hình sin (hình 3.7) như sau :

Độ dài của vectơ biểu diễn trị số hiệu dụng.

Góc của vectơ với trục ox biểu diễn góc pha đầu. Ta ký hiệu như sau:

Vectơ dòng điện : $\vec{I} = I \angle \psi_i$

Vectơ điện áp : $\vec{U} = U \angle \psi_u$

Ví dụ 5 : Hãy biểu diễn dòng điện, điện áp bằng vectơ và chỉ ra góc lệch pha φ , cho biết

$$i = 20\sqrt{2} \sin(\omega t - 10^\circ) \text{ A}$$

$$u = 100\sqrt{2} \sin(\omega t + 40^\circ) \text{ V.}$$

Lời giải :

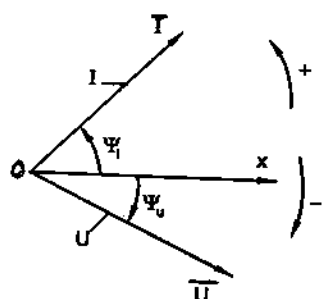
Vectơ dòng điện $\vec{I}$

$$\vec{I} = 20 \angle -10^\circ$$

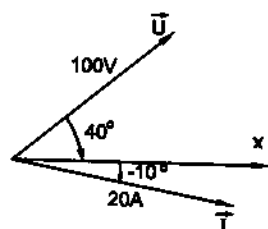
Vectơ điện áp $\vec{U}$

$$\vec{U} = 100 \angle 40^\circ$$

Chọn tỷ lệ xích cho dòng điện, và tỷ lệ xích cho điện áp, sau đó biểu diễn chúng bằng vectơ trên hình 3.8. Chú ý góc pha dương, âm được xác định theo quy ước trên hình 3.7.



Hình 3.7



Hình 3.8

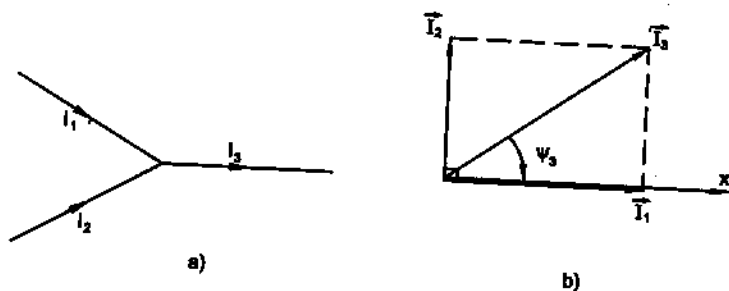
Góc lệch pha φ giữa điện áp và dòng điện là góc giữa 2 vectơ $\vec{U}$ và $\vec{I}$.

Phương pháp biểu diễn vectơ giúp ta dễ dàng cộng hoặc trừ các đại lượng dòng điện, điện áp xoay chiều hình sin.

Ví dụ 6: Tính dòng điện i_3 trong hình 3.9a. Cho biết trị số tức thời $i_1 = 16\sqrt{2} \sin \omega t$; $i_2 = 12\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ)$.

Lời giải: Áp dụng định luật Kiécshôp 1 tại nút ta có

$$i_3 = i_1 + i_2$$



Hình 3.9

Ta không cộng trực tiếp trị số tức thời đã cho, mà biểu diễn chúng thành vector (hình 3.9b)

$$\vec{I}_1 = 16 \angle 0^\circ$$

$$\vec{I}_2 = 12 \angle 90^\circ$$

Rồi tiến hành cộng vector

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

Trị số hiệu dụng của dòng điện I_3 là:

$$I_3 = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20A$$

Góc pha của dòng điện i_3 là:

$$\tan \psi_3 = \frac{12}{16} = 0,75$$

$$\text{Góc } \psi_3 = 36,87^\circ$$

Biết được trị số hiệu dụng I và góc pha đầu ψ_1 ta xác định dễ dàng trị số tức thời.

Trị số tức thời dòng điện i_3

$$i_3 = 20 \sqrt{2} \sin(\omega t + 36,87^\circ)$$

Việc ứng dụng vector để biểu diễn các đại lượng và các quan hệ trong mạch điện cũng như để giải mạch điện sẽ được đề cập trong các mục tiếp theo.

3.5. QUAN HỆ GIỮA DÒNG ĐIỆN, ĐIỆN ÁP CỦA MỘT NHÁNH

Nhánh là phần tử cơ bản của mạch điện, vì thế trước hết ta phải xét các quan hệ trong nhánh.

1. Nhánh thuần điện trở R

Khi có dòng điện $i = I\sqrt{2} \sin \omega t$ chạy qua điện trở R (hình 3.10a), áp dụng định luật Ôm, điện áp trên điện trở là :

$$u_R = Ri = RI\sqrt{2} \sin \omega t = U_R \sqrt{2} \sin \omega t$$

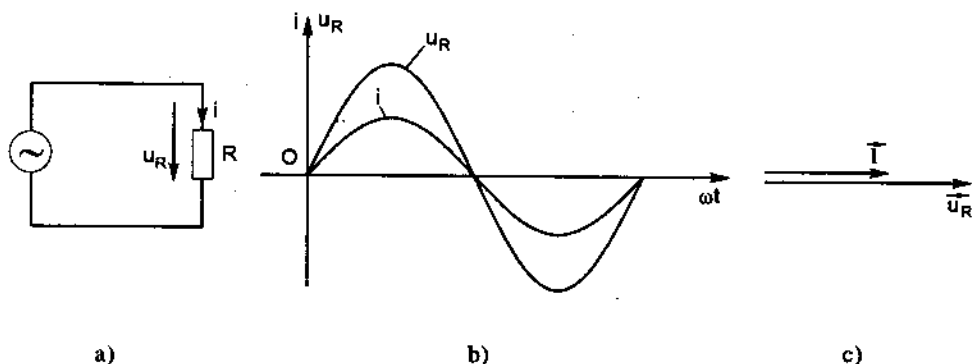
trong đó U_R là trị số hiệu dụng của điện áp trên điện trở R .

So sánh biểu thức của i và u_R ta thấy:

- Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của điện áp và dòng điện (định luật Ôm cho trị số hiệu dụng).

$$U_R = RI \quad \text{hoặc} \quad I = \frac{U_R}{R} \quad (3-8)$$

- Dòng điện và điện áp có cùng tần số và trùng pha nhau. Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện $\varphi = \Psi_u - \Psi_i = 0$. Đồ thị vectơ dòng điện, điện áp vẽ trên hình 3.10c.



Hình 3.10

Ví dụ 7: Một bàn là điện có điện trở $R = 48,4\Omega$, đấu vào nguồn điện xoay chiều điện áp $U = 220V$. Tính trị số dòng điện hiệu dụng I và công suất điện bàn là tiêu thụ. Vẽ đồ thị vectơ dòng điện, điện áp.

Lời giải:

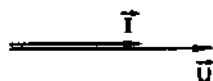
Trị số hiệu dụng của dòng điện

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{48,4} = 4,54A$$

Công suất điện bàn là tiêu thụ

$$P = RI^2 = 48,4 \cdot 4,54^2 \approx 1000W$$

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 3.11 trong đó dòng điện trùng pha điện áp.



Hình 3.11

2. Nhánh thuần điện cảm L

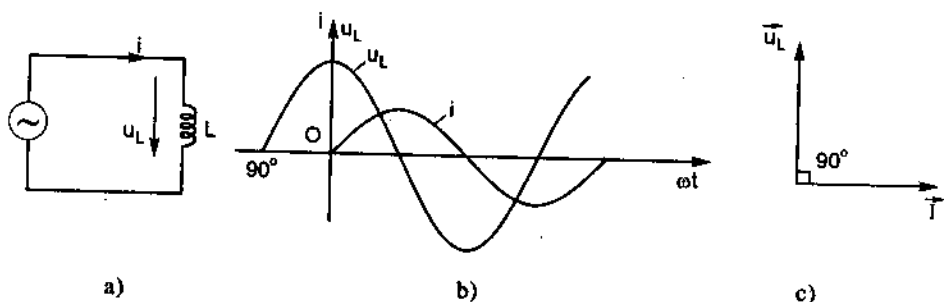
Ta xét một cuộn dây thuần điện cảm L (coi điện trở R của cuộn dây bằng không). Khi cho dòng điện xoay chiều chạy qua cuộn dây, sẽ có từ thông biến thiên xuyên qua cuộn dây, trong cuộn dây sẽ cảm ứng sức điện động tự cảm e_L và giữa 2 cực của cuộn dây sẽ có điện áp cảm ứng u_L

(hình 3.12a).
$$u_L = \frac{L di}{dt}$$

Nếu dòng điện $i = I\sqrt{2} \sin \omega t$ thì

$$u_L = L \frac{d}{dt} (I\sqrt{2} \sin \omega t) = \omega LI \sqrt{2} \cos \omega t$$

$$= \omega LI \sqrt{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_L \sqrt{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$



Hình 3.12

So sánh biểu thức của i và u_L ta thấy :

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

$$U_L = \omega LI \quad \text{hoặc} \quad I = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{X_L} \quad (3-9)$$

Đại lượng ωL có thứ nguyên của điện trở, được gọi là cảm kháng X_L có đơn vị là Ôm (Ω)

$$X_L = \omega L \quad (3-10)$$

- Dòng điện i và điện áp u_L có cùng tần số, song điện áp vượt trước dòng điện góc pha $\frac{\pi}{2}$ (hình 3.12b).

Đồ thị vector điện áp và dòng điện vẽ trên hình 3.12c.

Ví dụ 8 : Một cuộn dây thuần điện cảm $L = 0,015H$ đóng vào nguồn điện có điện áp $u = 100\sqrt{2} \sin \left(314t + \frac{\pi}{3} \right) V$.

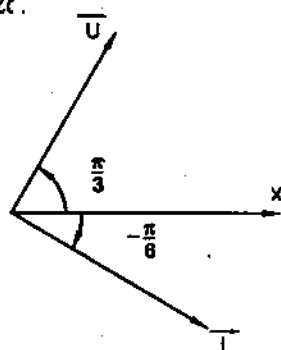
Tính trị số hiệu dụng I và góc pha đầu dòng điện Ψ_i .
Vẽ đồ thị vector dòng điện, điện áp.

Lời giải: Điện kháng của cuộn dây

$$X_L = \omega L = 314 \cdot 0,015 = 4,71 \Omega$$

Trị số hiệu dụng dòng điện

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{100}{4,71} = 21,23 A$$



Hình 3.13

Góc pha đầu dòng điện

$$\psi_i = \psi_u - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{6}$$

Trị số tức thời của dòng điện: $i = 21,23 \sqrt{2} \sin\left(314t - \frac{\pi}{6}\right)$

Đồ thị vector dòng điện, điện áp vẽ trên hình 3.13.

3. Nhánh thuần điện dung C

Khi ta đặt điện áp xoay chiều lên một tụ điện thuần điện dung C (hình 3.14a), điện áp trên tụ điện là u_C .

$$u_C = U_C \sqrt{2} \sin \omega t$$

Tụ điện được nạp điện tích $dq = Cdu_C$ và dòng điện chạy qua tụ điện là :

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} = \frac{Cdu_C}{dt} = \frac{Cd}{dt} (U_C \sqrt{2} \sin \omega t) \\ &= \omega C U_C \sqrt{2} \cos \omega t = I \sqrt{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned}$$

So sánh biểu thức dòng điện và điện áp ta thấy :

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

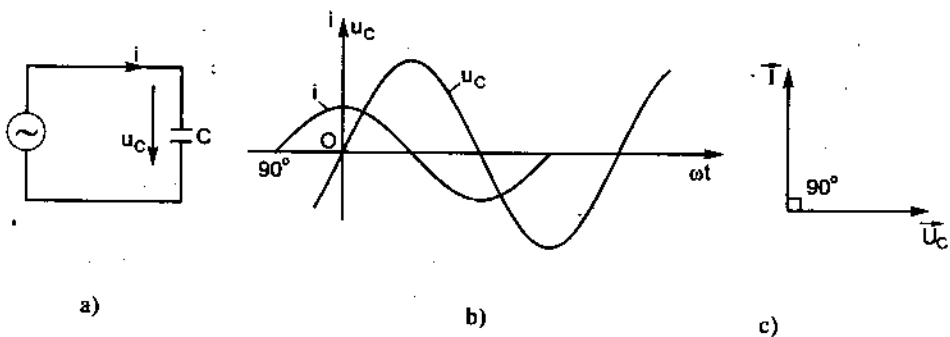
$$I = \omega C U_C = \frac{U_C}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_C}{X_C} \quad (3-11a)$$

hoặc

$$U_C = I X_C \quad (3-11b)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (3-12)$$

Đại lượng $X_C = \frac{1}{\omega C}$ có thứ nguyên của điện trở được gọi là dung kháng, đơn vị là Ôm (Ω).



Hình 3.14

- Dòng điện và điện áp có cùng tần số, song điện áp u_c chậm sau dòng điện i một góc pha $\frac{\pi}{2}$ (hoặc dòng điện i vượt trước điện áp u_c một góc $\frac{\pi}{2}$) (hình 3.14b).

Đồ thị vector dòng điện và điện áp vẽ trên hình 3.14c.

Ví dụ 9: Trị số tức thời của dòng điện chạy qua tụ điện có điện dung

$$C = 2.10^{-3} \text{ F là } i = 100\sqrt{2} \sin\left(314t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ A}$$

Tính trị số hiệu dụng và pha đầu của điện áp đặt lên tụ điện.

Lời giải : Dung kháng của tụ điện.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314.2.10^{-3}} = 1,59 \Omega$$

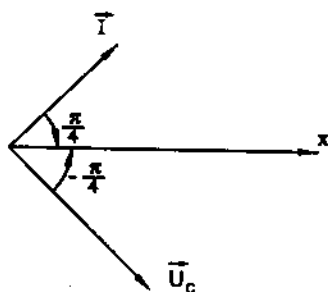
Trị số hiệu dụng điện áp trên tụ điện

$$U_c = X_C I = 1,59 \cdot 100 = 159 \text{ V}$$

Góc pha đầu của điện áp trên tụ điện là:

$$\psi_u = \psi_i - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{4}$$

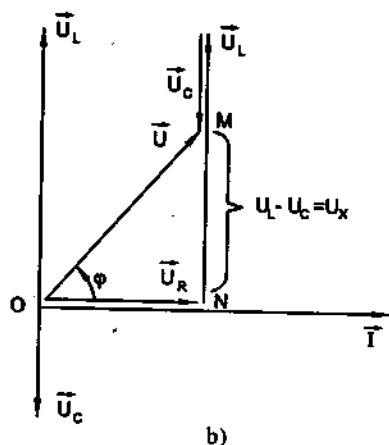
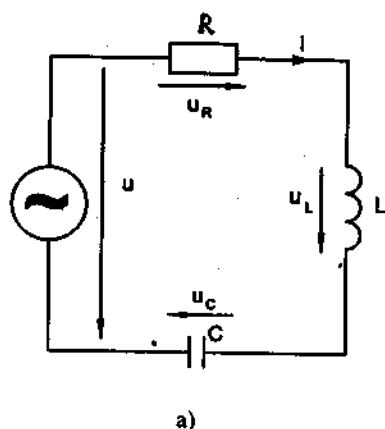
Đồ thị vector dòng điện, điện áp vẽ trên hình 3.15.



Hình 3.15

4. Nhánh điện trở, điện cảm, điện dung mắc nối tiếp

Khi cho dòng điện $i = I\sqrt{2} \sin \omega t$ chạy trong nhánh có L, R, C mắc nối tiếp, sẽ gây ra điện áp rơi trên điện trở u_R , trên điện cảm u_L , trên điện dung u_C (hình 3.16a).



Hình 3.16

Trị số tức thời của điện áp u ở hai đầu của nhánh là:

$$u = u_R + u_L + u_C$$

Biểu diễn bằng vectơ ta có:

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

Để vẽ đồ thị vectơ của mạch, trước hết ta vẽ vectơ dòng điện $\vec{I}$ trùng với trục ox (vì pha đầu của dòng điện đã cho $\Psi_i = 0$), sau đó, dựa vào các quan hệ vectơ trong các nhánh thuần R, L, C vẽ vectơ $\vec{U}_R$ có độ lớn $U_R = RI$ và trùng pha với dòng điện, vectơ $\vec{U}_L$ có độ lớn $U_L = X_L I$ và vượt trước $\vec{I}$ một góc 90° , vectơ $\vec{U}_C$ có độ lớn $U_C = X_C I$ và chậm sau $\vec{I}$ một góc 90° . Tiến hành cộng hình học các vectơ $\vec{U}_R, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ ta được vectơ $\vec{U}$ (hình 3.16b).

Từ tam giác vuông OMN ta có :

Trị số hiệu dụng của điện áp

$$\begin{aligned} U = OM &= \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(RI)^2 + (X_L I - X_C I)^2} \\ &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \cdot I = zI \end{aligned}$$

Góc lệch pha giữa điện áp $\vec{U}$ và dòng điện $\vec{I}$ là :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{(X_L - X_C)I}{RI} = \frac{X_L - X_C}{R} \\ \varphi &= \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} \end{aligned}$$

Ta có kết luận sau :

- Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của điện áp và dòng điện trong nhánh R, L, C nối tiếp là:

$$U = zI \quad \text{hoặc} \quad I = \frac{U}{z} \quad (3-13)$$

Trong đó
$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (3-14)$$

gọi là tổng trở của nhánh R, L, C nối tiếp.

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C} \text{ gọi là điện kháng}$$

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

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} \quad (3-15)$$

Khi $X_L > X_C$ nhánh có tính cảm, $\varphi > 0$, điện áp vượt trước dòng điện.

Khi $X_L < X_C$ nhánh có tính dung, $\varphi < 0$, điện áp chậm sau dòng điện.

Khi $X_L = X_C$, $X = X_L - X_C = 0$, $\varphi = 0$, điện áp trùng pha với dòng điện, nhánh R, L, C lúc này có hiện tượng cộng hưởng nối tiếp, dòng điện trong mạch có trị số lớn nhất

$I = \frac{U}{R}$ và trùng pha với điện áp (hình 3.17).

Nếu mạch có $X_L = X_C \gg R$ thì trị số hiệu dụng điện áp U_L , U_C lớn hơn điện áp U rất nhiều.

Điều kiện để cộng hưởng nối tiếp là :

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

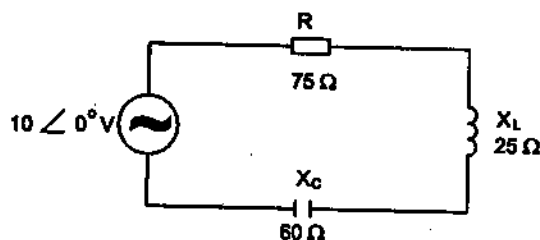
Tần số góc cộng hưởng là

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

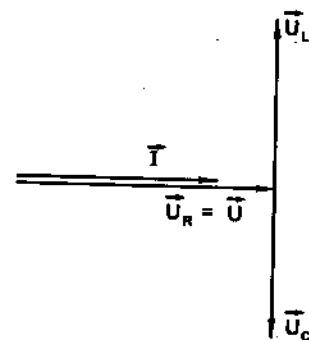
Ví dụ 10: Cho mạch điện có R, L, C nối tiếp (hình 3.18a), biết điện áp đầu cực của nguồn $u = 10\sqrt{2} \sin \omega t$.

Tính dòng điện I và điện áp trên các phần tử U_R , U_L , U_C . Vẽ đồ thị vectơ mạch điện.

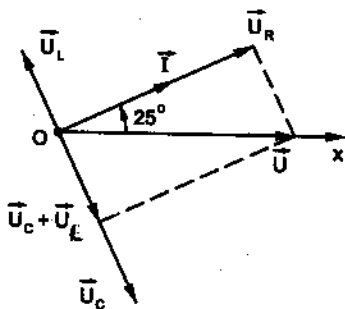
Lời giải: Tổng trở của mạch điện có R, L, C nối tiếp



a)



Hình 3.17



b)

Hình 3.18

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{75^2 + (25 - 60)^2} = 82,8\Omega$$

Dòng điện I chạy trong mạch

$$I = \frac{U}{z} = \frac{10}{82,8} = 0,121\text{A}$$

Điện áp trên các phần tử

$$U_R = RI = 75 \cdot 0,121 = 9,08\text{V}$$

$$U_L = X_L I = 25 \cdot 0,121 = 3,03\text{V}$$

$$U_C = X_C I = 60 \cdot 0,121 = 7,27\text{V}$$

Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện:

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{25 - 60}{75} = -0,466$$

$$\varphi = -25^\circ$$

$\varphi < 0$ cho ta biết dòng điện vượt trước điện áp.

Để vẽ đồ thị vector (hình 3.18b), trước hết vẽ vector điện áp trùng với trục ox ($\Psi_u = 0$) sau đó vẽ vector dòng điện $\vec{I}$ vượt trước điện áp $\vec{U}$ một góc 25° . Vector $\vec{U}_R$ trùng pha với $\vec{I}$, vector $\vec{U}_L$ vượt trước $\vec{I}$ một góc 90° , vector $\vec{U}_C$ chậm sau dòng điện $\vec{I}$ một góc 90° . Chú ý: $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$

Ví dụ 11: Một mạch điện R, L, C nối tiếp (hình 3.19)

Điện áp đầu cực của nguồn $U = 20\text{V}$, tính dòng điện trong mạch khi tần số $f = 1\text{kHz}$ và $f = 2\text{kHz}$.

Lời giải:

a) Khi $f = 1\text{kHz}$

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 628\Omega.$$

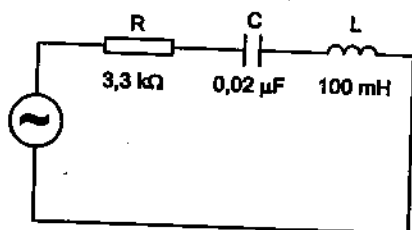
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-8}} = 7960\Omega.$$

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3300^2 + (628 - 7960)^2} = 8040\Omega$$

$$I = \frac{U}{z} = \frac{20}{8,04 \cdot 10^3} = 2,48 \cdot 10^{-3}\text{A}.$$

b) Khi $f = 2\text{kHz}$

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 1260\Omega.$$



Hình 3.19

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-8}} = 3980\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3300^2 + (1260 - 3980)^2} = 4280\Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{20}{4,28 \cdot 10^3} = 4,67 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Ví dụ 12: Cho mạch điện R, L, C nối tiếp (hình 3.20a). Điện áp nguồn $U = 200\text{V}$; $f = 50\text{Hz}$. Xác định C để mạch có cộng hưởng nối tiếp. Tính dòng điện I và điện áp trên các phần tử U_R , U_L , U_C .

Lời giải : Để có cộng hưởng nối tiếp thì

$$X_C = X_L = 500\Omega.$$

Điện dung C của mạch điện

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 500} = 6,37 \cdot 10^{-6} \text{ F}.$$

Dòng điện khi cộng hưởng

$$I = \frac{U}{R} = \frac{200}{100} = 2 \text{ A}.$$

Điện áp trên điện trở bằng điện áp nguồn

$$U_R = U = 200\text{V}.$$

Điện áp trên điện cảm

$$U_L = X_L I = 500 \cdot 2 = 1000\text{V}.$$

Điện áp trên điện dung

$$U_C = X_C I = 500 \cdot 2 = 1000\text{V}.$$

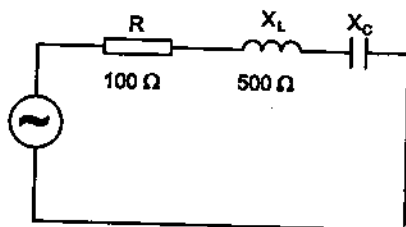
Điện áp U_L , U_C lớn hơn điện áp nguồn rất nhiều.

Đồ thị vectơ của mạch điện khi cộng hưởng vẽ trên hình 3.20b

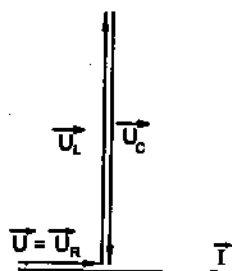
Ví dụ 13 : Mạch điện có R, L nối tiếp (hình 3.21a). Biết dòng điện $I = 0,2\text{mA}$, tần số dòng điện $f = 10\text{kHz}$.

a) Xác định điện áp U, U_R , U_L và vẽ đồ thị vectơ của mạch.

b) Thay L bằng C, cho biết dòng điện I có trị số không đổi. Xác định C và vẽ đồ thị vectơ trong trường hợp này.



a) Hình 3.20



b)

Lời giải:

a) Mạch RL nối tiếp :

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 6280\Omega$$

$$z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10000^2 + 6280^2} = 11800\Omega$$

$$U = zI = 11,8 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 2,36V$$

$$U_L = X_L I = 6,28 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1,256V$$

$$U_R = RI = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 2V$$

Đồ thị vectơ của mạch điện R, L vẽ trên hình 3.21b.

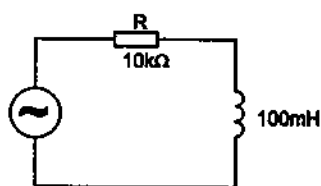
b) Mạch RC nối tiếp :

Vì I không đổi, nên tổng trở z không đổi. Từ biểu thức $z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ ta có:

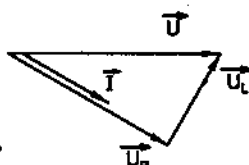
$$X_C = \sqrt{z^2 - R^2} = \sqrt{11800^2 - 10000^2} = 6280\Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 6,28 \cdot 10^3} = 2,53 \cdot 10^{-9}F$$

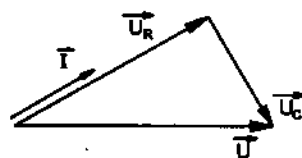
Đồ thị vectơ của mạch điện R, C vẽ trên hình 3.21c.



a)



b)



c)

Hình 3.21

3.6. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Trong mạch điện xoay chiều R, L, C nối tiếp có 2 quá trình năng lượng sau :

- Quá trình tiêu thụ điện năng và biến đổi sang dạng năng lượng khác (tiêu tán, không còn tồn tại trong mạch điện). Thông số đặc trưng cho quá trình này là điện trở R.

- Quá trình trao đổi, tích lũy năng lượng điện từ trường trong mạch. Thông số đặc trưng cho quá trình này là điện cảm L và điện dung C.

Tương ứng với 2 quá trình ấy, người ta đưa ra khái niệm công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q.

1. Công suất tác dụng P

Công suất tác dụng P là công suất điện trở R tiêu thụ, đặc trưng cho quá trình biến đổi điện năng sang dạng năng lượng khác như nhiệt năng, quang năng,....

$$P = RI^2 \quad (3-16)$$

Từ đồ thị vectơ hình 3.16b

$$U_R = RI = U \cos \varphi$$

Thay vào (3-16) ta có

$$P = RI^2 = U_R I = UI \cos \varphi \quad (3-17)$$

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

2. Công suất phản kháng Q

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

$$Q = XI^2 = (X_L - X_C)I^2 \quad (3-18)$$

Từ đồ thị vectơ hình 3.16b

$$U_X = XI = U \sin \varphi$$

Thay vào (3-18) ta có

$$Q = XI^2 = U_X I = U \sin \varphi \quad (3-19)$$

Nhìn vào (3-18) thấy rõ công suất phản kháng của mạch gồm:

Công suất phản kháng của điện cảm Q_L

$$Q_L = X_L I^2 \quad (3-20)$$

Công suất phản kháng của điện dung Q_C

$$Q_C = -X_C I^2 \quad (3-21)$$

3. Công suất biểu kiến S

Để đặc trưng cho khả năng của thiết bị và nguồn thực hiện 2 quá trình năng lượng xét ở trên, người ta đưa ra khái niệm công suất biểu kiến S được định nghĩa như sau:

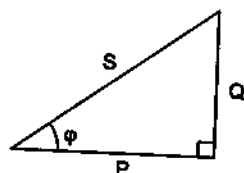
$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3-22)$$

Biểu thức của P, Q có thể viết theo S như sau:

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

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

Từ 2 công thức này thấy rõ, cực đại của công suất tác dụng P (khi $\cos \varphi = 1$), cực đại của công suất phản kháng Q (khi $\sin \varphi = 1$) là công suất biểu kiến S. Vậy S nói lên khả năng của thiết bị. Trên nhãn của máy phát điện, máy biến áp, người ta ghi công suất biểu kiến S định mức.



Hình 3.22

Quan hệ giữa P, Q, S được mô tả bằng một tam giác vuông (hình 3.22) trong đó S là cạnh huyền, P, Q là 2 cạnh góc vuông.

P, Q, S có cùng thứ nguyên, song để phân biệt ta cho các đơn vị khác nhau:

Đơn vị của P: W, kW, MW

Đơn vị của Q: VAR, kVAR, MVAR

Đơn vị của S: VA, kVA, MVA

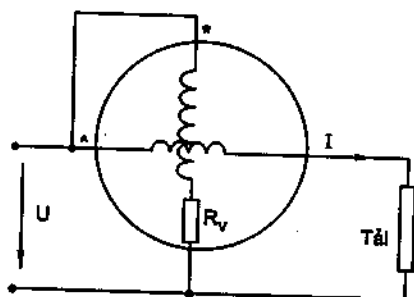
4. Đo công suất tác dụng P

Để đo công suất tác dụng P, người ta thường dùng oát kế kiểu điện động (hình 3.23).

Oát kế điện động gồm 2 cuộn dây, cuộn dòng điện (có tiết diện lớn) ở phần tĩnh, mắc nối tiếp với tải, cuộn điện áp (tiết diện nhỏ, nhiều vòng dây) ở phần động, mắc song song với điện áp tải, có dòng điện

$i_v = \frac{u}{R_v}$. Lực điện từ tác dụng vào

phần động tỷ lệ với tích hai dòng điện i và i_v nghĩa là tỷ lệ với $p = ui$, do đó mô men quay trung bình của dụng cụ sẽ tỷ lệ với công suất tác dụng P.



Hình 3.23

Khi sử dụng oát kế cần chú ý nối đúng cực tính của cuộn dây (đầu đánh dấu *).

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

Trong biểu thức công suất tác dụng $P = UI\cos\varphi$, $\cos\varphi$ được coi là hệ số công suất.

Hệ số công suất phụ thuộc vào thông số của mạch điện. Trong nhánh R, L, C nối tiếp

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

hoặc
$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

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

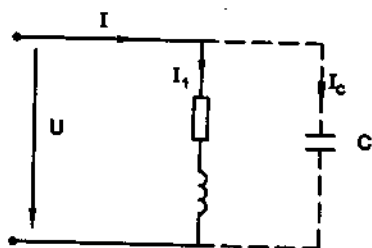
- Nâng cao hệ số công suất sẽ tận dụng tốt công suất nguồn (máy phát điện, máy biến áp,...) cung cấp cho tải. Ví dụ một máy phát điện có công suất định mức $S_{dm} = 10000\text{kVA}$, nếu hệ số công suất của tải $\cos\varphi = 0,5$, công suất tác dụng của máy phát cho tải $P = S_{dm}\cos\varphi = 10000 \cdot 0,5 = 5000\text{kW}$. Nếu $\cos\varphi = 0,9$ thì $P = 10000 \cdot 0,9 = 9000\text{kW}$. Rõ ràng là khi $\cos\varphi$ cao máy phát ra nhiều công suất hơn.

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

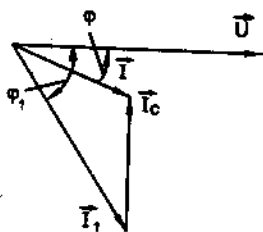
$$I = \frac{P}{U\cos\varphi}$$

Nếu $\cos\varphi$ cao thì dòng điện I sẽ giảm, dẫn đến giảm tổn hao điện năng, giảm điện áp rơi trên đường dây và có thể chọn dây dẫn tiết diện nhỏ hơn.

Các tải trong công nghiệp và sinh hoạt thường có tính điện cảm (cuộn dây động cơ điện, máy biến áp, chấn lưu...) nên $\cos\varphi$ thấp. Để nâng cao $\cos\varphi$ ta thường dùng tụ điện nối song song với tải (hình 3.24a).



a)



b)

Hình 3.24

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

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

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

Và hệ số công suất của mạch là $\cos\varphi$.

Từ đồ thị hình 3.24b ta thấy

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

Như vậy hệ số công suất $\cos\varphi$ đã được nâng cao.

Điện dung C cần thiết để nâng hệ số công suất từ $\cos\varphi_1$ lên $\cos\varphi$ được tính như sau:

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

Khi chưa bù :

$$Q_1 = P \tan\varphi_1$$

Khi có bù bằng tụ điện (tụ điện cung cấp Q_C)

$$Q = Q_1 + Q_C = P \tan\varphi_1 + Q_C = P \tan\varphi$$

Từ đó rút ra công suất Q_C của tụ điện là:

$$Q_C = -P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi) \quad (3-23)$$

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

$$Q_C = -U_C I_C = -U \cdot U \cdot \omega C = -U^2 \omega C \quad (3-24)$$

So sánh (3-23) và (3 - 24) ta tính được điện dung C của bộ tụ điện là:

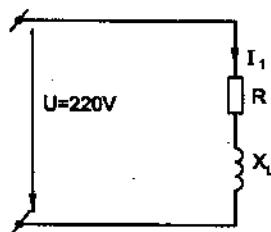
$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi) \quad (3-25)$$

Ví dụ 14: Một tải gồm $R = 6\Omega$, $X_L = 8\Omega$ mắc nối tiếp, đấu vào nguồn $U = 220V$ (hình 3.25).

a) Tính dòng điện I_1 , công suất P , Q , S và $\cos\varphi_1$ của tải.

b) Người ta nâng hệ số công suất của mạch điện đạt $\cos\varphi = 0,93$.

Tính điện dung C của bộ tụ điện đấu song song với tải.



Hình 3.25

Lời giải: Tổng trở tải

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\Omega$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0,6$$

Dòng điện tải I_1

$$I_1 = \frac{U}{Z} = \frac{220}{10} = 22A$$

Công suất P của tải:

$$P = RI_1^2 = 6 \cdot 22^2 = 2904W$$

Có thể tính $P = UI_1 \cos \varphi_1 = 220 \cdot 22 \cdot 0,6 = 2904W$

Công suất Q của tải.

$$Q = X_L I_1^2 = 8 \cdot 22^2 = 3872VAr$$

Có thể tính:

$$Q = UI_1 \sin \varphi_1 = 220 \cdot 22 \cdot 0,8 = 3872VAr$$

Tính C

$$\cos \varphi_1 = 0,6 ; \operatorname{tg} \varphi_1 = 1,333$$

$$\cos \varphi = 0,93 ; \operatorname{tg} \varphi = 0,395$$

Bộ tụ cần có điện dung là

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi) = \frac{2904}{314 \cdot 220^2} (1,333 - 0,395) = 1,792 \cdot 10^{-4} F$$

3.8. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG SỐ PHỨC

1. Cách biểu diễn số phức

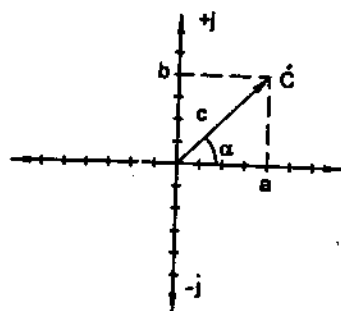
Trong mặt phẳng tọa độ phức, số phức được biểu diễn dưới 2 dạng sau (hình 3.26).

a) Dạng đại số

$$\dot{C} = a + jb$$

Trong đó a là phần thực; jb là phần ảo.

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



Hình 3.26

b) Dạng mũ

$$\dot{C} = Ce^{j\alpha} = C \angle \alpha$$

Trong đó : C là mô đun (độ lớn)

α là argumen (góc)

c) Đổi từ dạng mũ sang dạng đại số

$$\dot{C} = Ce^{j\alpha} = C \angle \alpha = a + jb$$

$$a = C \cos \alpha ; b = C \sin \alpha$$

d) Đổi từ dạng đại số sang dạng mũ

$$a + jb = Ce^{j\alpha}$$

trong đó:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad \alpha = \arctg \frac{b}{a}$$

Việc đổi này thực hiện dễ dàng trên máy tính.

2. Một số phép tính đối với số phức

a) Cộng, trừ

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

$$(4 + j2) + (3 + j1) = (4 + 3) + j(2 + 1) = 7 + j3$$

$$(4 + j2) - (3 + j1) = (4 - 3) + j(2 - 1) = 1 + j1$$

b) Nhân, chia

Khi phải nhân, chia, ta nên đưa về dạng mũ: Nhân (chia) hai số phức, ta nhân (chia) mô đun còn argumen (góc) thì cộng (trừ) cho nhau.

$$6e^{j20^\circ} \cdot 2e^{j10^\circ} = 6 \cdot 2 e^{j(20^\circ + 10^\circ)} = 12e^{j30^\circ}$$

$$\frac{6e^{j20^\circ}}{2e^{j10^\circ}} = \frac{6}{2} e^{j(20^\circ - 10^\circ)} = 3e^{j10^\circ}$$

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

$$\begin{aligned} (a + jb)(c + jd) &= ac + jbc + jad + j^2bd \\ &= (ac - bd) + j(bc + ad) \end{aligned}$$

$$\text{vì } j^2 = -1$$

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

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

3. Biểu diễn các đại lượng điện hình sin bằng số phức

Cách biểu diễn các đại lượng điện hình sin bằng số phức như sau:

môđun (độ lớn) của số phức là trị số hiệu dụng ;

argumen (góc) của số phức là pha ban đầu.

Dòng điện phức : $\dot{I} = I \angle \varphi_i = I e^{j\varphi_i}$

Điện áp phức: $\dot{U} = U \angle \psi_u = U e^{j\psi_u}$

Tổng trở phức của nhánh R, X_L , X_C nối tiếp

$$Z = z e^{j\varphi} = z \cos \varphi + j z \sin \varphi = R + j (X_L - X_C)$$

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

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$$

4. Viết các định luật dưới dạng số phức

a) Định luật Ôm

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

b) Định luật Kiêcschôp 1 cho một nút

$$\sum_{\text{nút}} \dot{I} = 0$$

c) Định luật Kiêcschôp 2 cho mạch vòng kín

$$\sum_{\text{mạch vòng}} Z \dot{I} = \sum_{\text{mạch vòng}} \dot{E}$$

Các quy ước về dấu tương tự như đã làm ở mạch điện một chiều, điều chú ý ở đây là các đại lượng phải viết dưới dạng số phức.

Ví dụ 15: Tính dòng điện i_3 trên hình 3.27. Cho biết :

$$i_1 = 5\sqrt{2} \sin(\omega t + 40^\circ) \text{ A}$$

$$i_2 = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ) \text{ A}$$

Lời giải : Biểu diễn các dòng điện bằng số phức

$$\dot{I}_1 = 5e^{j40^\circ} = 5 \cos 40^\circ + j5 \sin 40^\circ = 3,83 + j3,21$$

$$\dot{I}_2 = 10e^{-j30^\circ} = 10 \cos(-30^\circ) + j \sin(-30^\circ) = 8,66 - j5$$

Áp dụng định luật Kierchhoff 1 tại nút:

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 3,83 + j3,21 + 8,66 - j5 = 12,49 - j1,79 = 12,61e^{-j8,15^\circ}$$

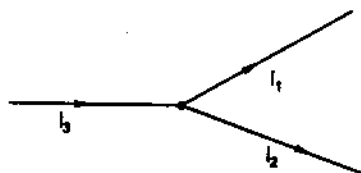
Vậy trị số hiệu dụng và pha đầu của dòng điện i_3 là

$$I_3 = 12,61 \text{ A}$$

$$\Psi_3 = -8,15^\circ$$

Trị số tức thời

$$i_3 = 12,61 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 8,15^\circ).$$



Hình 3.27

Ví dụ 16: Một mạch điện gồm $R = 10\Omega$; $X_L = 16\Omega$; $X_C = 11\Omega$ nối tiếp. Điện áp nguồn $u = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + 50^\circ)$. Tính dòng điện trong mạch.

Lời giải: Tổng trở phức của mạch

$$\begin{aligned} Z &= R + j(X_L - X_C) = 10 + j(16 - 11) \\ &= 10 + j5 = 11,18 \angle 26,56^\circ \end{aligned}$$

Điện áp phức của nguồn

$$\dot{U} = 200 \angle 50^\circ$$

Áp dụng định luật Ôm

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{200 \angle 50^\circ}{11,18 \angle 26,56^\circ} = 17,88 \angle 23,44^\circ$$

Trị số hiệu dụng và góc pha đầu của dòng điện là:

$$I = 17,88 \text{ A}$$

$$\Psi_i = 23,44^\circ$$

Trị số tức thời của dòng điện là:

$$i = 17,88 \sqrt{2} \sin(\omega t + 23,44^\circ)$$

3.9. PHƯƠNG PHÁP GIẢI MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

Để giải mạch điện xoay chiều ta thường dùng các phương pháp sau.

1. Phương pháp đồ thị vector

Nội dung của phương pháp này là biểu diễn dòng điện, điện áp, sức điện động bằng vector, viết các định luật dưới dạng vector và thực hiện tính toán trên đồ thị vector.

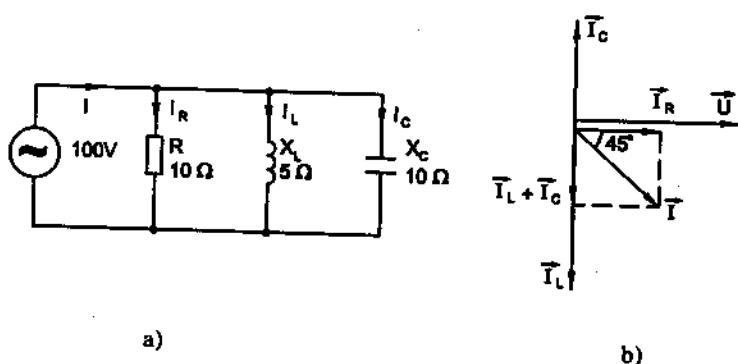
2. Phương pháp số phức

Biểu diễn dòng điện, điện áp, sức điện động, tổng trở bằng số phức, viết các định luật dưới dạng số phức. Đối với mạch điện phức tạp, sử dụng các phương pháp đã học ở chương mạch điện một chiều để giải như phương pháp biến đổi tương đương, phương pháp dòng điện nhánh, phương pháp dòng điện mạch vòng, phương pháp điện áp các nút, phương pháp xếp chồng... Cần chú ý rằng, khi sử dụng các phương pháp này phải biểu diễn các đại lượng bằng số phức.

Đối với các mạch điện đơn giản, nhiều khi ta trực tiếp sử dụng định luật Ôm và phương pháp công suất để giải mạch điện.

Ví dụ 17: Cho mạch điện hình 3.28a. Hãy tính dòng điện các nhánh, công suất P , Q , S và $\cos\phi$ của mạch điện.

Lời giải: Để hệ thống lại kiến thức ta giải mạch điện bằng các phương pháp khác nhau.



Hình 3.28

a) Phương pháp đồ thị vector

Dòng điện trong các nhánh

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10A$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{100}{5} = 20A$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{100}{10} = 10A$$

Vẽ đồ thị vectơ của mạch điện trên hình 3.28b. Chọn pha đầu của điện áp $U = 0$, vectơ $\vec{U}$ trùng với trục ox vẽ vectơ dòng điện $\vec{I}_R$ trùng pha với vectơ điện áp $\vec{U}$, vectơ dòng điện $\vec{I}_L$ chậm sau vectơ điện áp $\vec{U}$ một góc 90° , vectơ dòng điện $\vec{I}_C$ vượt trước vectơ điện áp $\vec{U}$ một góc 90° .

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

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

Trực tiếp cộng vectơ trên đồ thị ta có $\vec{I}$ ở mạch chính.

$$\text{Trị số hiệu dụng } I = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14,14A.$$

Công suất tác dụng P của mạch

$$P = RI_R^2 = 10 \cdot 10^2 = 1000W.$$

Công suất phản kháng Q của mạch

$$Q = Q_L + Q_C = X_L I_L^2 - X_C I_C^2 = 5 \cdot 20^2 - 10 \cdot 10^2 = 1000Var.$$

Công suất biểu kiến của mạch:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1000^2 + 1000^2} = 1414VA.$$

Hệ số công suất $\cos\varphi$ của mạch:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1000}{1414} = 0,707.$$

Ta cũng có thể tính P, Q, S như sau:

$$P = UI\cos\varphi = 100 \cdot 14,14\cos45^\circ = 1000W$$

$$Q = UI\sin\varphi = 100 \cdot 14,14\sin45^\circ = 1000Var$$

$$S = UI = 100 \cdot 14,14 = 1414VA$$

b) Phương pháp công suất

Để tính dòng điện I trong nhánh chính ta có thể không sử dụng đồ thị vectơ mà sử dụng phương pháp công suất như sau:

Từ dòng điện, tính công suất P, Q, S của mạch như đã làm ở mục a, sau đó tính dòng điện I ở mạch chính theo biểu thức:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{1414}{100} = 14,14A$$

c) Phương pháp số phức biểu diễn các đại lượng và định luật bằng số phức

Áp dụng định luật Ôm

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}}{R} = \frac{100\angle 0^\circ}{10} = 10\angle 0^\circ$$

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}}{jX_L} = \frac{100\angle 0^\circ}{j5} = \frac{100\angle 0^\circ}{5\angle 90^\circ} = 20\angle -90^\circ$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{-jX_C} = \frac{100\angle 0^\circ}{-j10} = \frac{100\angle 0^\circ}{10\angle -90^\circ} = 10\angle 90^\circ$$

Áp dụng Kiécshôp 1 tại nút A

$$\begin{aligned}\dot{I} &= \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = 10\angle 0^\circ + 20\angle -90^\circ + 10\angle 90^\circ \\ &= 10 + j0 + 0 - j20 + 0 + j10 = 10 - j10 = 14,14\angle -45^\circ\end{aligned}$$

Trị số hiệu dụng các dòng điện là:

$$I_R = 10A; I_L = 20A; I_C = 10A$$

$$I = 14,14A$$

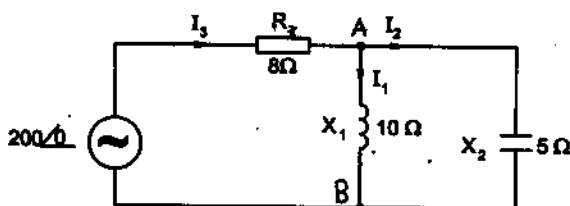
Cách tính công suất P, Q, S, cosφ như ở mục a.

Ví dụ 18: Tính dòng điện trong mạch điện hình 3.29.

Đây là mạch điện phức tạp, ta có thể sử dụng các phương pháp đã học ở chương 1.

Dưới đây ta xét 2 phương pháp sau:

a) Phương pháp biến đổi tương đương



Hình 3.29

Trước hết ta biểu diễn tổng trở các nhánh dưới dạng số phức

$$Z_1 = jX_1 = j10$$

$$Z_2 = -jX_2 = -j5; Z_3 = R_3 = 8$$

Nhánh 1 và 2 mắc song song.

Tổng trở tương đương của nhánh 1 và 2 là

$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{j10 \cdot (-j5)}{j10 - j5} = -j10$$

Tổng trở tương đương toàn mạch

$$Z_{tm} = Z_3 + Z_{12} = 8 - j10 = 12,8\angle -51,34^\circ$$

Áp dụng định luật Ôm

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}}{Z_{\text{m}}} = \frac{200 \angle 0^\circ}{12,8 \angle -51,34^\circ} = 15,625 \angle 51,34^\circ$$

Trị số hiệu dụng $I_3 = 15,625 \text{ A}$

Pha đầu $\Psi_3 = 51,34^\circ$

Điện áp $\dot{U}_{AB} = Z_{12} \dot{I}_3$

$$Z_{12} = -j10 = 10 \angle -90^\circ$$

$$\dot{U}_{AB} = 10 \angle -90^\circ \cdot 15,625 \angle 51,34^\circ = 156,25 \angle -38,66^\circ$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1}$$

$$Z_1 = j10 = 10 \angle 90^\circ$$

$$\dot{I}_1 = \frac{156,25 \angle -38,66^\circ}{10 \angle 90^\circ} = 15,625 \angle -128,66^\circ$$

Trị số hiệu dụng $I_1 = 15,625 \text{ A}$

Pha đầu $\Psi_1 = -128,66^\circ$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_2}$$

$$Z_2 = -j5 = 5 \angle -90^\circ$$

$$\dot{I}_2 = \frac{156,25 \angle -38,66^\circ}{5 \angle -90^\circ} = 31,25 \angle 51,34^\circ$$

Trị số hiệu dụng $I_2 = 31,25 \text{ A}$

Pha đầu $\Psi_2 = 51,34^\circ$

b) Phương pháp dòng điện nhánh.

Vẽ dòng điện các nhánh và các mạch vòng như trên hình 3.30.

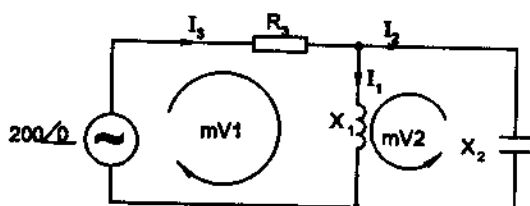
Ấn số là dòng điện các

nhánh I_1, I_2, I_3 . Ta lập hệ 3 phương trình sau:

Phương trình Kiercschop 1 tại nút A

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

Phương trình Kiercschop 2 cho 2 mạch vòng



Hình 3.30

Mạch vòng 1:

$$Z_3 \dot{I}_3 + Z_1 \dot{I}_1 = \dot{U}$$

$$8\dot{I}_3 + j10\dot{I}_1 = 200\angle 0^\circ$$

Mạch vòng 2:

$$Z_1 \dot{I}_1 - Z_2 \dot{I}_2 = 0$$

$$j10\dot{I}_1 + j5\dot{I}_2 = 0$$

Giải hệ 3 phương trình trên ta sẽ có dòng điện $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

3.1. Dòng điện xoay chiều hình sin là gì ? Biểu thức trị số tức thời, trị số hiệu dụng ? Ý nghĩa trị số hiệu dụng ?

3.2. Định nghĩa góc pha ψ_i, ψ_u , góc lệch pha φ . Đại lượng nào phụ thuộc vào chọn gốc toạ độ ? Đại lượng nào phụ thuộc vào thông số R, X của mạch ?

3.3. Hãy viết biểu thức I, φ , vẽ đồ thị vectơ cho các nhánh sau : R ; L ; C ; RL ; RC ; LC ; RLC nối tiếp.

3.4. Các biểu thức tính công suất tác dụng P ? P là công suất tiêu thụ của phần tử nào trong mạch điện ? Ý nghĩa của công suất tác dụng P ? Đơn vị của P ?

3.5. Các biểu thức tính công suất phản kháng Q ? Q là công suất tiêu thụ của phần tử nào trong mạch điện ? Ý nghĩa của công suất phản kháng Q ? Đơn vị của Q ?

3.6. Các biểu thức tính công suất biểu kiến S ? Ý nghĩa của công suất biểu kiến S ? Đơn vị của S ?

3.7. Nêu cách biểu diễn dòng điện và điện áp hình sin bằng vectơ.

3.8. Nêu cách biểu diễn dòng điện và điện áp hình sin bằng số phức.

3.9. Sử dụng các phương pháp giải mạch điện đã xét ở mạch điện một chiều vào giải mạch điện xoay chiều hình sin cần chú ý gì ?

3.10. Biểu thức trị số tức thời của dòng điện và điện áp một nhánh là $i = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 15^\circ)$ và $u = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + 25^\circ)$. Hãy xác định $I_{max}, U_{max}, I, U, \psi_i, \psi_u, \varphi$. Đây là nhánh có tính chất gì ?

Đáp số : $I_{max} = 10\sqrt{2} A ; U_{max} = 200\sqrt{2} V ; I = 10 A ; U = 200 V ; \psi_i = -15^\circ, \psi_u = 25^\circ, \varphi = 40^\circ$; nhánh tính cảm (RL).

3.11. Hãy biểu diễn vectơ, số phức dòng điện và điện áp ở bài 3.10. Xác định Z, R, X, Z của nhánh.

Đáp số : $\vec{I} = 10\angle -15^\circ ; \vec{U} = 200\angle 25^\circ ; \dot{I} = 10e^{-j15^\circ} ; \dot{U} = 200e^{j25^\circ}$

$$z = 20\Omega ; R = z \cos \varphi = 15,32\Omega ; X = z \sin \varphi = 12,85\Omega ;$$

$$Z = R + jx = 15,32 + j12,85 = 20 e^{j40^\circ}$$

3.12. Nguồn điện $U = 230V$ đấu vào mạch điện có $R = 57\Omega ; X_L = 100\Omega$ mắc nối tiếp.

Tính $I, U_R, U_L, \cos \varphi, P, Q$ của mạch.

Đáp số: $I = 2A ; U_R = 114V ; U_L = 200V ;$

$$\cos \varphi = 0,495 ; P = 228W ; Q_L = 400 \text{ VAR}$$

Dòng điện chậm pha điện áp một góc $60,3^\circ$

3.13. Một nguồn điện tần số $f = 10\text{kHz}$ cung cấp điện cho tải có $R = 10\text{k}\Omega ; L = 100\text{mH}$ nối tiếp. Người ta muốn có $I = 0,2\text{mA}$. Xác định điện áp nguồn U .

Đáp số: $U = 2,36V$

3.14. Một nguồn điện $U = 15V ; f = 10\text{kHz}$ cung cấp điện cho tải có $C = 0,005\mu\text{F}, R = 1\text{k}\Omega$ nối tiếp. Tính $I, \cos \varphi = 0,3, P, Q, U_C, U_R$.

Đáp số $I = 4,5\text{mA} ; \cos \varphi = 0,3 ; P = 20,25\text{mW} ; Q_C = -64,395\text{mVAR}$

$U_R = 4,5V ; U_C = 14,31V$. *Dòng điện vượt trước điện áp một góc $72,54^\circ$.*

3.15. Một nguồn điện có điện áp U , cung cấp điện cho tải có $R = 15\Omega ; X_C = 20\Omega$ mắc nối tiếp. Biết công suất tác dụng của mạch điện $P = 240W$. Tính $I, U_R, U_C, U, \cos \varphi, Q$ của mạch điện.

Đáp số: $I = 4A ; U_R = 60V ; U_C = 80V ; U = 100V ; \cos \varphi = 0,6$ (*dòng điện vượt trước điện áp*) ; $Q_C = -320\text{VAR}$

3.16. Một mạch điện như hình B3.16. Cho biết $U_L = 150V$. Tính $I_1, I_2, I_3, I, P, Q, U, \cos \varphi$ của mạch

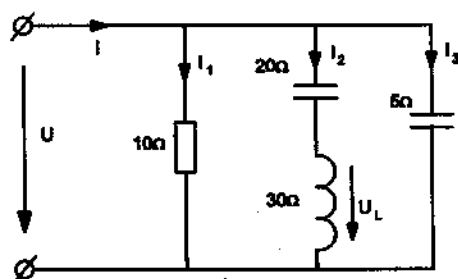
Đáp số

$$I_1 = 5A ; I_2 = 5A ; I_3 = 10A$$

$$I = 5\sqrt{2} = 7,07A ; P = 250W$$

$$Q = -250\text{VAR} ; U = 50V$$

$\cos \varphi = 0,707$ (*dòng điện I vượt trước điện áp góc 45°*).



Hình B3.16

3.17. Cho mạch điện như hình B3.17. Cho biết dòng điện $I_3 = 50A$.

a. Tính $U_{AB} ; I_1 ; I_2 ; I_4 ; I ; P ; Q ; S ; \cos \varphi ; U$ của mạch điện.

b. Xác định phần tử nào (R, X_L hoặc X_C) đấu nối tiếp vào nhánh 2 để cho dòng điện $I_4 = 0$. Tính trị số phần tử ấy và dòng điện I trong trường hợp này.

Đáp số:

a) $U_{AB} = 100V ; I_2 = 20A ; I_1 = 25A$

$$I_4 = 30A ; I = 39,05A ;$$

$$P = 5549,8W$$

$$Q = -3000VAr ; S = 6308,74VA$$

$$U = 161,55V ; \cos \varphi = 0,879$$

Dòng điện I vượt trước điện áp U một góc $50,19^\circ$

b) Cần đấu X_C vào nhánh 2

$$X_C = 3\Omega ; I = I_1 = 26,925A$$

3.18. Cho một cuộn dây có $R = 4\Omega$, $X_L = 25\Omega$ mắc nối tiếp với tụ điện có $X_C = 22\Omega$ đấu vào nguồn $U = 220V$.

a) Tính I ; Q_L ; Q_C ; Q ; $\cos \varphi$ của mạch

b) Tính điện áp đặt lên cuộn dây và điện áp đặt lên tụ điện

Đáp số :

$$a) I = 44A ; P = 7744W$$

$$Q_L = 48400VAr ; Q_C = -42592VAr$$

$$Q = 5808 VAr ; \cos \varphi = 0,8 \text{ (dòng điện chậm pha điện áp góc } 36,87^\circ)$$

$$b) U_{\text{cuộn dây}} = 1113,99V ; U_C = 968V$$

3.19. Tính dòng điện I_1 , I_2 , I , U_{AB} của mạch điện hình B3.19.

$$\text{Đáp số : } I_1 = 20A ; I_2 = 40A ;$$

$$I = 20A ; U_{AB} = 240V$$

3.20. Một tải có $R = 6\Omega$, $X_L = 8\Omega$

a) Tính hệ số công suất của tải. Người ta đấu tải vào nguồn $U = 120V$.

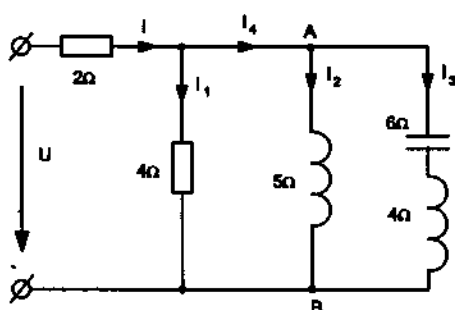
b) Tính công suất P , Q của tải để nâng $\cos \varphi$ của mạch điện lên bằng 1.

Tính dung lượng Q_C của bộ tụ mắc song song với tải. Tính C của bộ tụ, cho biết tần số nguồn điện $f = 50Hz$.

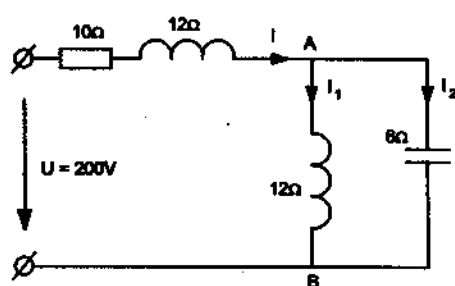
$$\text{Đáp số : } a) \cos \varphi = 0,6$$

$$b) P = 864W ; Q = 1152 VAr$$

$$Q_C = -1152 VAr ; C = 2,547 \cdot 10^{-4}F$$



Hình 3.17



Hình B3.19

Chương 4

MẠCH ĐIỆN BA PHA

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Ngày nay dòng điện xoay chiều ba pha được sử dụng rộng rãi trong các ngành sản xuất vì :

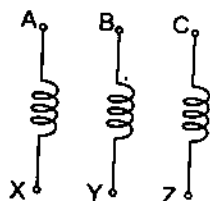
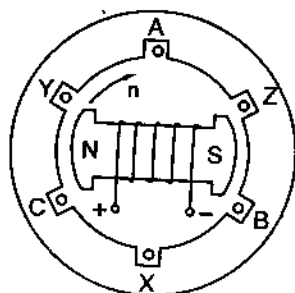
- Động cơ điện ba pha có cấu tạo đơn giản và đặc tính tốt hơn động cơ điện một pha.
- Truyền tải điện năng bằng mạch điện ba pha tiết kiệm được dây dẫn, giảm bớt tổn thất điện năng và tổn thất điện áp so với truyền tải điện năng bằng dòng điện một pha.

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

1. Nguồn điện ba pha

Để tạo ra dòng điện ba pha, người ta dùng các máy phát điện xoay chiều ba pha. Loại máy phát điện trong các nhà máy điện hiện nay là máy phát điện đồng bộ (được trình bày chi tiết trong máy điện). Cấu tạo của máy phát điện đồng bộ (hình 4.1) gồm:

- Ba dây quấn ba pha đặt trong các rãnh của lõi thép stato (phần tĩnh). Các dây quấn này thường ký hiệu là : AX (dây quấn pha A) ; BY (dây quấn pha B) ; CZ (dây quấn pha C).



Hình 4.1. Cấu tạo máy phát đồng bộ

Các dây quấn của các pha có cùng số vòng dây và lệch nhau một góc 120° điện trong không gian.

- Phân quay (còn gọi là rôto) là nam châm điện N - S

Khi quay rôto, từ trường sẽ lần lượt quét qua các dây quấn pha A, pha B pha C của stato và trong dây quấn pha stato xuất hiện sức điện động cảm ứng, sức điện động này có dạng hình sin cùng biên độ, cùng tần số góc ω và lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$.

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

Sức điện động pha A

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

Sức điện động pha B

$$e_B = E\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

Sức điện động pha C

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

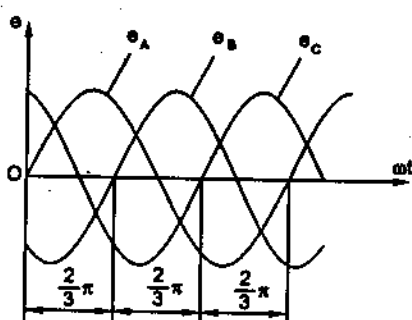
hoặc biểu diễn bằng số phức

$$\dot{E}_A = E e^{j0}$$

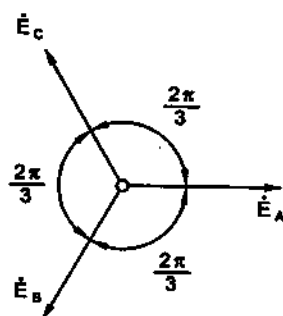
$$\dot{E}_B = E e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\dot{E}_C = E e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

Hình 4.2a vẽ đồ thị trị số tức thời hình sin và hình 4.2b vẽ đồ thị vector của sức điện động ba pha.



a)



b)

Hình 4.2.

2. Cách nối mạch điện ba pha

Nếu mỗi pha của nguồn điện ba pha nối riêng rẽ với mỗi pha của tải, thì ta có hệ thống ba pha không liên hệ nhau (hình 4.3). Mỗi mạch điện như vậy gọi là một pha của mạch điện ba pha.

Mạch điện ba pha không liên hệ nhau cần 6 dây dẫn, không tiết kiệm nên thực tế không dùng.

Thường ba pha của nguồn điện nối với nhau, ba pha của tải nối với nhau và có đường dây ba pha nối nguồn với tải, dẫn điện năng từ nguồn tới tải. Thông thường dùng 2 cách nối: nối hình sao ký hiệu là Y và nối hình tam giác ký hiệu là Δ (xem các hình 4.4, 4.5... ở các tiết tiếp theo).

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

Dòng điện chạy trên đường dây pha từ nguồn đến tải gọi là dòng điện dây ký hiệu là I_d , điện áp giữa các đường dây pha gọi là điện áp dây, ký hiệu là U_d .

Các quan hệ giữa đại lượng pha và đại lượng dây phụ thuộc vào cách nối (hình sao hay tam giác) sẽ xét kỹ ở các tiết tiếp theo.

3. Mạch điện ba pha đối xứng

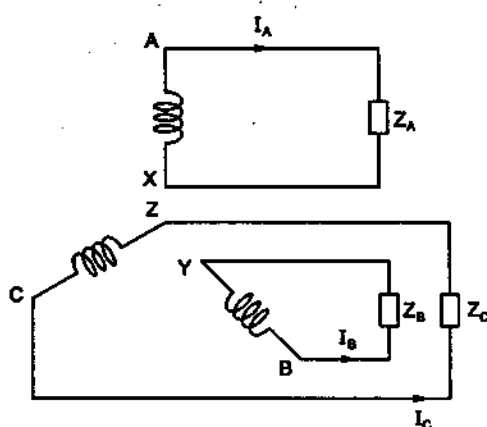
Nguồn điện gồm ba sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số, lệch nhau về pha $\frac{2\pi}{3}$, gọi là nguồn ba pha đối xứng. Đối với nguồn đối xứng, ta có:

$$e_A + e_B + e_C \approx 0$$

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

Tải ba pha có tổng trở phức của các pha bằng nhau $Z_A = Z_B = Z_C$ - gọi là tải ba pha đối xứng.

Mạch điện ba pha gồm nguồn, tải và đường dây đối xứng gọi là mạch điện ba pha đối xứng (còn được gọi là mạch ba pha cân bằng). Nếu không thỏa mãn điều kiện đã nêu gọi là mạch ba pha không đối xứng.



Hình 4.3. Mạch điện 3 pha nối riêng rẽ

Ở mạch ba pha đối xứng, các đại lượng điện áp, dòng điện của các pha sẽ đối xứng, có trị số hiệu dụng bằng nhau và lệch pha nhau 120° , tạo thành các hình sao đối xứng và tổng của chúng bằng không

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \approx 0$$

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

4.2. CÁCH NỐI HÌNH SAO (Y)

1. Cách nối

Mỗi pha của nguồn (hoặc tải) có đầu và cuối. Thường quen ký hiệu đầu pha là A, B, C, cuối pha là X, Y, Z. Muốn nối hình sao ta nối ba điểm cuối của pha với nhau tạo thành điểm trung tính (hình 4.4a).

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

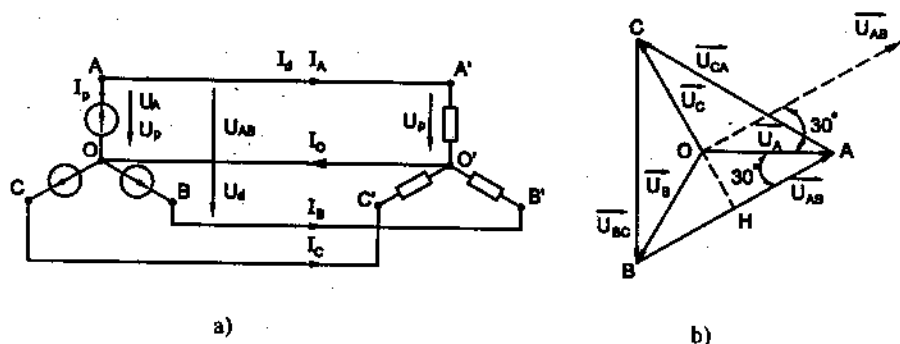
Đối với tải, ba điểm cuối X', Y', Z' nối với nhau tạo thành trung tính O' của tải.

Ba dây nối 3 điểm đầu A, B, C của nguồn với 3 điểm đầu các pha của tải gọi là ba dây pha.

Dây dẫn nối điểm trung tính của nguồn tới điểm trung tính của tải gọi là dây trung tính.

2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha khi đối xứng

a) Quan hệ giữa dòng điện dây và dòng điện pha



Hình 4.4

Dòng điện pha I_p là dòng điện chạy trong mỗi pha của nguồn (hoặc tải). Dòng điện dây I_d chạy trong các dây pha nối từ nguồn tới tải. Các dòng điện

này đã được ký hiệu trên hình 4.4 . Nhìn vào mạch điện ta thấy quan hệ giữa dòng điện dây và dòng điện pha như sau:

$$I_d = I_p \quad (4-1)$$

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

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

Điện áp dây U_d là điện áp giữa 2 điểm đầu của 2 pha (hoặc điện áp giữa 2 dây pha), ví dụ điện áp dây U_{AB} (giữa pha A và pha B), U_{BC} (giữa pha B và pha C), U_{CA} (giữa pha C và pha A).

Theo định nghĩa điện áp dây ta có:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \quad (4-2a)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \quad (4-2b)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (4-2c)$$

Để vẽ đồ thị vector điện áp dây, trước hết vẽ đồ thị vector điện áp pha U_A , U_B , U_C , sau đó dựa vào công thức (4-2) vẽ đồ thị vector điện áp dây như hình 4.4b hoặc 4.4c .

Xét tam giác OAB (hình 4.4b)

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

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

AB là điện áp dây U_d

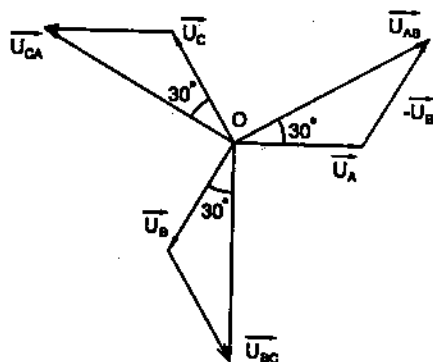
OA là điện áp pha U_p

Từ đồ thị vector, ta thấy: Khi điện áp pha đối xứng, thì điện áp dây đối xứng.

- Về trị số hiệu dụng

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

- Về pha : điện áp dây vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 30° (U_{AB} vượt trước U_A một góc 30° ,



Hình 4.4.c

U_{BC} vượt trước U_B một góc 30° , U_{CA} vượt trước U_C một góc 30°).

Khi tải đối xứng $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$, tạo thành hình sao đối xứng, dòng điện trong dây trung tính bằng không.

$$I_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

Trong trường hợp này có thể không cần dây trung tính, ta có mạch ba pha ba dây.

Động cơ điện ba pha là tải đối xứng, chỉ cần đưa ba dây pha đến động cơ ba pha.

Khi tải 3 pha không đối xứng, ví dụ như tải sinh hoạt của khu tập thể, của các gia đình ..., dây trung tính có dòng điện I_0 bằng

$$I_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Ví dụ 1: Một nguồn điện ba pha đối xứng nối hình sao, điện áp pha nguồn $U_{pn}=220\text{ V}$.

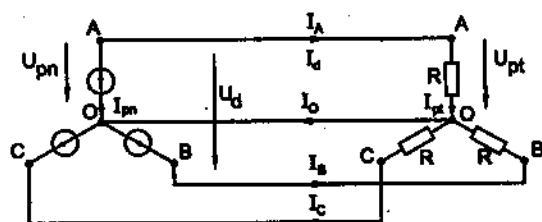
Nguồn cung cấp điện cho tải R ba pha đối xứng (hình 4.5a). Biết dòng điện dây $I_d=10\text{ A}$. Tính điện áp dây U_d , điện áp pha của tải, dòng điện pha của tải và của nguồn. Vẽ đồ thị vector.

Lời giải : Nguồn nối hình sao, áp dụng công thức (4-3) điện áp dây là:

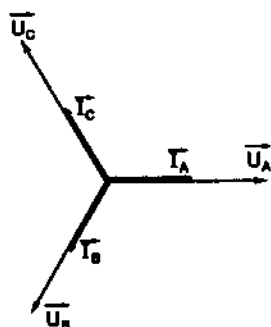
$$U_d = \sqrt{3} U_p = \sqrt{3} \cdot 220 = 380\text{ V}$$

Tải nối hình sao, biết $U_d = 380\text{ V}$, theo công thức (4-3) điện áp pha của tải là

$$U_{pt} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{ V}$$



a)



b)

Hình 4.5

Nguồn nối sao, tải nối sao, áp dụng công thức (4-2)

Dòng điện pha nguồn

$$I_{pn} = I_d = 10A$$

Dòng điện pha của tải

$$I_{pt} = I_d = 10 A.$$

Vì tải thuần điện trở R, điện áp pha của tải trùng pha với dòng điện pha của tải I_p (hình 4.5b).

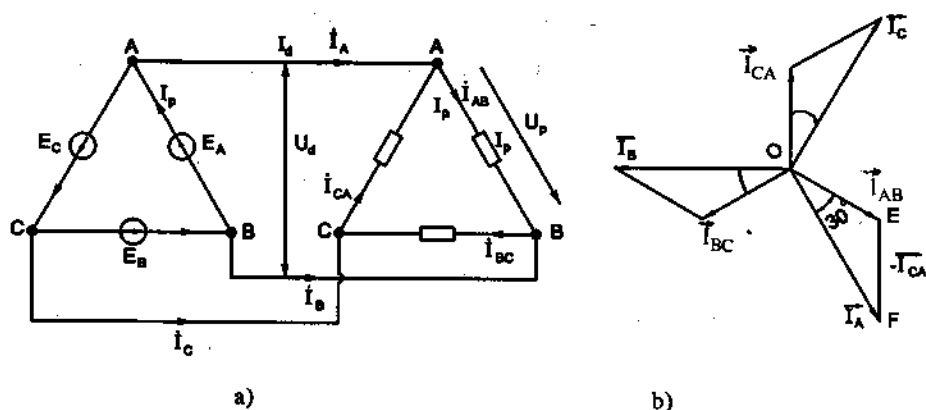
4.3. CÁCH NỐI HÌNH TAM GIÁC (Δ)

1. Cách nối

Muốn nối hình tam giác, ta lấy đầu pha này nối với cuối pha kia. Ví dụ A nối với Z; B nối với X; C nối với Y (hình 4.6). Cách nối tam giác không có dây trung tính.

2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha khi đối xứng

Khi giải mạch điện nối tam giác ta thường quen quy ước: chiều dương dòng điện các pha I_p của nguồn ngược chiều quay kim đồng hồ, chiều dương dòng điện pha của tải cùng chiều quay kim đồng hồ (hình 4.6).



Hình 4 - 6

Các đại lượng dây và pha được ký hiệu trên hình 4.6a.

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

Nhìn vào mạch điện nối tam giác ta thấy:

$$U_d = U_p \quad (4-4)$$

b) Quan hệ giữa dòng điện dây và dòng điện pha

Áp dụng định luật Kiécshôp 1 tại các nút, ta có :

$$\text{Tại nút A : } \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \quad (4-5a)$$

$$\text{Tại nút B : } \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{CA} \quad (4-5b)$$

$$\text{Tại nút C : } \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \quad (4-5c)$$

Dòng điện I_A, I_B, I_C chạy trên các dây pha từ nguồn đến tải là dòng điện dây I_d . Dòng điện I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} chạy trong các pha là dòng điện pha, lệch pha với điện áp $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ một góc φ (hình 4.6 b). Để vẽ dòng điện dây I_A, I_B, I_C , ta dựa vào phương trình (4 - 4). Vector I_{AB} cộng với vector $(-I_{CA})$ ta có vector I_A ; Quá trình tương tự ta vẽ I_B, I_C .

Đồ thị vector dòng điện pha I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} và dòng điện dây I_A, I_B, I_C vẽ trên hình 4.6b.

Xét tam giác OEF

$$OF \approx 2 OE \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} OE$$

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

OF là dòng điện dây I_d

OE là dòng điện pha I_p

Từ đồ thị vector ta thấy :

- Khi dòng điện pha đối xứng thì dòng điện dây đối xứng.
- Về trị số hiệu dụng

$$I_d = \sqrt{3} I_p \quad (4-6)$$

- Về pha : dòng điện dây chậm sau dòng điện pha tương ứng góc 30° (I_A chậm pha I_{AB} một góc 30° ; I_B chậm pha I_{BC} một góc 30° ; I_C chậm pha I_{CA} một góc 30°).

Ví dụ 2 : Một mạch điện ba pha, nguồn điện nối sao, tải nối hình tam giác. Biết điện áp pha của nguồn $U_{pn} = 2\text{kV}$, dòng điện pha của nguồn $I_{pn} = 20\text{ A}$.

a) Hãy vẽ sơ đồ nối dây mạch ba pha và trên sơ đồ ghi rõ các đại lượng pha và dây.

b) Hãy xác định dòng điện pha và điện áp pha của tải I_p, U_p .

Lời giải :

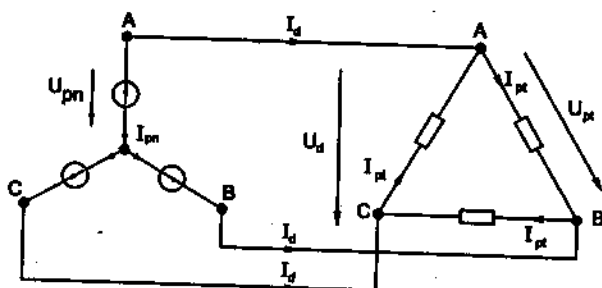
a) Sơ đồ nối dây mạch điện vẽ ở hình 4.7

b) Vì nguồn nối hình sao, nên dòng điện dây bằng dòng điện pha

$$I_d = I_{pn} = 20 \text{ A}$$

Điện áp dây bằng $\sqrt{3}$ lần điện áp pha nguồn

$$U_d = \sqrt{3} U_{pn} = \sqrt{3} \cdot 2000 \\ = 3,464 \text{ kV}$$



Hình 4.7

Vì tải nối hình tam giác, nên điện áp pha của tải U_{pt} bằng điện áp dây

$$U_{pt} = U_d = 3,464 \text{ kV}$$

Dòng điện pha của tải nhỏ hơn dòng điện dây $\sqrt{3}$ lần

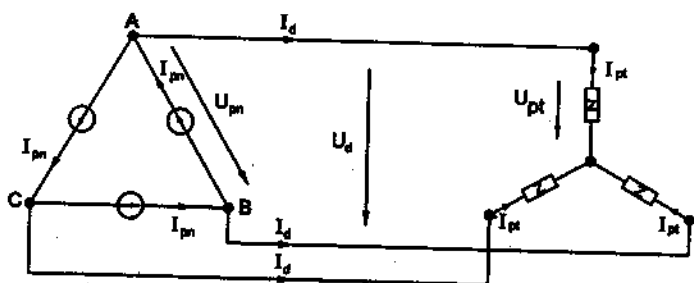
$$I_{pt} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = \frac{20}{\sqrt{3}} = 11,547 \text{ A}$$

Ví dụ 3 : Một mạch điện ba pha, tải nối hình sao, nguồn nối hình tam giác. Nguồn và tải đều đối xứng. Biết dòng điện pha của tải $I_{pt} = 50 \text{ A}$, điện áp pha của tải $U_{pt} = 220 \text{ V}$.

a) Hãy vẽ sơ đồ nối dây mạch ba pha. Trên sơ đồ chỉ rõ đại lượng pha và dây.

b) Hãy xác định dòng điện pha và điện áp pha của nguồn I_{pn} , U_{pn} .

Lời giải : a) Sơ đồ nối dây mạch điện ba pha vẽ trên hình 4.8



Hình 4.8

b) Vì tải nối hình sao nên

$$I_d = I_{pt} = 50 \text{ A}$$

$$U_d = \sqrt{3} U_{pn} = \sqrt{3} \cdot 220 = 380V$$

Biết dòng điện dây và điện áp dây, ta có thể tính được dòng điện pha và điện áp pha của nguồn. Vì nguồn đối xứng nối hình tam giác, nên ta có điện áp pha U_{pn} của nguồn là :

$$U_{pn} = U_d = 380V$$

Dòng điện pha của nguồn là

$$I_{pn} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = \frac{50}{\sqrt{3}} = 28,868A$$

4.4. CÔNG SUẤT CỦA MẠCH ĐIỆN BA PHA

1. Công suất tác dụng P

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

$$\begin{aligned} P &= P_A + P_B + P_C \\ &= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi + U_C I_C \cos \varphi_C \end{aligned}$$

Khi ba pha đối xứng

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

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

$$\text{Hệ số công suất : } \cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = \cos \varphi$$

$$\text{ta có} \quad P = 3U_p I_p \cos \varphi \quad (4-7)$$

$$\text{hoặc} \quad P = 3R_p I_p^2 \quad (4-8)$$

Trong đó R_p là điện trở pha của tải.

Thay đại lượng pha bằng đại lượng dây :

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

$$\text{đối với hình tam giác : } I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}} ; U_p = U_d \text{ vào công thức (4-7) ta có}$$

biểu thức công suất viết theo đại lượng dây, áp dụng cho cả trường hợp hình sao và hình tam giác đối xứng.

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (4-9)$$

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

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

2. Công suất phản kháng Q

Công suất phản kháng Q của ba pha là tổng công suất phản kháng của các pha cộng lại

$$\begin{aligned} Q &= Q_A + Q_B + Q_C \\ &= U_A I_A \sin\varphi_A + U_B I_B \sin\varphi_B + U_C I_C \sin\varphi_C \end{aligned}$$

Khi mạch đối xứng ta có :

$$Q = 3U_p I_p \sin\varphi \quad (4-10)$$

hoặc
$$Q = 3X_p I_p^2 \quad (4-11)$$

trong đó : X_p - là điện kháng pha của tải.

Nếu tính theo các đại lượng dây

$$Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi \quad (4-12)$$

3. Công suất biểu kiến của mạch 3 pha đối xứng

$$S = 3U_p I_p \quad (4-13)$$

hoặc
$$S = \sqrt{3} U_d I_d \quad (4-14)$$

hoặc
$$S = 3Z_p I_p^2 \quad (4-15)$$

Ví dụ 4 : Một động cơ điện ba pha có công suất định mức $P_{dm} = 14\text{kW}$, hiệu suất định mức $\eta_{dm} = 0,89$, hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm} = 0,88$. Dây quấn động cơ điện nối hình sao, điện áp dây mạng điện $U_d = 380\text{V}$.

Tính điện áp đặt lên mỗi pha dây quấn.

Tính dòng điện dây và dòng điện pha của động cơ điện.

Lời giải :

a) Sơ đồ nối dây của động cơ trên hình 4.9. Vì dây quấn động cơ nối hình sao, nên điện áp pha đặt vào mỗi dây quấn pha là

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

b) Đối với động cơ điện, công suất định mức P_{dm} là công suất cơ có ích ở trục động cơ, vậy công suất điện động cơ tiêu thụ là:

$$P_{\text{điện}} = \frac{P_{\text{đm}}}{\eta_{\text{đm}}}$$

Theo công thức (4- 9)

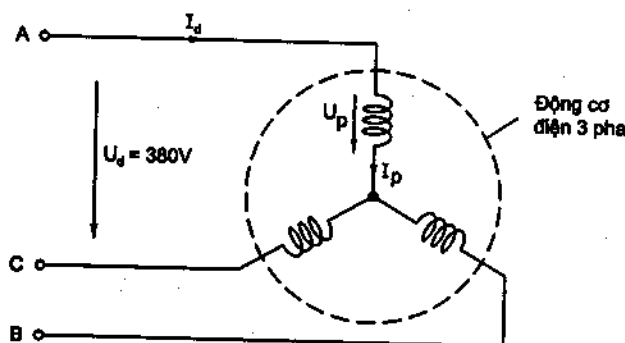
$$P_{\text{điện}} = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$$

Vậy dòng điện của động cơ là

$$I_d = \frac{P_{\text{điện}}}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi} = \frac{P_{\text{đm}}}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi \eta_{\text{đm}}} = \frac{14 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,89} = 27,16 \text{ A.}$$

Vì dây quấn nối hình sao nên

$$I_p = I_d = 27,16 \text{ A.}$$



Hình 4.9

Ví dụ 5 : Một mạch điện ba pha đối xứng $U_d = 380\text{V}$ cung cấp điện cho 2 tải đối xứng: Tải 1 tiêu thụ $P_1 = 6\text{kW}$; $Q_1 = 4\text{kVAR}$. Tải 2 tiêu thụ $P_2 = 8\text{kW}$; $Q_2 = 2\text{kVAR}$.

a) Tính dòng điện dây của mỗi tải

b) Tính dòng điện dây I_d của nguồn cung cấp cho 2 tải trên.

Lời giải : a) Sơ đồ mạch điện 3 pha vẽ trên hình 4 - 10

Công suất biểu kiến tải 1

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{6^2 + 4^2} = 7,211\text{kVA.}$$

Công suất biểu kiến tải 2

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{8^2 + 2^2} = 8,246 \text{ kVA.}$$

Theo công thức (4 - 14), dòng điện dây của tải 1 là

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} U_d} = \frac{7211}{\sqrt{3} \cdot 380} = 10,956 \text{ A}$$

dòng điện dây của tải 2

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3}U_d} = \frac{8246}{\sqrt{3} \cdot 380} = 12,528 \text{ A}$$

Để tính dòng điện I_d của nguồn cung cấp cho tải, ta cần tính công suất của nguồn.

Công suất tác dụng nguồn cung cấp cho 2 tải

$$P = P_1 + P_2 = 6 + 8 = 14 \text{ kW}$$

Công suất phản kháng nguồn cung cấp cho 2 tải

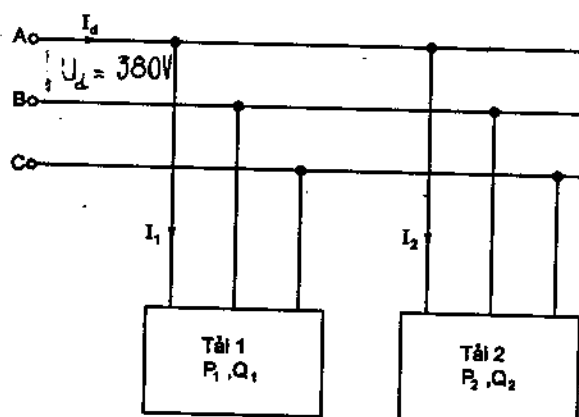
$$Q = Q_1 + Q_2 = 4 + 2 = 6 \text{ kVar}$$

Công suất biểu kiến nguồn

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14^2 + 6^2} = 15,231 \text{ kVA}$$

Áp dụng công thức (4 - 14) ta có dòng điện dây nguồn cung cấp cho 2 tải

$$I_d = \frac{S}{\sqrt{3}U_d} = \frac{15231}{\sqrt{3} \cdot 380} = 23,14 \text{ A}$$



Hình 4.10

4.5. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với mạch điện ba pha đối xứng, dòng điện (điện áp) các pha có trị số hiệu dụng bằng nhau, và lệch pha nhau một góc. Vì vậy khi mạch đối xứng, ta tách ra một pha để tính, khi biết được dòng điện của một pha, ta có thể suy ra dòng điện các pha còn lại.

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

- Bước 1 : Xác định cách nối dây của tải (hình sao hay hình tam giác).
- Bước 2 : Xác định điện áp pha U_p của tải

Nếu tải nối hình sao

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

Nếu tải nối hình tam giác

$$U_p = U_d$$

- **Bước 3** : Xác định tổng trở pha Z_p và hệ số công suất của tải

Tổng trở pha của tải.

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

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

trong đó R_p , X_p tương ứng là điện trở pha, điện kháng pha của mỗi pha của tải.

- **Bước 4** : Tính dòng điện pha I_p của tải

$$I_p = \frac{U_p}{z_p}$$

Từ dòng điện pha I_p , tính dòng điện dây I_d của tải.

Nếu tải nối hình sao

$$I_d = I_p$$

Nếu tải nối hình tam giác

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

- **Bước 5** : Tính công suất tải tiêu thụ

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

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

$$S = 3 z_p I_p^2 \text{ hoặc } 3 U_p I_p \text{ hoặc } \sqrt{3} U_d I_d.$$

Ví dụ 6 : Một tải 3 pha có điện trở pha $R_p = 20 \Omega$, điện kháng pha $X_p = 15 \Omega$, nối hình tam giác, đấu vào mạng điện có điện áp dây $U_d = 220 \text{ V}$ (hình 4.11 a). Tính dòng điện pha I_p , dòng điện dây I_d , công suất tải tiêu thụ và vẽ đồ thị vectơ điện áp dây và dòng điện pha tải.

Lời giải : Theo sơ đồ nối dây mạch điện, tải nối tam giác.

Điện áp pha của tải

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

Tổng trở pha của tải

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

Dòng điện pha của tải

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

Vì tải nối tam giác, dòng điện dây của tải:

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

Công suất tải tiêu thụ

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

$$Q = 3 X_p I_p^2 = 3 \cdot 15 \cdot 8,8^2 = 3484,8 \text{ VAr}$$

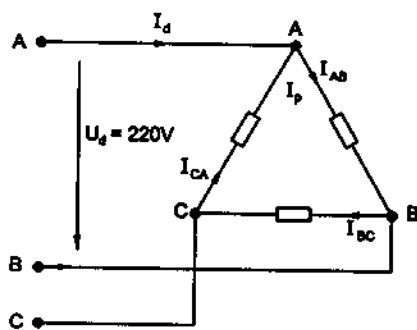
$$S = \sqrt{3} U_d I_d = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 15,24 = 10030,35 \text{ VA.}$$

Hệ số công suất của tải

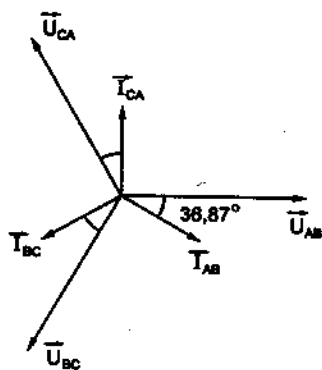
$$\cos \varphi = \frac{R_p}{Z_p} = \frac{20}{25} = 0,8$$

$$\varphi = 36,87^\circ$$

Dòng điện pha chậm sau điện áp pha một góc $\varphi = 36,87^\circ$. Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp pha vẽ trên hình 4.11.



a)



b)

Hình 4.11

Ví dụ 7: Một tải 3 pha gồm ba cuộn dây đấu vào mạng điện ba pha có điện áp dây là 380V. Cuộn dây được thiết kế cho làm việc với điện áp định mức 220V. Cuộn dây có điện trở $R = 2\Omega$; điện kháng $X = 8\Omega$.

a) Xác định cách nối các cuộn dây thành tải ba pha.

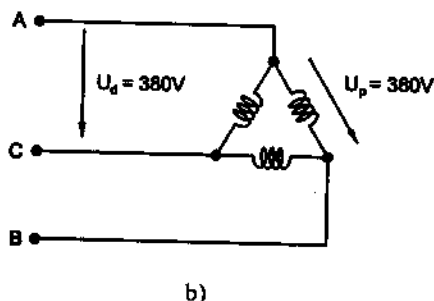
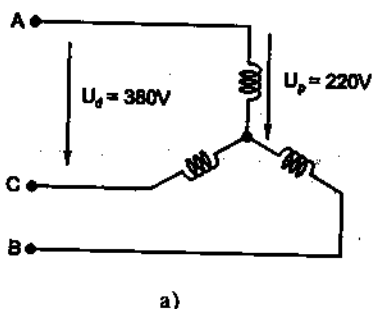
b) Tính công suất P , Q , $\cos \varphi$ của tải.

Lời giải : a) Các cuộn dây nối hình sao đầu vào mạng điện, vì khi nối hình sao, điện áp pha đặt lên cuộn dây là:

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V} = \text{điện áp định mức của cuộn dây (hình 4.12a).}$$

Nếu tải nối tam giác, điện áp pha đặt lên cuộn dây là

$U_p = U_d = 380 \text{ V} > \text{điện áp định mức của cuộn dây, cuộn dây sẽ bị hỏng (hình 4.12b)}$



Hình 4.12

b) Tổng trở pha của tải $z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{2^2 + 8^2} = 8,24 \Omega$

Hệ số công suất $\cos\varphi$ của tải

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

$$\sin\varphi = \frac{X_p}{z_p} = \frac{8}{8,42} = 0,97$$

Dòng điện pha I_p của tải

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

Dòng điện dây I_d

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

Công suất tác dụng P của tải

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

Công suất phản kháng Q của tải

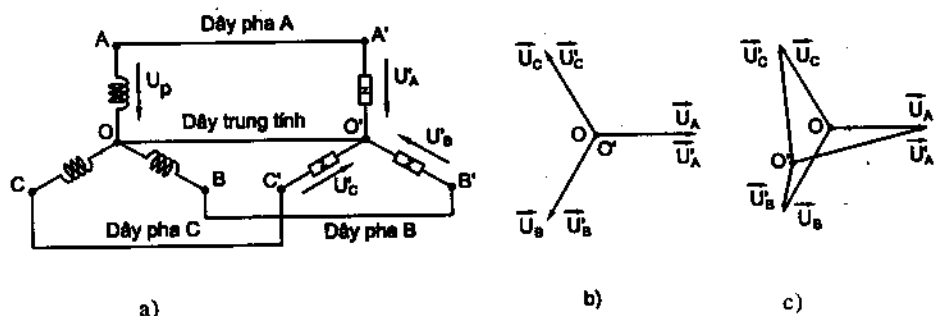
$$Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 26,7 \cdot 0,97 = 17045,7 \text{ VAr}$$

Công suất biểu kiến S

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

4.6. GIẢI MẠCH BA PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG CÓ DÂY TRUNG TÍNH

Mạng điện sinh hoạt, cung cấp điện cho các khu dân cư là mạng điện ba pha 4 dây : 3 dây pha A, B, C và dây trung tính. Điện cung cấp cho một căn hộ lấy từ một pha và dây trung tính (điện áp pha). Tải các pha không giống nhau và thay đổi nhiều. Đây là mạch ba pha không đối xứng (hình 4.13).



Hình 4.13

Bỏ qua tổng trở dây trung tính (nghĩa là bỏ qua điện áp rơi trên dây trung tính) điện thế điểm trung tính O' của tải coi là trùng với điện thế điểm trung tính O của nguồn. Khi tải các pha thay đổi điện áp U_p trên tải hầu như vẫn giữ được bình thường (hình 4.13b), không vượt quá điện áp pha.

Đây là ưu điểm của dây trung tính. Khi không có dây trung tính, hoặc dây trung tính bị đứt, nếu tải các pha thay đổi thì điểm trung tính O' của tải lệch khỏi điểm trung tính O của nguồn, điện áp pha của tải U'_A , U'_B , U'_C thay đổi rất nhiều (hình 4.13c), có pha điện áp tăng lên, có pha điện áp giảm đi (ví dụ tải pha A chịu điện áp U'_A lớn hơn U_p rất nhiều, trong khi đó điện áp U'_B của tải pha B nhỏ hơn U_p).

Đối với mạch ba pha hình sao có dây trung tính, do tải không đối xứng, ta lần lượt giải từng pha riêng rẽ, tính được dòng điện các pha I_A , I_B , I_C , công suất các pha P_A , P_B , P_C ..., dòng điện trong dây trung tính I_0 và công suất ba pha như sau:

Dòng điện trung tính I_0

bằng đồ thị vectơ

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

hoặc bằng số phức

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

Công suất ba pha

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

Để hiểu rõ ta hãy xét các ví dụ dưới đây.

Ví dụ 8 : Một mạch điện 3 pha có dây trung tính 380V/ 220V cung cấp điện cho 90 bóng đèn sợi đốt, số hiệu định mức của mỗi đèn $U_{dm} = 220V$; $P_{dm} = 60W$.

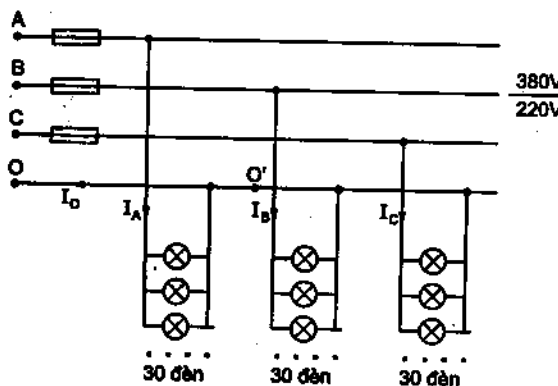
Số bóng đèn được phân đều cho 3 pha.

a) Vẽ sơ đồ mạch điện ba pha.

b) Tính I_A, I_B, I_C, I_0, P khi tất cả bóng đèn đều bật sáng.

c) Tính I_A, I_B, I_0, P khi pha A có 10 đèn bật sáng pha B có 20 đèn bật sáng, pha C cắt điện

d) Tính điện áp đặt lên các đèn pha A và pha B ở mục C, khi pha C cắt điện và dây trung tính bị đứt.



Hình 4.14

Lời giải :

a) Mạch điện 3 pha 380V/ 220V là mạch ba pha 4 dây, 3 dây pha và dây trung tính.

380V là điện áp dây (giữa các dây pha)

220V là điện áp pha (giữa dây pha và dây trung tính).

Bóng đèn 220V mắc song song với nhau giữa dây pha và dây trung tính. Sơ đồ mắc dây vẽ trên hình 4.14 . Điện áp đặt lên các đèn là $220V = U_{dm}$ của đèn, các đèn làm việc đúng định mức.

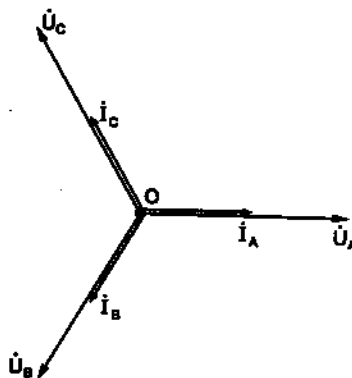
b) Vì điện áp đặt lên bóng đèn bằng định mức công suất bóng đèn tiêu thụ bằng định mức 60W.

Tất cả bóng đèn đều bật sáng mạch ba pha đối xứng công suất điện các pha bằng nhau:

$$P_A = P_B = P_C = P_p = 30 \cdot 60 = 1800W$$

Công suất ba pha

$$P = 3P_p \approx 3 \cdot 1800 = 5400W.$$



Hình 4.15

Tải là các bóng đèn, thuần điện trở R, góc lệch pha $\varphi = 0$; $\cos\varphi = 1$, nên dòng điện các pha là:

$$I_A = I_B = I_C = I_P = \frac{P_P}{U_P \cos\varphi} = \frac{1800}{220 \cdot 1} \approx 8,18 \text{ A}$$

Vì nguồn và tải đối xứng nên

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

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 4.15, trong đó dòng điện trùng pha điện áp, $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ tạo thành hệ thống vectơ đối xứng.

c) Khi pha C cắt điện, $I_C = 0$; các pha khác vẫn bình thường, điện áp trên các đèn vẫn định mức

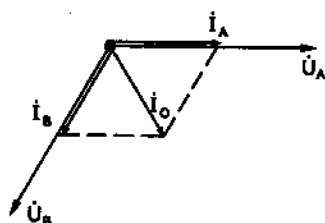
$$I_A = \frac{P_A}{U \cos\varphi} = \frac{10.60}{220 \cdot 1} = 2,73 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{P_B}{U \cos\varphi} = \frac{20.60}{220 \cdot 1} = 5,45 \text{ A}$$

$$P = P_A + P_B = 10.60 + 20.60 = 1800 \text{ W}$$

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 4.16.

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

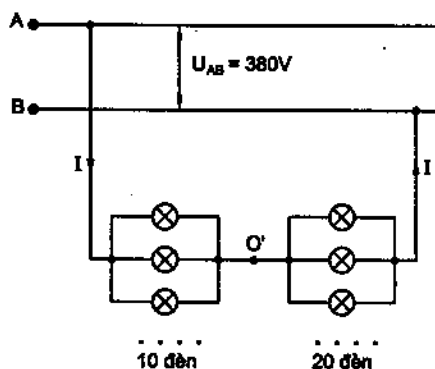


Hình 4.16

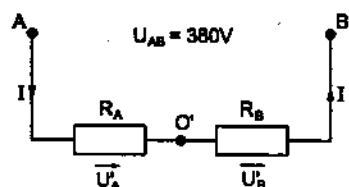
Theo công thức hình học, trị số hiệu dụng I_0 là

$$\begin{aligned} I_0 &= \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + 2I_A I_B \cos 120^\circ} \\ &= \sqrt{2,73^2 + 5,45^2 - 2 \cdot 2,73 \cdot 5,45 \cdot 0,5} = 4,72 \text{ A} \end{aligned}$$

d) Khi pha C cắt điện và đồng thời dây trung tính bị đứt, mạch điện còn lại vẽ ở hình 4.17a, đèn pha A và pha B mắc nối tiếp nhau và nối vào điện áp dây U_{AB} .



a)



b)

Hình 4.17

Lúc này điện áp đặt lên đèn không còn bằng định mức, công suất đèn tiêu thụ chưa biết. Để tính toán, trước hết tính điện trở của bóng đèn

$$R_{\text{đèn}} = \frac{U_{\text{đm}}^2}{P_{\text{đm}}} = \frac{220^2}{60} = 806,6 \, \Omega$$

Vì các bóng đèn mắc song song, nên điện trở pha A, R_A bằng điện trở tương đương của 10 bóng đèn mắc song song

$$R_A = \frac{R_{\text{đèn}}}{10} = \frac{806,6}{10} = 80,66 \, \Omega$$

Pha B có 20 bóng đèn mắc song song nên điện trở pha B là

$$R_B = \frac{R_{\text{đèn}}}{20} = \frac{806,6}{20} = 40,33 \, \Omega$$

Mạch điện tương đương vẽ trên hình 4.17b.

Dòng điện I chạy trong mạch :

$$I = \frac{U_{AB}}{R_A + R_B} = \frac{380}{80,66 + 40,33} = 3,14 \, \text{A}$$

Điện áp đặt lên đèn pha A là

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

Điện áp đặt lên đèn pha B là

$$U_B = R_B \cdot I = 40,33 \cdot 3,14 = 126,63 \, \text{V}$$

Điện áp đặt lên đèn pha A

$$U_A = 253,27 \, \text{V} > U_{\text{đm}} = 220 \, \text{V}$$

đèn pha A phát sáng quá mức có thể bị cháy.

Điện áp đặt lên đèn pha B

$$U_B = 126,63 \, \text{V} < U_{\text{đm}} = 220 \, \text{V}$$

đèn pha B phát sáng dưới định mức.

Qua ví dụ trên, ở mục c tuy tải thay đổi song nhờ có dây trung tính nên điện áp đặt lên đèn không vượt quá định mức. Ở mục d, không có dây trung tính khi tải thay đổi, điện áp trên các pha của tải thay đổi rất nhiều, có pha điện áp vượt quá định mức.

4.7. ĐO CÔNG SUẤT MẠCH ĐIỆN BA PHA

1. Đo công suất mạch điện ba pha đối xứng

Công suất các pha bằng nhau, ta chỉ cần đo công suất một pha (hình 4.18) rồi nhân ba

$$P = 3 P_p \quad (4-16)$$

2. Đo công suất mạch ba pha không đối xứng

Ta dùng 3 oát kế đo công suất từng pha rồi cộng lại (hình 4.19).

$$P = P_A + P_B + P_C$$

Đối với mạch 3 pha 3 dây (không có dây trung tính) ta có thể dùng 2 oát kế mắc dây theo sơ đồ hình 4.20.

Trong sơ đồ này oát kế 1 có điện áp dây U_{AC} và dòng điện i_A , oát kế 2 có điện áp dây U_{BC} và dòng điện i_B .

Công suất tức thời qua 2 oát kế là

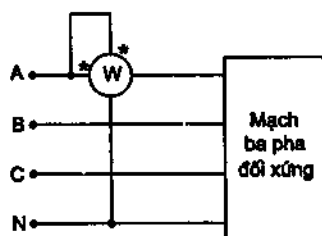
$$P_1 + P_2 = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B$$

$$\text{Vì } u_{AC} = u_A - u_C$$

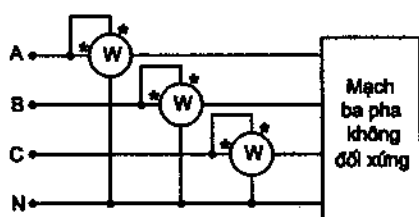
$$u_{BC} = u_B - u_C$$

$$-(i_A + i_B) = i_C$$

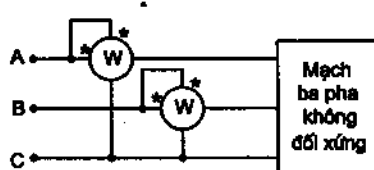
$$\text{nên } P_1 + P_2 = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = P_A + P_B + P_C$$



Hình 4.18



Hình 4.19



Hình 4.20

Công suất tức thời qua 2 oát kế chính là công suất tức thời của ba pha, vậy công suất tác dụng của ba pha bằng công suất tác dụng qua 2 oát kế

$$P = P_1 + P_2$$

Phương pháp 2 oát kế được dùng cho mạch 3 pha 3 dây đối xứng và không đối xứng, song cần chú ý rằng, khi đã mắc dây đúng cực tính như hình vẽ, oát kế nào có kim quay ngược, ta phải đổi chiều cuộn dây dòng điện (hoặc cuộn điện áp) của oát kế đó và lấy giá trị P âm. Ví dụ kim oát kế 2 quay ngược thì :

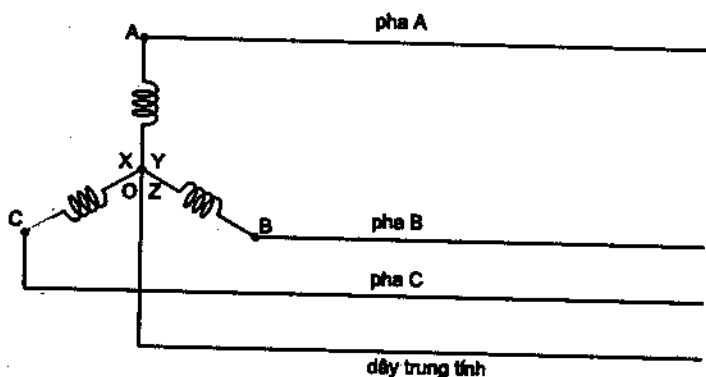
$$P = P_1 - P_2$$

4.8. CÁCH NỐI NGUỒN VÀ TẢI TRONG MẠCH BA PHA

Nguồn điện và tải ba pha đều có thể nối hình sao hoặc hình tam giác, song tùy thuộc vào điện áp định mức của thiết bị, của mạng điện và các yêu cầu kỹ thuật ta sẽ chọn cách nối dây phù hợp.

1. Cách nối nguồn điện

Các nguồn điện dùng trong sinh hoạt lấy từ dây quấn 3 pha stato máy phát điện, hoặc lấy từ dây quấn 3 pha thứ cấp của máy biến áp. Các dây quấn này thường nối hình sao có dây trung tính. Nối như vậy có ưu điểm là có thể cung cấp 2 điện áp khác nhau: điện áp pha và điện áp dây (hình 4.21). Trên thế giới tồn tại 2 loại mạng điện 380V/ 220V ($U_d = 380V$; $U_p = 220V$) và mạng điện 220V/ 127V ($U_d = 220V$, $U_p = 127V$). Hiện tại ở nước ta sử dụng mạng điện 380V/ 220V.

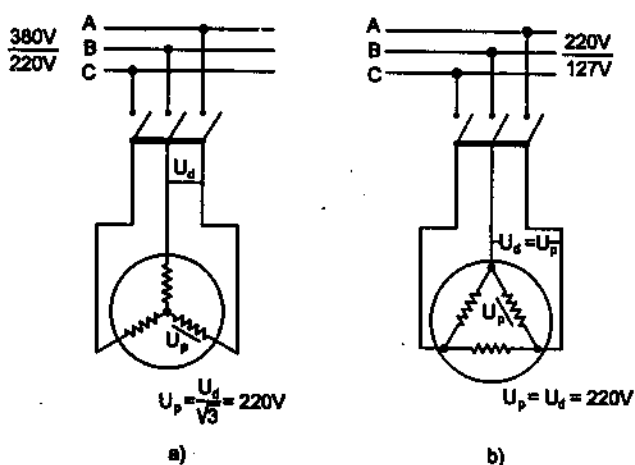


Hình 4.21

2. Cách nối động cơ điện ba pha

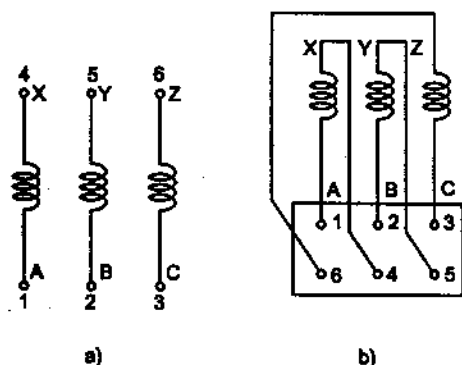
Mỗi động cơ điện ba pha gồm có 3 dây quấn pha. Khi thiết kế chế tạo người ta đã quy định điện áp định mức cho mỗi dây quấn. Động cơ làm việc phải đúng với điện áp quy định ấy. Ví dụ động cơ ba pha có điện áp định mức cho mỗi pha dây quấn là 220V ($U_p = 220V$), trên nhãn của động cơ ghi là $\Delta/Y-220V/380V$.

Nếu động cơ làm việc ở mạng điện có $U_d = 380V$, thì động cơ phải đấu hình sao (hình 4.22a), điện áp đặt lên mỗi dây quấn pha là $U_p = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$ bằng đúng điện áp quy định. Nếu động cơ ấy làm việc ở mạng điện có $U_d = 220V$, thì động cơ phải được nối hình tam giác (hình 4.22b), lúc đó điện áp đặt lên mỗi dây quấn pha của động cơ bằng điện áp dây 220 V, bằng đúng điện áp quy định.



Hình 4.22

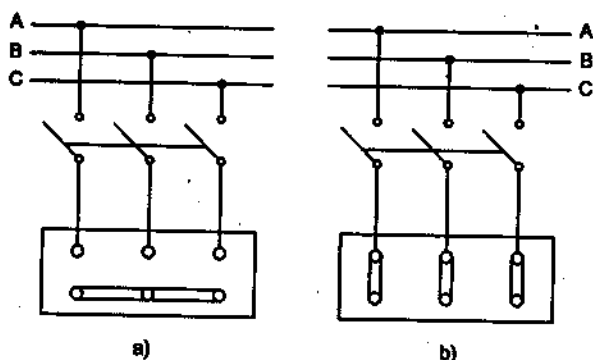
Để thuận tiện cho việc đấu động cơ, người ta ký hiệu 6 đầu dây của 3 dây quấn động cơ AX, BY, CZ như hình 4.23a và đưa 6 đầu dây nối ra 6 bu lông (1,2... 6) ở hộp nối dây trên vỏ động cơ (hình 4.23b).



Hình 4.23

3. Cách nối các tải một pha

Các tải một pha là các động cơ điện một pha, các lò điện một pha, các đồ dùng điện gia đình (đèn điện, quạt điện, tủ lạnh...) trên nhãn các thiết bị này có ghi trị số điện áp định mức.



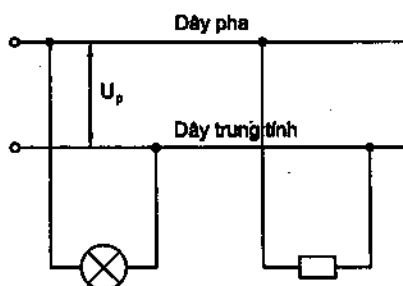
Hình 4.24

Khi sử dụng, các thiết bị này được

đầu giữa dây pha và dây trung tính (hình 4.25), vì thế các tải một pha phải có điện áp định mức bằng điện áp pha của mạng điện.

Khi thiết kế mạng điện, người ta cố gắng phân bố đều các tải một pha cho cả ba pha, song do việc sử dụng không đồng đều, nên đây là mạch 3 pha không đối xứng.

Nhờ có dây trung tính nên mặc dù tải không đối xứng, điện áp đặt lên các thiết bị hầu như giữ được bình thường, không vượt quá điện áp pha và khi pha nào bị hỏng chỉ có pha ấy mất điện, các thiết bị nối với pha ấy không làm việc, còn các pha khác vẫn bình thường.



Hình 4.25

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

- 4.1. Nêu những ưu điểm của mạch điện ba pha.
- 4.2. Các đặc điểm của mạch điện ba pha đối xứng
- 4.3. Định nghĩa điện áp pha, điện áp dây ; dòng điện pha, dòng điện dây và quan hệ giữa chúng khi nối sao và nối tam giác.
- 4.4. Trình bày các bước giải mạch điện ba pha đối xứng
- 4.5. Các biểu thức của công suất P , Q , S trong mạch ba pha đối xứng.
- 4.6. Vai trò của dây trung tính trong mạch điện ba pha tải không đối xứng.
- 4.7. Một nguồn điện ba pha nối sao, $U_{pn} = 120V$ cung cấp điện cho tải nối sao có dây trung tính. Tải có điện trở pha $R_p = 180\Omega$.

Tính U_d , I_d , I_p , I_o , P của mạch 3 pha.

Đáp số : $U_d = 207,84V$; $I_d = I_p = 667mA$; $I_o = 0$; $P = 240W$.

- 4.8. Một nguồn điện 3 pha đối xứng đấu sao cung cấp điện cho tải ba pha đối xứng đấu tam giác. Biết dòng điện pha của nguồn $I_{pn} = 17,32A$, điện trở mỗi pha của tải $R_p = 38\Omega$. Tính điện áp pha của nguồn và công suất P của nguồn cung cấp cho tải 3 pha.

Đáp số : $U_{pn} = 220V$; $P_n = P_l = 11400W$.

- 4.9. Một tải ba pha đối xứng đấu hình tam giác, biết $R_p = 15\Omega$; $X_p = 6\Omega$, đấu vào mạng điện 3 pha $U_d = 380V$. Tính I_p , I_d , P , Q của tải.

Đáp số : $I_p = 23,52A$; $I_d = 40,74A$; $P = 24893,5W$; $Q = 9957,4A$.

4.10. Một động cơ điện 3 pha đấu sao, đấu vào mạng 3 pha $U_d = 380V$. biết dòng điện dây $I_d = 26,81A$; hệ số công suất $\cos\varphi = 0,85$. Tính dòng điện pha của động cơ, công suất điện động cơ tiêu thụ.

Đáp số: $I_p = I_d = 26,81A$; $P_{điện} = 15kW$.

4.11. Một động cơ không đồng bộ có số liệu định mức sau: công suất cơ định mức $P_{dm} = 14kW$; hiệu suất $\eta_{dm} = 0,88$; hệ số công suất $\cos\varphi_{dm} = 0,89$; Y/Δ 380V/220V. Người ta đấu động cơ vào mạng 220V/127V.

a) Xác định cách đấu dây động cơ

b) Tính công suất điện động cơ tiêu thụ khi định mức.

c) Tính dòng điện dây I_d và dòng điện pha I_p của động cơ.

Đáp số: a) Động cơ nối hình tam giác Δ

$$b) P_{điện} = \frac{P_{cơ}}{\eta_{dm}} = 15,9kW$$

$$c) I_d = 46,9A; I_p = 27A$$

4.12. Một động cơ điện đấu hình sao, làm việc với mạng điện có $U_d = 380V$; động cơ tiêu thụ công suất điện 20kW; $\cos\varphi = 0,885$. Tính công suất phản kháng của động cơ tiêu thụ, dòng điện dây I_d và dòng điện pha của động cơ.

Đáp số: $Q = 10,52 kVar$; $I_p = I_d = 34,33A$.

4.13. Một mạng điện 3 pha 4 dây 380V/220V cung cấp điện cho 60 đèn phóng điện cao áp công suất đèn $P = 250W$, công suất chấn lưu 25W, hệ số công suất $\cos\varphi = 0,85$ (các đèn đã được bù), điện áp đèn $U_{dm} = 220V$.

Đèn được phân đều cho 3 pha.

a) Xác định dòng điện dây khi cả 3 pha đều làm việc bình thường. Tính dòng điện trong dây trung tính I_o .

b) Khi đèn pha A bị cắt điện. Xác định dòng điện dây I_B , I_C , dòng điện I_o trong dây trung tính khi các đèn pha B và pha C làm việc bình thường.

c) Khi đèn pha A và đèn pha B bị cắt điện. Xác định dòng điện I_C và dòng điện I_o trong dây trung tính khi đèn pha C làm việc bình thường.

Đáp số: a) $I_A = I_B = I_C = I_d = 29,4A$

$$I_o = 0$$

b) $I_B = I_C = 29,4A$ không đổi

$$I_o = 29,4A$$

c) $I_C = 29,4A$ không đổi

$$I_o = 29,4A$$

4.14. Một mạng điện 3 pha 4 dây 380V/220V, các tải một pha nối giữa dây pha và dây trung tính. Tải pha A và pha B thuần trở $R_A = R_B = 10\Omega$; tải pha C là cuộn dây $R_C = 5\Omega$; $X_L = 8,666\Omega$. Tính dòng điện các pha I_A , I_B , I_C và dòng điện trong dây trung tính I_o .

Đáp số: $I_A = I_B = I_C = 22A$; $I_o = 22A$

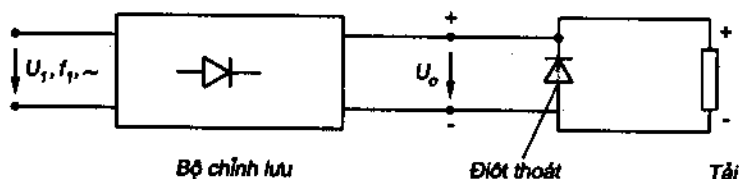
Chương 5

CHỈNH LƯU VÀ ỔN ÁP

5.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ CÁC BỘ CHỈNH LƯU

Các bộ chỉnh lưu biến đổi điện áp xoay chiều có trị số hiệu dụng U_1 , tần số f_1 thành điện áp một chiều U_o cung cấp cho các tải.

Hình 5.1 là sơ đồ khối của một bộ chỉnh lưu.



Hình 5.1. Sơ đồ khối của bộ chỉnh lưu

Phần tử cơ bản nhất trong một bộ chỉnh lưu là các linh kiện điện tử công suất. Chúng được chế tạo từ các chuyển tiếp bán dẫn pn cho phép chỉ dẫn điện theo một chiều khi bán dẫn p có thế dương so với bán dẫn n. Đó là các diốt bán dẫn. Ngoài ra người ta còn chế tạo linh kiện bán dẫn có điều khiển gọi là tiristo. Khi đưa xung điều khiển vào cực điều khiển G tiristo sẽ chuyển từ trạng thái khoá sang trạng thái dẫn. Sau khi tiristo đã mở cực điều khiển G không còn tác dụng nữa. Để tiristo tiếp tục hoạt động, người ta phải đưa các xung mới vào G ở các chu kỳ tiếp theo. Hình 5.2. là sơ đồ ký hiệu của tiristo.

Nói chung điện áp sau chỉnh lưu chưa phải là điện áp một chiều lý tưởng mà vẫn tồn tại các thành phần sóng hài bậc cao. Để giải quyết người ta thường sử dụng bộ lọc.



Hình 5.2. Ký hiệu của tiristo.

Tải của các bộ chỉnh lưu thường có tính chất điện cảm do đó trong nửa chu kỳ chỉnh lưu không dẫn điện, năng lượng

từ trường tích lũy trong điện cảm gây khó khăn trong việc chuyển mạch của các linh kiện bán dẫn công suất. Để khắc phục hiện tượng này người ta sử dụng một diốt thoát nối song song ngược với tải nhằm khép mạch dòng điện tải ở nửa chu kỳ dòng điện bị khoá.

Các bộ chỉnh lưu được phân loại theo phương pháp điều chỉnh, theo dạng sóng và các loại sơ đồ chỉnh lưu.

Theo phương pháp điều chỉnh ta phân các bộ chỉnh lưu thành:

- Bộ chỉnh lưu không điều chỉnh, điện áp một chiều cố định. Đây là bộ chỉnh lưu sử dụng toàn diốt.
- Bộ chỉnh lưu có điều chỉnh, điện áp một chiều có thể điều chỉnh từ 0 đến định mức. Đây là bộ chỉnh lưu sử dụng toàn tiristo.
- Bộ chỉnh lưu bán điều chỉnh, điện áp một chiều có thể điều chỉnh được. Đây là bộ chỉnh lưu gồm cả diốt và tiristo và mạch điều khiển đơn giản hơn.

Theo dạng sóng điện áp chỉnh lưu và loại sơ đồ chỉnh lưu ta phân thành: chỉnh lưu một nửa chu kỳ, chỉnh lưu hai nửa chu kỳ, chỉnh lưu cầu một pha, chỉnh lưu cầu ba pha... Chi tiết hơn về các sơ đồ chỉnh lưu sẽ giới thiệu ở các mục sau.

Các bộ chỉnh lưu được ứng dụng trong các lĩnh vực:

- Nguồn nuôi cho các linh kiện điện tử ;
- Nguồn một chiều cung cấp cho động cơ điện một chiều, nguồn kích từ cho các loại máy điện và khí cụ điện ;
- Trong công nghiệp điện hoá như: điện phân, mạ đúc điện, cán nguồn một chiều điện áp tương đối thấp, dòng điện lớn.

Trong chương này sẽ giới thiệu tính năng của các sơ đồ chỉnh lưu điển hình, dạng sóng điện áp chỉnh lưu và các điều kiện lựa chọn các phần tử điện tử công suất trong các sơ đồ chỉnh lưu.

5.2. CHỈNH LƯU MỘT NỬA CHU KỲ

Sơ đồ chỉnh lưu một nửa chu kỳ (chỉnh lưu nửa sóng) không điều chỉnh gồm nguồn xoay chiều, một diốt và tải cho trên hình 5.3a.

Giả thiết bỏ qua điện áp rơi trên diốt khi dẫn điện dạng sóng điện áp nguồn, điện áp một chiều trên tải, dòng điện qua tải khi tải thuần trở và điện áp trên diốt được vẽ trên hình 5.3b.

Khi điện áp nguồn dương, diốt Đ dẫn điện. Khi điện áp nguồn âm diốt Đ bị khoá, dòng điện bị triệt tiêu và toàn bộ điện áp nguồn đặt trên diốt. Như vậy điện áp và dòng điện qua tải chỉ bao gồm nửa sóng dương của hình sin. Trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu là:

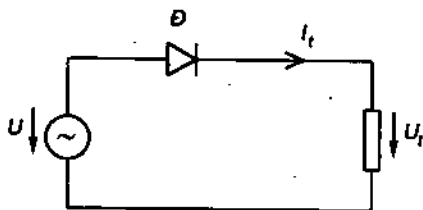
$$U_{tb} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{U_m}{\pi}$$

Điện áp ngược cực đại đặt lên diốt khi nó bị khoá là

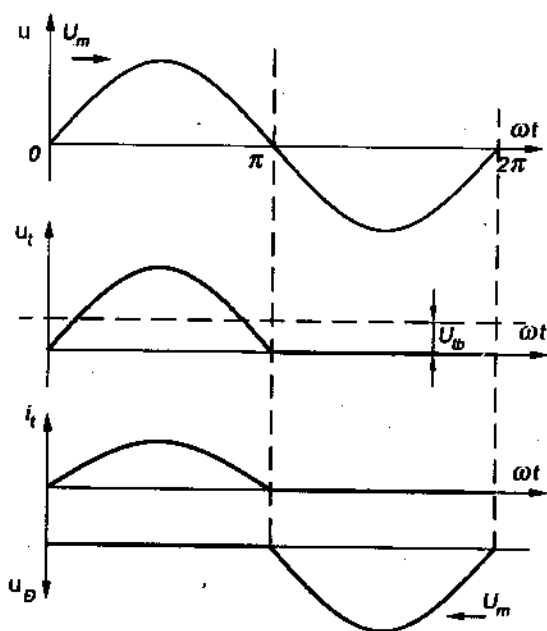
$$U_{ng\max} = U_m$$

Nếu thay thế diốt bằng tiristo ta có chỉnh lưu có điều khiển. Sơ đồ chỉnh lưu gồm nguồn xoay chiều, một tiristo với mạch nối, một diốt thoát để ngăn điện áp chỉnh lưu đổi chiều được cho trên hình 5.4a.

Tiristo chỉ dẫn điện khi có điện áp dương đặt vào tiristo U_T và đưa xung điều khiển vào cực mồi G. Khi đó tiristo bắt đầu dẫn và bị trễ một góc mở α . Trên hình 5.4b vẽ dạng sóng điện áp nguồn U_{ng} , xung môi i_g , điện áp trên tải U_t và điện áp trên tiristo U_T .



Hình 5.3a. Chỉnh lưu một nửa chu kỳ.



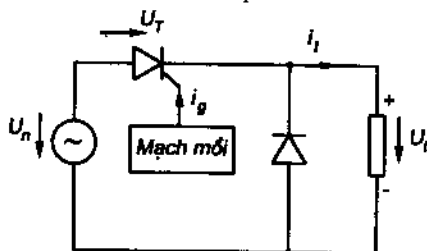
Hình 5.3b. Dạng sóng điện áp và dòng điện trên các phần tử.

So với điện áp nguồn U_n , điện áp trên tải U_t bị trễ một góc α . Điện áp chỉnh lưu trên tải bằng :

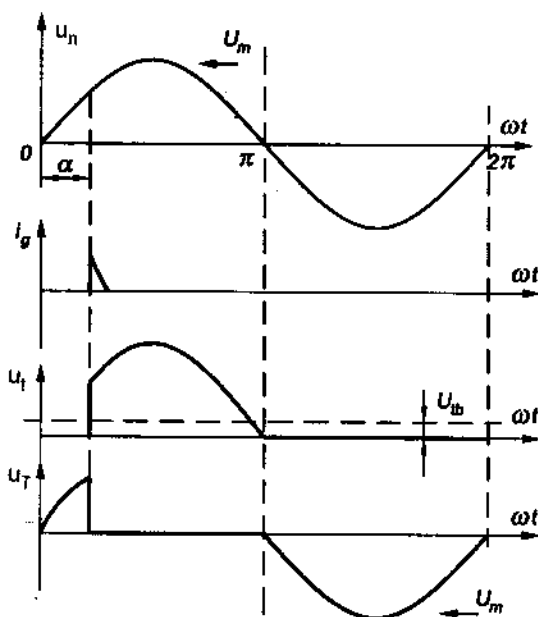
$$U_{tb} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (5-2)$$

Ta nhận thấy điện áp trung bình trên tải phụ thuộc vào góc mở α . Khi $\alpha = 0$, tiristo dẫn như diốt. Khi α càng lớn điện áp trên tải càng nhỏ và khi $\alpha = \pi$ điện áp trên tải bằng không. Điện áp ngược cực đại đặt lên tiristo bằng điện áp cực đại của nguồn :

$$U_{ng} = U_{max}$$



Hình 5.4a. Sơ đồ chỉnh lưu một nửa chu kỳ dùng tiristo



Hình 5.4b. Dạng sóng điện áp trên các phần tử

Ví dụ 1: Bộ chỉnh lưu một pha một nửa chu kỳ trên hình 5.4c cung cấp cho tải điện cảm có dòng điện 15A, điện áp nguồn xoay chiều $U = 240V$.

Tính điện áp trung bình trên tải ứng với các góc mở $\alpha = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$.

Tính các thông số chọn tiristo và diốt thoát .

Lời giải:

Đây là sơ đồ chỉnh lưu một nửa chu kỳ có điều khiển, điện áp trung bình trên tải là:

$$U_m = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$\text{Vợt } U_m = \sqrt{2} U = \sqrt{2} \cdot 240 = 340V.$$

Điện áp ngược cực đại của tiristo là:

$$U_{ng} = U_m = 340V$$

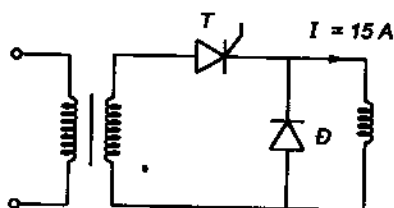
Khi $\alpha = 0$ khoảng dẫn của tiristo cực đại. Trị số hiệu dụng của dòng điện qua tiristo là:

$$I = \sqrt{\frac{15^2 + 0^2}{2}} = 10,6A$$

Điện áp ngược cực đại của diốt thoát là $U_{ng} = U_m = 340V$. Khi $\alpha = 180^\circ$ diốt thoát dẫn điện gần như liên tục với dòng điện 15A.

Điện áp trên tải theo góc mở là:

α	0°	45°	90°	135°	180°
$U_{ib} (V)$	108	92	54	16	0



Hình 5.4c

5.3. CHỈNH LƯU HAI NỬA CHU KỲ

Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ còn gọi là chỉnh lưu toàn sóng thường sử dụng hai loại sơ đồ :

1. Sơ đồ máy biến áp có điểm giữa

Sơ đồ trên hình 5.5a gồm một máy biến áp cuộn thứ cấp gồm hai nửa có điểm giữa N, hai diốt (chỉnh lưu không điều chỉnh) hoặc hai tiristo (chỉnh lưu có điều chỉnh). Hai thành phần điện áp U_1 và U_2 ngược chiều đối với điểm giữa N.

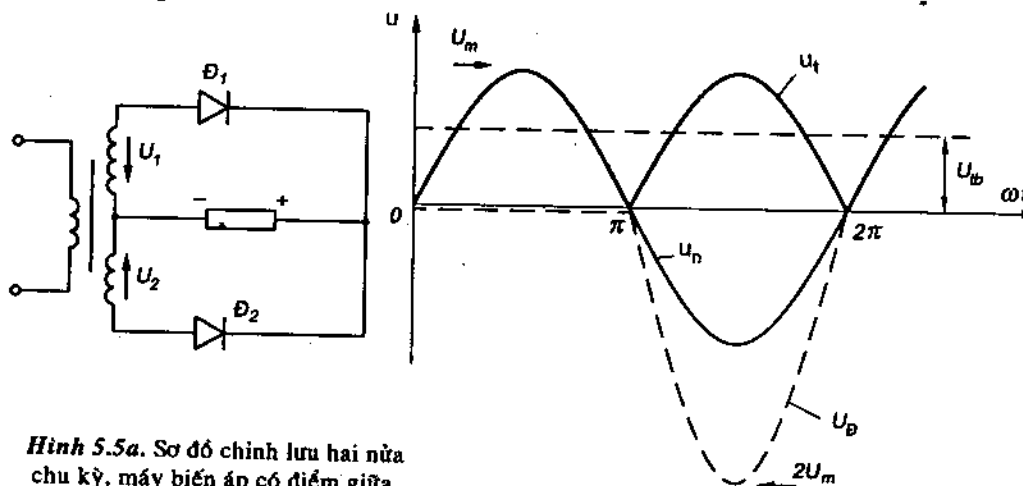
Khi U_1 dương thì U_2 âm, diốt D_1 dẫn và cung cấp dòng điện cho tải còn diốt D_2 bị khoá. Khi U_1 âm thì U_2 dương, diốt D_2 dẫn sẽ cung cấp điện cho tải, diốt D_1 bị khoá. Như vậy trong cả hai nửa chu kỳ đều có một diốt dẫn. Điện áp chỉnh lưu trung bình gấp đôi so với chỉnh lưu một nửa chu kỳ.

$$U_{tb} = \frac{U_m}{2\pi} \quad (5-3)$$

Khi một diốt bị khoá, điện áp ngược cực đại đặt lên nó bằng hai lần điện áp cực đại của dây quấn thứ cấp máy biến áp:

$$U_{ng} = 2U_m$$

Hình 5.5b trình bày dạng sóng của điện áp nguồn, điện áp trên tải và điện áp trên diốt.



Hình 5.5a. Sơ đồ chỉnh lưu hai nửa chu kỳ, máy biến áp có điểm giữa.

Hình 5.5b. Dạng sóng điện áp

2. Chỉnh lưu cầu một pha

Sơ đồ mạch chỉnh lưu cầu một pha gồm nguồn xoay chiều, 4 diốt nối theo sơ đồ cầu và tải mắc ở một đường chéo của cầu được cho trên hình 5.6a.

Khi điện áp nguồn U_n âm hai diốt D_3 và D_4 dẫn còn D_1 và D_2 bị khoá.

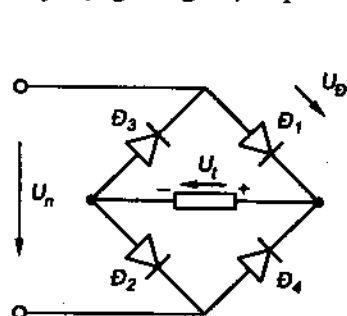
Như vậy đây là chỉnh lưu hai nửa chu kỳ. Điện áp chỉnh lưu trung bình đặt trên tải là:

$$U_{tb} = \frac{2U_m}{\pi} \quad (5-4)$$

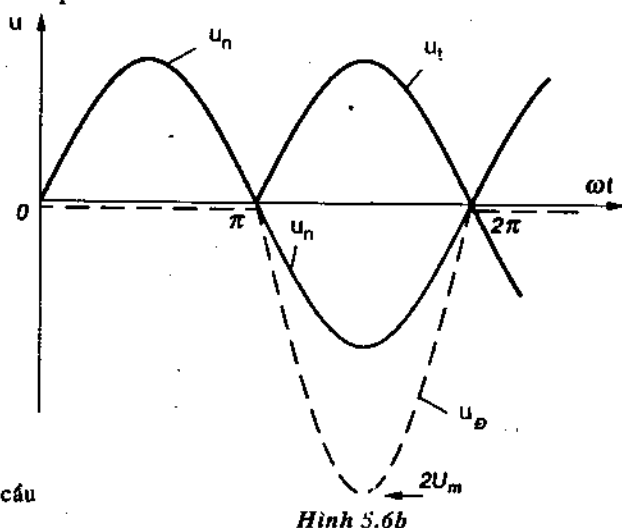
Trong mỗi nửa chu kỳ có hai diốt đồng thời dẫn điện do đó điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi diốt chỉ bằng điện áp cực đại của nguồn do đó: $U_{ng} = U_m$.

Đây là ưu điểm của sơ đồ cầu so với sơ đồ chỉnh lưu hai nửa chu kỳ máy biến áp điểm giữa, nghĩa là trong sơ đồ cầu các diốt có thể chịu được điện

áp ngược lớn hơn. Tuy nhiên sơ đồ cầu tốn nhiều diốt hơn. Hình 5.6b trình bày dạng sóng điện áp trên các phần tử.



Hình 5.6a. Sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha.



Hình 5.6b

Ví dụ 2: Cho sơ đồ chỉnh lưu cầu hình 5.6a. Nếu muốn điện áp chỉnh lưu $U_0 = 15V$. thì điện áp thứ cấp cực đại là bao nhiêu?..

Giải :

Đây là chỉnh lưu hai nửa chu kỳ nên trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu là:

$$U_0 = \frac{2U_m}{\pi}$$

$$\text{Suy ra : } U_m = \frac{2}{\pi} U_0 = 1,57.15 = 23,6V$$

5.4. CHỈNH LƯU BA PHA HÌNH TIA

Sơ đồ chỉnh lưu ba pha hình tia gồm các dây quấn máy biến áp, mỗi pha nối với một diốt. Tải nối giữa trung tính của nguồn và điểm nối chung của các diốt và được trình bày trên hình 5.7a.

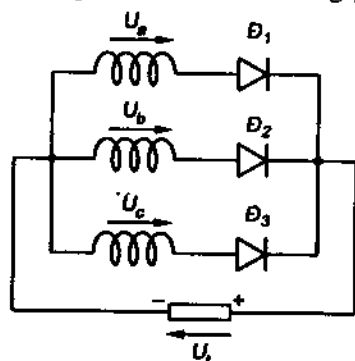
Ở mỗi thời điểm chỉ có một diốt dẫn điện là diốt nối với pha có trị số tức thời dương lớn nhất. Khi U_A là pha có trị số điện áp dương lớn nhất thì diốt Đ_1 dẫn điện. Sau một phần ba chu kỳ U_B trở nên dương hơn thì dòng điện chuyển từ diốt Đ_1 sang Đ_2 , lúc này Đ_1 bị khoá vì anốt của nó có điện thế âm hơn catốt. Sau một phần ba chu kỳ đến lượt diốt Đ_3 dẫn còn hai diốt kia bị khoá. Điện áp chỉnh lưu trung bình trên tải là :

$$U_{tb} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_m \quad (5-5)$$

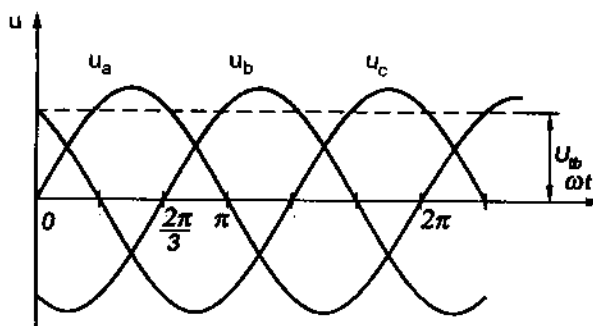
Điện áp ngược cực đại đặt trên mỗi diốt là: $U_{ng} = \sqrt{3} U_m$.

Ở đây U_m là điện áp pha cực đại của thứ cấp máy biến áp.

Quan sát dạng sóng điện áp chỉnh lưu trên tải trên hình 5.7b, ta thấy điện áp chỉnh lưu khá bằng phẳng.



Hình 5.7a. Sơ đồ chỉnh lưu ba pha hình tia



Hình 5.7b. Dạng sóng điện áp chỉnh lưu ba pha hình tia

Ví dụ 3. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia sử dụng tiristo cho trên hình 5.7c.

Biết điện áp pha của nguồn $U=150V$.

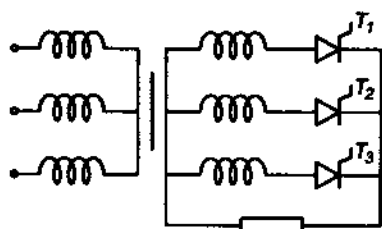
1. Tìm dạng sóng điện áp trên tải.

2. Xác định điện áp trung bình trên tải khi góc mở $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$.

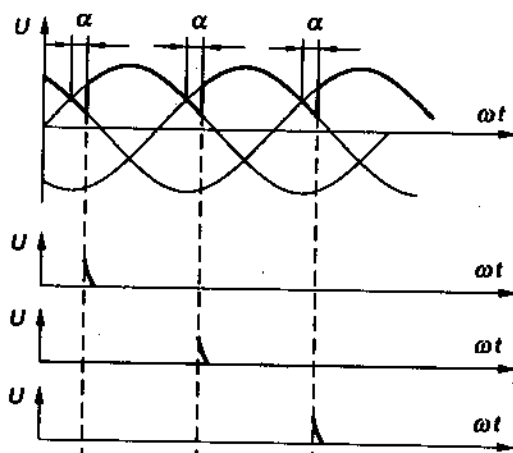
Cho biết điện áp rơi trên mỗi tiristo là $1,5V$ và dòng điện tải không đổi.

Giải.

Dạng sóng điện áp chỉnh lưu được cho trên hình 5.7b. Góc mở α tính từ thời điểm giao nhau của các điện áp pha. Các xung điều khiển được vẽ trên hình 5.7d.



Hình 5-7c



Hình 5.7d

Trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu:

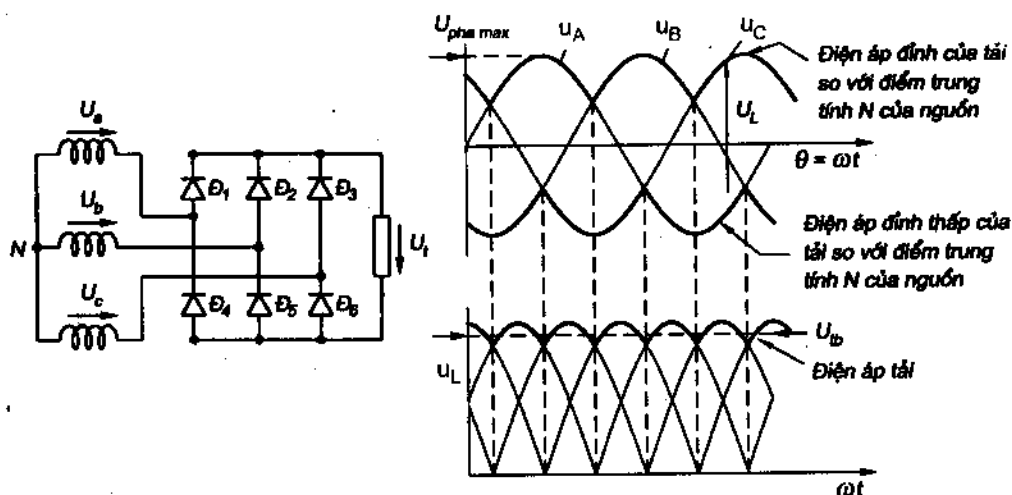
$$U_{tb} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cdot \sqrt{2} U \cos \alpha - 1,5$$

Từ đó suy ra:

α	0°	30°	60°	90°
$U_{tb} \text{ (V)}$	173.9	150.4	86.2	0

5.5. CHỈNH LƯU CẦU BA PHA

Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha gồm nguồn ba pha U_A, U_B, U_C và 6 điốt nối theo sơ đồ cầu hình 5.8a. Trong mỗi khoảng thời gian khi điện áp nguồn trở nên dương nhất có 2 điốt đồng thời dẫn điện. Dạng sóng điện áp chỉnh lưu cầu ba pha được cho trên hình 5.8b.



Hình 5.8a. Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha. Hình 5.8b. Dạng sóng điện áp trên các phân tử.

So với sơ đồ hình tia điện áp chỉnh lưu bằng phẳng hơn, điện áp chỉnh lưu trung bình gấp đôi so với chỉnh lưu ba pha hình tia :

$$U_{tb} = \frac{3}{\pi} \sqrt{3} U_m \quad (5-6)$$

Điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi điốt là :

$$U_{ng} = \sqrt{3} U_m$$

5.6. CÁC BỘ ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP

1. Khái niệm chung

Các bộ ổn áp là thiết bị điện tự động duy trì điện áp ra không đổi khi điện áp vào biến thiên trong phạm vi nhất định.

Chất lượng bộ ổn áp được đánh giá bằng hệ số ổn định :

$$K = \frac{\Delta U_2 / U_2}{\Delta U_1 / U_1}$$

Trong đó: ΔU_1 , ΔU_2 là biến thiên của điện áp vào và điện áp ra;

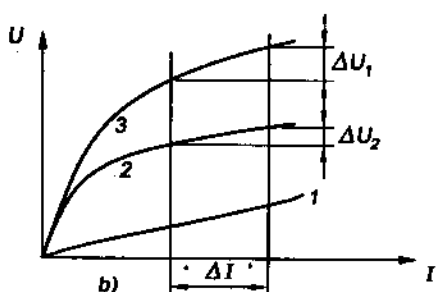
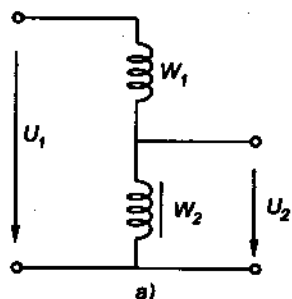
U_1 , U_2 là điện áp vào và điện áp ra.

Có nhiều loại ổn áp với nguyên lý rất khác nhau. Sau đây xin giới thiệu nguyên lý làm việc của các bộ ổn áp thông dụng.

2. Ổn áp sắt từ

Ổn áp sắt từ có sơ đồ nguyên lý cho trên hình 5.9a. Ổn áp gồm hai cuộn kháng, một cuộn tuyến tính W_1 và một cuộn bão hòa W_2 mắc nối tiếp với nhau.

Điện áp ra U_2 lấy trên cuộn bão hòa. Đặc tính Vôn-Ampe của ổn áp cho trên hình 5.9b: 1 là đặc tính Vôn-Ampe của cuộn kháng tuyến tính; 2 là đặc tính Vôn-Ampe của cuộn bão hòa; 3 là đặc tính Vôn-Ampe của hai cuộn mắc nối tiếp.



Hình 5.9. Ổn áp sắt từ.

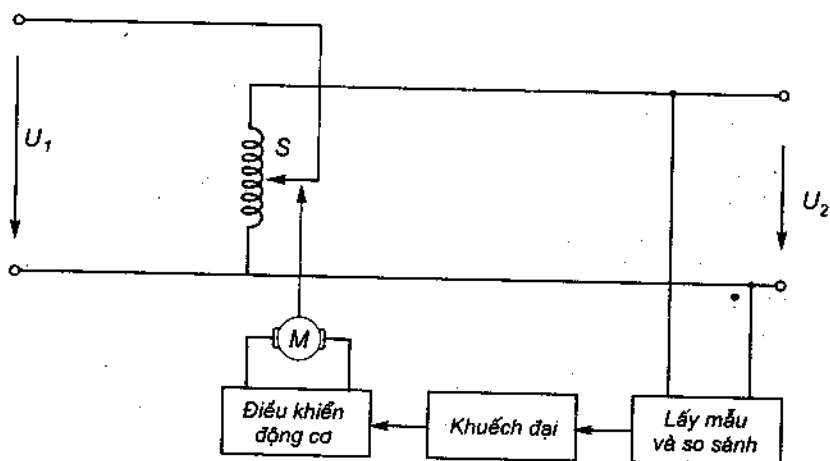
Ta nhận thấy điện áp vào biến thiên lớn nhưng vì đặc tính bão hòa của cuộn dây lõi thép nên điện áp ra biến thiên nhỏ. Nhược điểm của ổn áp sắt từ là tốn nhiều nguyên liệu, điện áp ra bị méo.

3. Ổn áp kiểu động cơ chấp hành

Sơ đồ nguyên lý ổn áp của kiểu động cơ chấp hành cho trên hình 5.10.

Đây là sơ đồ máy biến áp tự ngẫu trong đó con chạy S được điều khiển bằng động cơ chấp hành nhằm thay đổi số vòng dây thứ cấp khi điện áp sơ cấp thay đổi. Điện áp ra U_2 được lấy mẫu và so sánh với điện áp chuẩn rồi đưa vào bộ khuếch đại, lấy tín hiệu điều khiển động cơ một chiều.

Động cơ chấp hành một chiều quay sẽ kéo con chạy của biến áp tự ngẫu nhằm duy trì điện áp U_2 không đổi.



Hình 5.10. Ổn áp kiểu động cơ chấp hành.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 5.1. Vai trò của diốt công suất, tiristo, diốt thoát và bộ lọc trong các bộ chỉnh lưu ?
- 5.2. Các sơ đồ chỉnh lưu cơ bản, điện áp trung bình và điện áp ngược trên linh kiện điện tử công suất trong các sơ đồ nêu trên ?
- 5.3. So sánh các đặc tính của các sơ đồ chỉnh lưu, từ đó suy ra phạm vi ứng dụng của chúng ?

Chương 6

CÁC THIẾT BỊ ĐÓNG CẮT VÀ BẢO VỆ MẠCH ĐIỆN

6.1. ROLE

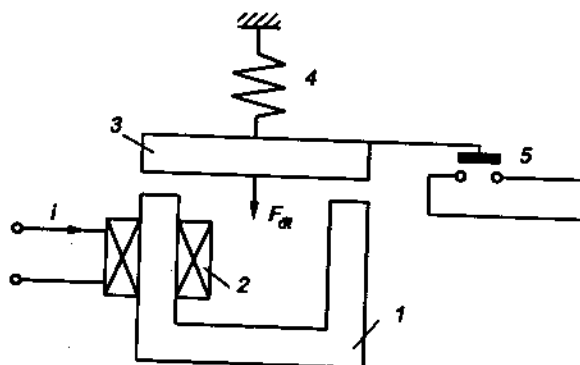
Role là thiết bị điện dùng để đóng cắt mạch điện điều khiển, bảo vệ và điều khiển sự làm việc của mạch điện động lực.

Các bộ phận (các khối) chính của role là: cơ cấu tiếp thu, cơ cấu trung gian, cơ cấu chấp hành. Ví dụ role điện từ có các bộ phận: cuộn dây (cơ cấu tiếp thu), mạch từ nam châm điện (cơ cấu trung gian), hệ thống các tiếp điểm (cơ cấu chấp hành).

Ngày nay do sự phát triển của công nghệ, ngoài role điện cơ, role nhiệt, role từ, các loại role điện từ, role số với những ưu điểm nổi bật đã phát triển và sử dụng nhiều trong các ngành của sản xuất và đời sống.

1. Role điện từ

Role điện từ là loại role điện cơ, làm việc theo nguyên lý điện từ. Xét một role điện từ có cấu tạo như hình 6.1.



Hình 6.1.

Khi cho dòng điện i đi vào cuộn dây 2 của nam châm điện 1, thì nắp 3 của nam châm điện sẽ chịu một lực hút điện từ $F_{đt}$. Khi dòng điện i lớn hơn dòng điện tác động

I_{td} , thì lực điện từ $F_{đt}$ lớn hơn lực $F_{lò xo}$ của lò xo 4, làm đóng tiếp điểm 5. Khi dòng điện i nhỏ hơn dòng điện trở về I_{tv} , lực $F_{lò xo}$ lớn hơn lực điện từ $F_{đt}$, role nhả, cắt tiếp điểm 5.

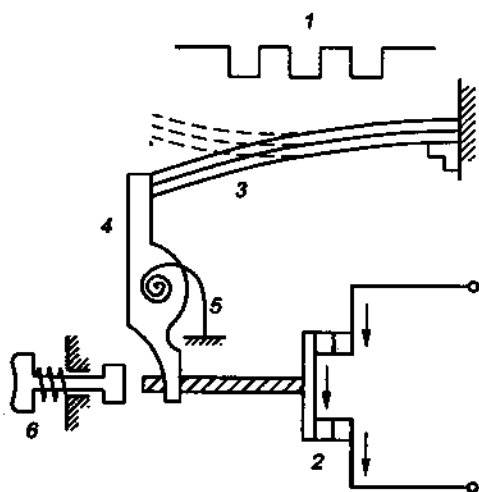
Nhược điểm của role điện từ là công suất tác động tương đối lớn, độ nhạy thấp. Hiện nay người ta sử dụng vật liệu sắt từ mới để tăng độ nhạy của role.

2. Role nhiệt

Role nhiệt dùng để bảo vệ động cơ điện và mạch điện khỏi bị quá tải. Role nhiệt không tác động tức thời theo trị số dòng điện, vì cần có thời gian để phát nóng. Thời gian làm việc khoảng vài giây đến vài phút.

Role nhiệt có nguyên lý làm việc dựa vào tác dụng nhiệt của dòng điện. Loại role nhiệt thường gặp có phần tử cơ bản là phiến kim loại kép, cấu tạo từ hai tấm kim loại, một tấm có hệ số giãn nở bé và một tấm có hệ số giãn nở lớn. Khi đốt nóng do dòng điện I , có thể dùng trực tiếp cho dòng điện đi qua, hoặc dây điện trở bao quanh.

Hình 6.2 là sơ đồ cấu tạo role nhiệt. Bộ phận đốt nóng 1 đấu nối tiếp với mạch điện chính của thiết bị cần bảo vệ (tự động cắt điện). Khi dòng điện chạy trong mạch điện tăng lên quá mức quy định (động cơ điện bị quá tải) thì nhiệt lượng toả ra làm cho phiến kim loại kép 3 cong lên phía trên (về phía kim loại có hệ số giãn nở nhỏ). Nhờ lực kéo của lò xo 5, đòn bẩy 4 sẽ quay và mở tiếp điểm 2, làm cho mạch điện tự động cắt điện. Khi bộ phận đốt nóng nguội đi, thanh kim loại kép hết cong, ấn nút 6 là có thể đưa role nhiệt về vị trí cũ, tiếp điểm 2 đóng.



Hình 6.2.

3. Role tương tự - Role kỹ thuật số

Các loại role điện-cơ có nhược điểm là tác động chậm và kém chính xác nên từ những năm 70 đến năm 90 các role điện-cơ được cải tiến theo hướng điện tử hoá, thay thế các cơ cấu đo, cơ cấu so ngưỡng bằng các mạch điện tử và vi mạch bán dẫn. Đến khoảng những năm 90 người ta đưa kỹ thuật vi xử lý, vi điều khiển vào role, các tính năng của role càng ưu việt hơn.

Role tương tự có đặc trưng là các thông số vào, ra của role như dòng điện, điện áp, góc lệch pha, công suất... là các đại lượng liên tục (analog). Tín hiệu này được so sánh với một hay nhiều đại lượng đầu vào có giá trị chuẩn để cho tín hiệu đầu ra. Cấu trúc role gồm các khối sau: khối tiếp thu, khối thực hiện, khối trì hoãn và khối chỉnh định.

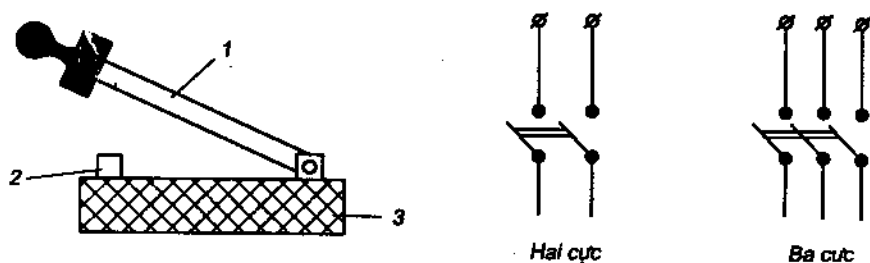
Role kỹ thuật số có đặc điểm là tín hiệu xử lý bên trong của role ở dạng số (dạng nhị phân 0, 1). Tín hiệu đầu vào được chuyển sang tín hiệu số để điều khiển tín hiệu ra. Kết cấu phần cứng và phần mềm của các kiểu role kỹ thuật số của các hãng khác nhau thường có những nét đặc biệt riêng, không giống nhau.

6.2. CẦU DAO

Cầu dao là loại thiết bị điện dùng để đóng, cắt dòng điện bằng tay, đơn giản nhất, được sử dụng trong mạch điện có điện áp 220V điện một chiều và 380V điện xoay chiều.

Cầu dao thường dùng để đóng cắt mạch điện công suất nhỏ và khi làm việc không phải đóng cắt nhiều lần. Nếu điện áp mạch điện cao hơn hoặc mạch điện có công suất trung bình và lớn thì cầu dao làm nhiệm vụ cách li hoặc chỉ đóng cắt khi không tải. Sở dĩ như vậy vì khi cắt mạch, hồ quang sinh ra sẽ rất lớn, tiếp xúc sẽ bị phá huỷ trong một thời gian ngắn dẫn đến phát sinh hồ quang giữa các pha, gây nguy hiểm cho người thao tác và hỏng thiết bị.

Để đảm bảo cắt điện tin cậy các thiết bị dùng điện ra khỏi nguồn điện, chiều dài lưỡi dao phải đủ lớn (lớn hơn 50cm) và để an toàn lúc đóng cắt, cần có biện pháp dập tắt hồ quang, tốc độ di chuyển lưỡi dao tiếp xúc càng nhanh, thời gian dập tắt hồ quang càng ngắn, vì thế người ta thường làm thêm lưỡi dao phụ có lò xo bật nhanh ở các cầu dao có dòng điện một chiều lớn hơn 30A.



Hình 6.3. Cấu tạo và ký hiệu cầu dao.

1. tiếp điểm động (lưỡi dao); 2. tiếp điểm tĩnh; 3. đế cách điện.

Theo kết cấu người ta phân ra loại 1 cực, 2 cực, 3 cực hoặc 4 cực. Theo điện áp phân ra điện áp định mức 250V, 500V. Theo dòng điện định mức có các loại: 15; 25; 30; 40; 60; 75; 100; 150; 200; 300; 350; 600; 1000A. Theo điều kiện bảo vệ có loại không có hộp, có loại có hộp che chắn. Theo yêu cầu sử dụng có loại cầu dao có cầu chì bảo vệ và loại không có cầu chì bảo vệ.

Trên hình 6.3 vẽ cấu tạo và ký hiệu cầu dao.

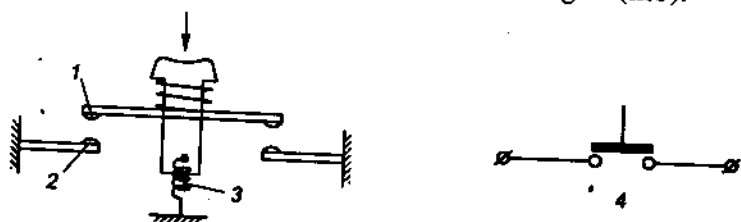
6.3. NÚT ÁN

Là thiết bị điện để điều khiển từ xa (có khoảng cách) đóng cắt tự động mạch điện (mạch điện động cơ điện...).

Có hai loại nút ấn: nút ấn thường hở và nút ấn thường đóng.

1. Nút ấn thường hở

Trên hình 6.4 là cấu tạo và ký hiệu nút ấn thường hở(mở).



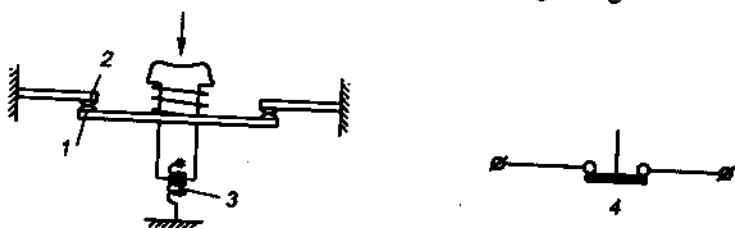
Hình 6.4.

1. tiếp điểm động; 2. tiếp điểm tĩnh; 3. lò xo; 4. ký hiệu nút ấn thường hở.

Khi ấn nút theo chiều mũi tên thì tiếp điểm đóng lại, nối mạch điện. Khi bỏ tay ra, nhờ lò xo phản, tiếp điểm lại trở về vị trí ban đầu là hở mạch.

2. Nút ấn thường đóng

Trên hình 6.5 là cấu tạo và ký hiệu nút ấn thường đóng.



Hình 6.5.

1. tiếp điểm động; 2. tiếp điểm tĩnh; 3. lò xo; 4. ký hiệu nút ấn thường đóng.

Khi ấn nút theo chiều mũi tên thì tiếp điểm hở ra, cắt mạch điện. Khi bỏ tay ra, nhờ lò xo phản, các tiếp điểm trở lại vị trí ban đầu là thường đóng.

6.4. CÔNG TÁC TƠ ĐIỆN TỪ

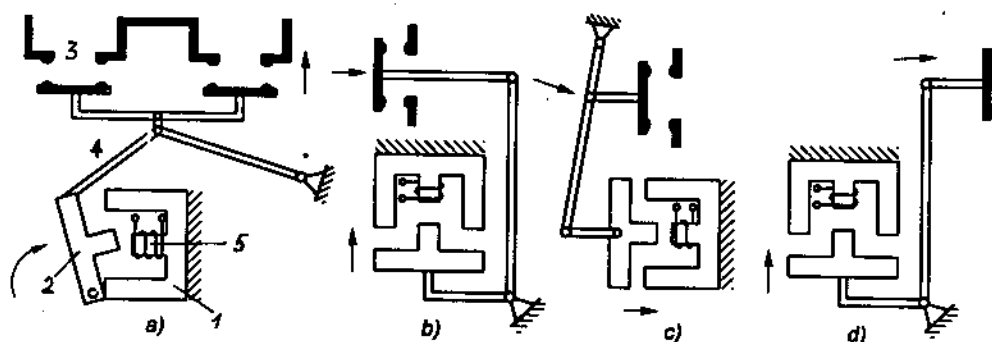
Công tắc tơ là loại thiết bị điện dùng để đóng cắt từ xa, tự động hoặc bằng nút ấn các mạch điện có tải điện áp đến 500V, dòng điện đến 600A.

Công tắc tơ có hai vị trí: đóng và cắt. Tiếp điểm được giữ ở trạng thái đóng nhờ có dòng điện trong cuộn dây hút (cuộn điều khiển) của cơ cấu điện từ.

Công tắc tơ điện từ có các bộ phận chính sau:

- Cơ cấu điện từ.
- Hệ thống tiếp điểm chính
- Hệ thống tiếp điểm phụ
- Hệ thống dập hồ quang.

Trên hình 6.6 vẽ sơ đồ nguyên lý chung của các công tắc tơ điện từ.



Hình 6.6

Trong sơ đồ hình 6.6 ta thấy 2 bộ phận cơ bản: cơ cấu điện từ và cơ cấu truyền động. Cơ cấu truyền động gồm hệ thống tay đòn và tiếp điểm động. Cơ cấu truyền động phải có kết cấu hợp lý để giảm thời gian thao tác đóng, cắt, tăng lực ép các tiếp điểm và giảm được tiếng kêu va đập.

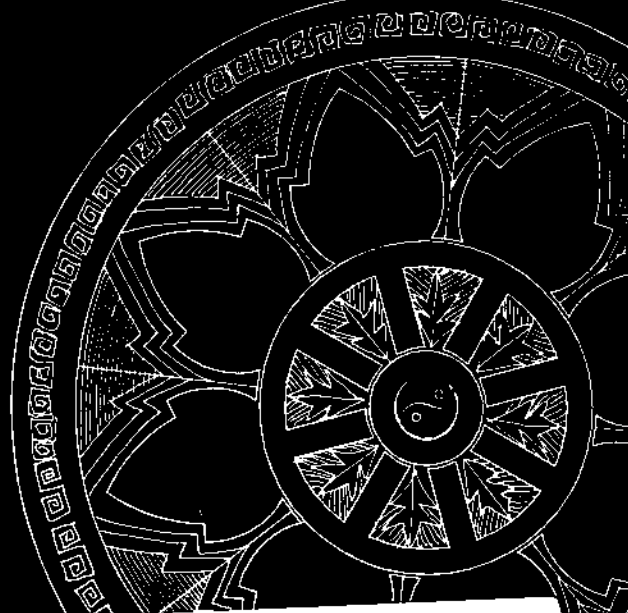
1. Cơ cấu điện từ

Cơ cấu điện từ của công tắc tơ gồm có mạch từ và cuộn dây hút.

Mạch từ của công tắc tơ xoay chiều là các lõi thép được ghép bằng lá thép kỹ thuật điện có chiều dày 0,35mm đến 0,5mm để giảm tổn hao sắt từ do dòng điện xoáy. Mạch từ có dạng hình chữ E hoặc chữ U, gồm 2 phần tĩnh (1) được ghép chặt cố định, phần động (2) là nắp còn gọi là phần ứng được nối với các tiếp điểm (3) qua hệ thống tay đòn (4).

Cuộn dây hút (5) có điện trở rất bé so với điện kháng. Khi có dòng điện qua cuộn hút, sẽ có lực điện từ hút nắp (phần động 2), thông qua hệ thống tay đòn, đóng tiếp điểm (3), duy trì vị trí đóng mạch điện của công tắc tơ (hình 6.6).

Nguyên lý làm việc của công tắc tơ điện một chiều cũng tương tự như trên, thường chỉ khác ở hình dáng kết cấu truyền động của mạch từ tới tiếp điểm. Công tắc tơ điện một chiều thường dùng mạch từ kiểu xupáp, có tiếp điểm động bắt chặt ngay vào nắp. Ngoài ra, vì sử dụng dòng điện một chiều, nên mạch từ thường làm bằng sắt từ mềm, cuộn dây thường có dạng



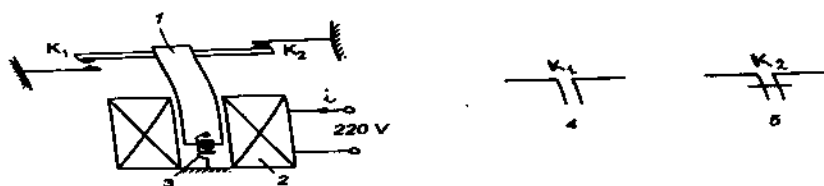
trụ tròn, có thể quấn sát vào lõi, vì lõi thép ít nóng hơn trường hợp xoay chiều.

Hệ thống tiếp điểm

Hệ thống tiếp điểm gồm các tiếp điểm thường hở (mở) (ở trạng thái hở) và tiếp điểm thường đóng (đóng) khi chưa có tác động của cuộn dây điều khiển.

Tren hình 6.7a vẽ vị trí các tiếp điểm thường hở, thường đóng và cuộn dây điều khiển vào cuộn dây điều khiển. Hình 6.7b vẽ ký hiệu cuộn dây công tắc tơ K và tiếp điểm thường hở, tiếp điểm thường đóng.

Khi có dòng điện vào cuộn dây, lõi sắt bị hút xuống một lực thắng lực đẩy của lò xo phản làm cho tiếp điểm thường đóng bị hở ra và tiếp điểm thường hở bị đóng lại. Nếu cuộn dây bị mất điện, do tác dụng của lực đẩy của lò xo, hệ thống các tiếp điểm trở về vị trí ban đầu.



Hình 6.7. 1. lõi sắt; 2. cuộn dây K; 3. lò xo; 4. K_1 - ký hiệu tiếp điểm thường hở; 5. K_2 - ký hiệu tiếp điểm thường đóng

Các số liệu kỹ thuật của công tắc tơ là:

- Điện áp định mức U_{dm} là điện áp của mạng điện tương ứng mà tiếp điểm chính phải đóng cắt, thường có các cấp 110V; 220V; 440V điện một chiều và 127V; 220V; 380V; 500V xoay chiều.

Cuộn hút có thể làm việc bình thường ở điện áp trong giới hạn 85% đến 105% điện áp định mức.

- Dòng điện định mức I_{dm} là dòng điện đi qua tiếp điểm chính trong chế độ làm việc gián đoạn lâu dài, nghĩa là ở chế độ này thời gian công tắc tơ ở trạng thái đóng không lâu quá 8 giờ.

Công tắc tơ có các cấp dòng điện thông dụng 10; 20; 25; 40; 60; 75; 100; 150; 250; 300; 600A.

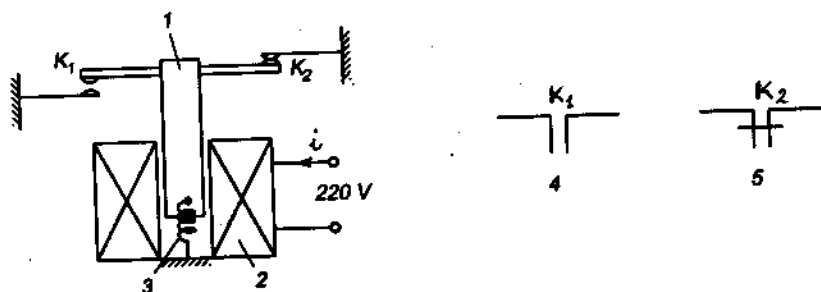
hình trụ tròn, có thể quấn sát vào lõi, vì lõi thép ít nóng hơn trường hợp điện xoay chiều.

2. Hệ thống tiếp điểm

Hệ thống tiếp điểm gồm các tiếp điểm thường hở (mở) (ở trạng thái hở) và tiếp điểm thường đóng (ở trạng thái đóng) khi chưa có tác động của cuộn điều khiển (cuộn hút).

Trên hình 6.7a vẽ vị trí các tiếp điểm thường hở, thường đóng khi không có dòng điện vào cuộn dây điều khiển. Hình 6.7b vẽ ký hiệu cuộn dây công tắc tơ K và tiếp điểm thường hở, tiếp điểm thường đóng.

Khi có dòng điện vào cuộn dây, lõi sắt bị hút xuống một lực thắng lực đẩy của lò xo phản làm cho tiếp điểm thường đóng bị hở ra và tiếp điểm thường hở bị đóng lại. Nếu cuộn dây bị mất điện, do tác dụng của lực đẩy của lò xo, hệ thống các tiếp điểm trở về vị trí ban đầu.



Hình 6.7. 1. lõi sắt ; 2. cuộn dây K ; 3. lò xo ; 4. K_1 - ký hiệu tiếp điểm thường hở ;
5. K_2 ký hiệu tiếp điểm thường đóng

Các số liệu kỹ thuật của công tắc tơ là:

- Điện áp định mức U_{dm} là điện áp của mạng điện tương ứng mà tiếp điểm chính phải đóng cắt, thường có các cấp 110V; 220V; 440V điện một chiều và 127V; 220V; 380V; 500V xoay chiều.

Cuộn hút có thể làm việc bình thường ở điện áp trong giới hạn 85% đến 105% điện áp định mức.

- Dòng điện định mức I_{dm} là dòng điện đi qua tiếp điểm chính trong chế độ làm việc gián đoạn lâu dài, nghĩa là ở chế độ này thời gian công tắc tơ ở trạng thái đóng không lâu quá 8 giờ.

Công tắc tơ có các cấp dòng điện thông dụng 10; 20; 25; 40; 60; 75; 100; 150; 250; 300; 600A.

6.5. KHỞI ĐỘNG TỪ

Khởi động từ là một loại thiết bị điện dùng để điều khiển đóng cắt từ xa, đảo chiều quay và bảo vệ quá tải (nếu có mắc thêm role nhiệt) cho các động cơ ba pha rôto lồng sóc. Loại khởi động từ có một công tắc tơ gọi là khởi động từ đơn, thường dùng để điều khiển đóng cắt động cơ điện. Khởi động từ có 2 công tắc tơ gọi là khởi động từ kép dùng để khởi động và điều khiển đảo chiều quay động cơ điện. Muốn khởi động từ bảo vệ được ngắn mạch phải mắc thêm cầu chì.

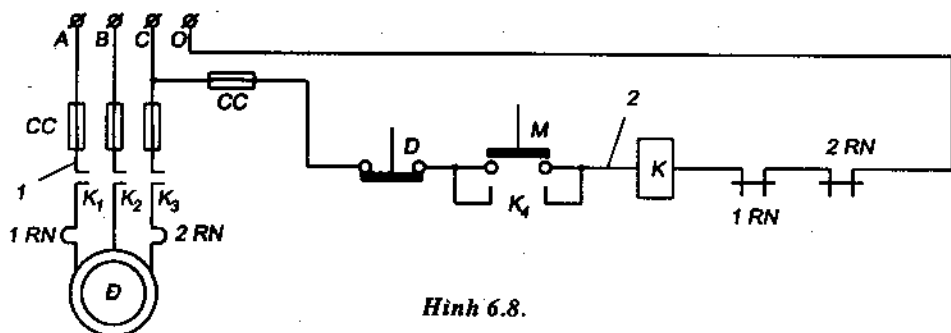
Người ta phân chia khởi động từ thành các loại sau:

- Theo điện áp định mức của cuộn dây hút: 36V; 127V; 220V; 380V và 500V.

- Theo kết cấu bảo vệ chống tác động bởi môi trường xung quanh có các loại: hở, bảo vệ, chống nổ.

Cũng như các thiết bị điện thấp áp, các chi tiết của khởi động từ làm việc không có dầu mỡ bôi trơn, tức làm việc khô, do đó phải làm từ vật liệu ít bị mòn do ma sát và không bị gỉ. Ngày nay người ta dùng kim loại - nhựa có độ bền chịu mòn cao, có thể bền gấp 200 lần so với giữa kim loại-kim loại.

Trên hình 6.8 vẽ sơ đồ dùng khởi động từ đơn để đóng cắt điều khiển động cơ điện.



Hình 6.8.

1. mạch động lực; 2. mạch điều khiển

Trên sơ đồ ký hiệu như sau:

- A, B, C, O mạch ba pha 4 dây.
- CC là cầu chì
- 1RN, 2RN 2 role nhiệt đặt ở 2 pha
- K cuộn dây công tắc tơ có 4 tiếp điểm thường mở (K_1 , K_2 , K_3 ở mạch động lực, K_4 ở mạch điều khiển).
- D nút ấn thường đóng (nút dừng máy)
- M nút ấn thường hở (nút mở máy)

Hoạt động của sơ đồ như sau:

- Mở máy: ấn nút mở máy M, dòng điện đi từ pha C qua cầu chì, qua D, M, K, 2 tiếp điểm thường đóng 1RN, 2RN của rơle nhiệt, về trung tính O, cuộn dây K có điện, đóng các tiếp điểm K_1 , K_2 , K_3 cung cấp điện cho động cơ. Đồng thời đóng tiếp điểm K_4 để tự khoá nút M (bỏ tay ấn nút M ra, mạch điện vẫn được duy trì, đi qua tiếp điểm K_4).

- Muốn cắt động cơ (dừng máy) ta ấn nút D, cuộn dây công tắc tơ K mất điện, các tiếp điểm K_1 , K_2 , K_3 , K_4 hở ra, động cơ cắt khỏi nguồn điện.

- Bảo vệ động cơ: cầu chì CC bảo vệ ngắn mạch, hai rơle nhiệt RN bảo vệ quá tải.

6.6. CẦU CHÌ

Cầu chì là loại thiết bị điện dùng để bảo vệ các thiết bị điện và mạch điện tránh quá dòng điện (chủ yếu là dòng điện ngắn mạch). Trong mạng điện ta thường thấy cầu chì bảo vệ các dây điện và cáp, bảo vệ đồ dùng điện gia đình, bảo vệ máy biến áp, động cơ điện...

Hai phần tử cơ bản của cầu chì là: dây chảy và thiết bị dập hồ quang phần tử dập hồ quang thường gặp ở cầu chì cao áp).

Dây chảy là phần tử quan trọng nhất, để cắt mạch điện khi có sự cố một cách tin cậy, dây chảy cần thoả mãn các yêu cầu sau:

- Không bị oxy hoá.
- Dẫn điện tốt.
- Nhiệt độ nóng chảy tương đối thấp.
- Kim loại vật liệu ít.
- Quán tính nhiệt phải nhỏ.

Để giảm nhiệt độ tác động, người ta thường dùng 2 biện pháp:

- Dùng dây dẹt có chỗ thắt lại để giảm tiết diện.
- Dùng dây tròn, trên một số đoạn hàn thêm một số vảy kim loại có nhiệt độ nóng chảy thấp.

Cấu tạo của cầu chì có các loại sau: loại hở, loại vặn, loại hộp, loại kín không có cát thạch anh, loại kín trong ống có cát thạch anh.

Cầu chì có đặc điểm là đơn giản, kích thước bé, khả năng cắt (bảo vệ) lớn và giá thành thấp, nên ngày nay vẫn được ứng dụng rộng rãi.

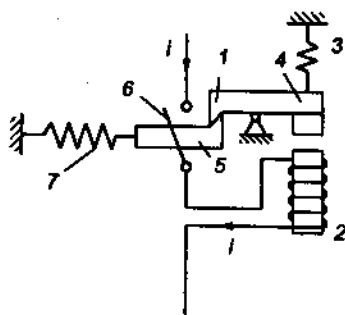
6.7. ÁPTÔMÁT

Áptômát là thiết bị điện dùng để tự động cắt mạch điện, bảo vệ quá tải ngắn mạch, sụt áp..., hồ quang được dập trong không khí.

Sơ đồ nguyên lý của áptômát bảo vệ dòng điện cực đại vẽ trên hình 6.9.

Ở trạng thái bình thường, sau khi đóng điện, áptômát được giữ ở trạng thái đóng tiếp điểm nhờ móc răng 1 khớp với cần răng 5 cùng một cụm với tiếp điểm động 6.

Khi mạch điện quá tải hay ngắn mạch, dòng điện chạy qua cuộn dây 2 lớn, lực hút điện từ tăng lên thắng lực lò xo 3 kéo phần ứng 4 xuống làm nhả móc 1, cần 5 được tự do, tiếp điểm động 6 của áptômát được mở ra do lực của lò xo 7, mạch điện bị cắt.



Hình 6.9.

Áptômát thường được phân loại như sau:

- Theo kết cấu: loại 1 cực, 2 cực, 3 cực.
- Theo thời gian tác động: loại tác động không tức thời, loại tác động tức thời.
- Theo chức năng bảo vệ: loại bảo vệ dòng cực đại, dòng cực tiểu, bảo vệ công suất điện ngược, bảo vệ áp cực tiểu...

Để thực hiện yêu cầu thao tác chọn lọc bảo vệ, áptômát phải có khả năng hiệu chỉnh dòng tác động và thời gian tác động.

CÂU HỎI ÔN TẬP

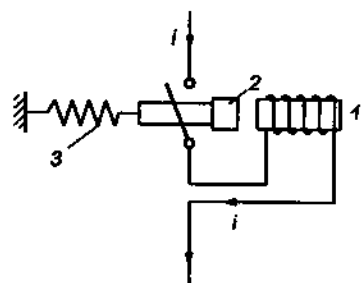
6.1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của rơle điện từ và rơle nhiệt?

6.2. Định nghĩa, cấu tạo cơ bản và nguyên lý làm việc của công tắc tơ điện từ?

6.3. Hệ thống tiếp điểm của công tắc tơ gồm những loại gì? Nêu định nghĩa mỗi loại tiếp điểm?

6.4. Trình bày nguyên lý hoạt động của sơ đồ điều khiển động cơ lồng sóc?

6.5. Giải thích nguyên lý làm việc của cơ cấu rơle bảo vệ dòng cực tiểu ở hình B6.5?



Hình B6.5

Chương 7

CHIẾU SÁNG

Trong các công trình phục vụ cho sản xuất và đời sống, ngoài chiếu sáng tự nhiên, cần phải dùng đến chiếu sáng nhân tạo. Để chiếu sáng nhân tạo, phổ biến nhất là dùng đèn điện. sở dĩ như vậy vì thiết bị chiếu sáng điện đơn giản, giá thành thấp, sử dụng thuận tiện và nhất là tạo ra được ánh sáng gần giống với ánh sáng tự nhiên. Chương này sẽ cung cấp một số kiến thức chiếu sáng, vì chiếu sáng tốt sẽ góp phần nâng cao sản xuất và đời sống xã hội.

7.1. CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN VÀ ĐƠN VỊ ĐO

1. Quang thông Φ (F), lumen- lm

Ta đã biết ánh sáng là sóng (tia, bức xạ) điện từ có bước sóng trong khoảng 380nm đến 780nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) mà mắt con người có thể cảm nhận được.

Quang thông của một nguồn sáng là năng lượng ánh sáng của nguồn sáng phát ra trong một đơn vị thời gian. Cũng có thể hiểu rằng, quang thông là công suất phát sáng, được đánh giá bằng cảm giác với mắt thường của người có thể cảm nhận được lượng bức xạ.

Người ta thường ký hiệu quang thông là ϕ hoặc F. Đơn vị của quang thông là lumen (lumen) ký hiệu là lm.

Cũng như công suất điện P, quang thông là một thông số rất quan trọng của đèn. Mỗi đèn điện, ứng với công suất định mức (P_{dm}) và điện áp định mức (U_{dm}) sẽ phát ra quang thông định mức Φ_{dm} . Các thông số này, do nhà chế tạo cung cấp. Từ các số hiệu này, ta có thể chọn đèn phù hợp cho thiết kế, và đánh giá đèn nào tiết kiệm điện năng hơn.

Ví dụ 1: Bảng dưới đây đưa ra thông số của một số đèn sợi đốt và đèn huỳnh quang điện áp định mức $U_{dm} = 220\text{V}$.

Đèn sợi đốt		Đèn ống huỳnh quang 1,2m ; 38 mm	
P (W)	Φ (lm)	P(W)	Φ (lm)
40	430		
100	1390	40	2450
Đèn sợi đốt halogen		Đèn ống huỳnh quang 1,2m; 26 mm	
P (W)	Φ (lm)	P (W)	Φ (lm)
100	2100	36	3350

Hãy tính hiệu suất phát quang (HSPQ) của mỗi loại đèn và cho nhận xét đèn nào tiết kiệm điện năng.

Lời giải :

Hiệu suất phát quang của nguồn sáng được định nghĩa là

$$\text{HSPQ} = \frac{\Phi}{P} \quad (7-1)$$

đơn vị là $\frac{\text{lm}}{\text{W}}$

Hiệu suất phát quang của đèn sợi đốt thông thường $P = 40\text{W}$ là :

$$\text{HSPQ} = \frac{\Phi}{P} = \frac{430}{40} = 10,75 \text{ lm/W}$$

Hiệu suất phát quang của đèn sợi đốt halogen là :

$$\text{HSPQ} = \frac{\Phi}{P} = \frac{2100}{100} = 21 \text{ lm/W}$$

Hiệu suất phát quang của đèn ống huỳnh quang dài 1,2m, đường kính ống 38 mm :

$$\text{HSPQ} = \frac{\Phi}{P} = \frac{2450}{40} = 61,25 \text{ lm/W}$$

Hiệu suất phát quang của đèn ống huỳnh quang dài 1,2 m, đường kính ống 26 mm :

$$\text{HSPQ} = \frac{\Phi}{P} = \frac{3350}{36} = 93 \text{ lm/W}$$

Qua tính toán ở trên, ta thấy đèn ống huỳnh quang thế hệ mới đường kính ống 26 mm có hiệu suất phát quang cao (93 lm/W), đèn sợi đốt thông thường có hiệu suất phát quang thấp (10,75 lm/W).

Vậy sử dụng đèn huỳnh quang tiết kiệm điện năng hơn đèn sợi đốt.

2. Cường độ sáng I, candela – cd

Là đơn vị đo quang mới được đưa vào hệ đơn vị SI, được định nghĩa xuất phát từ khái niệm quang thông.

Trước hết ta xét một nguồn sáng S phát ánh sáng đều trong không gian. Trong góc khối Ω (góc khối là góc trong không gian), quang thông của nguồn phát ra là Φ (hình 7.1)

Cường độ sáng của nguồn được định nghĩa là :

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (7-2)$$

Cường độ sáng I bằng nhau theo mọi hướng.

Nếu nguồn phát ánh sáng không đồng đều theo mọi hướng, thì ở các hướng cường độ sáng sẽ khác nhau. Để xét cường độ sáng hướng từ nguồn tới A, ta xét một góc khối nhỏ ký hiệu $d\Omega$ xung quanh hướng OA. Trong góc khối nhỏ ấy quang thông của nguồn là $d\Phi$ (hình 7.2).

Cường độ sáng của nguồn trong góc khối $d\Omega$ được tính là :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (7-3)$$

Đơn vị của cường độ sáng là candela, ký hiệu là cd.

Ví dụ 2: Tính góc khối bao quát toàn không gian quanh tâm O của bóng đèn tròn.

Lời giải :

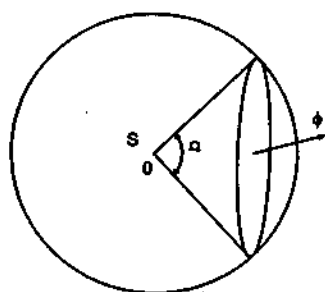
Góc khối là góc không gian được định nghĩa là

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

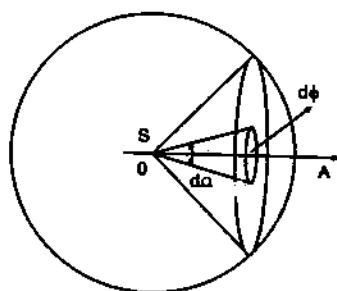
đơn vị là steradian sr.

Trong đó : R là bán kính của hình cầu tâm O

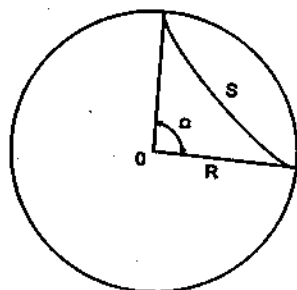
S là diện tích trên hình cầu ứng với góc khối Ω (hình 7.3).



Hình 7.1



Hình 7.2



Hình 7.3

Góc khối bao quát toàn không gian bao quanh tâm O là :

$$\Omega = \frac{\text{Shình cầu}}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi(\text{sr})$$

Ví dụ 3: Tính cường độ I của bóng đèn trên sợi đốt P = 40 W; U = 220V

Lời giải :

Tra bóng đèn sợi đốt ta có :

$$P = 40 \text{ W} ; \phi = 430 \text{ lm}$$

Cường độ sáng I đồng đều theo mọi hướng của bóng đèn tròn sợi đốt là:

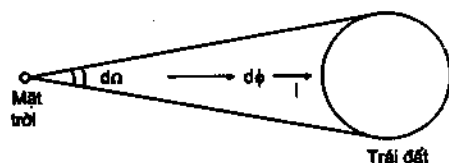
$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{430}{4\pi} = 34 \text{ Cd}$$

Ví dụ 4: Trong một góc khối $d\Omega = 5,55 \cdot 10^{-9} \text{ sr}$, mặt trời phát ra một quang thông cho quả đất $d\Phi = 1,45 \cdot 10^{19} \text{ lm}$ (hình 7.4)

Tính cường độ sáng I của mặt trời chiếu xuống quả đất.

Lời giải :

Cường độ sáng của mặt trời chiếu xuống quả đất là



Hình 7.4

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{1,45 \cdot 10^{19}}{5,55 \cdot 10^{-9}} = 2,61 \cdot 10^{27} \text{ cd}$$

3. Độ rọi E, lux - lx

Độ rọi E là mật độ quang thông trên bề mặt được chiếu sáng. Độ rọi E cho ta biết mức độ được chiếu sáng nhiều hay ít.

Khi quang thông phân bố đều trên bề mặt :

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (7-4)$$

Trong đó : Φ là quang thông trên bề mặt được chiếu sáng:

S là diện tích bề mặt được chiếu sáng.

Đơn vị của độ rọi là lux ký hiệu là lx.

$$\text{lux} = \frac{1\text{lm}}{1\text{m}^2}$$

Khi quang thông không phân bố đều thì trị số E trong công thức (7-4) là độ rọi trung bình trên bề mặt S

Ví dụ 5: Một lớp học có chiều rộng $a = 7,5\text{m}$, chiều dài $b = 11,5\text{m}$. Người ta chiếu sáng bằng 6 bộ đèn, mỗi bộ đèn có 2 ống huỳnh quang $1,2\text{m}$, $P = 36\text{W}$; $\Phi_d = 3350\text{lm}$. Biết hệ số sử dụng quang thông $k_{sd} = 0,65$. Tính độ rọi trên bề mặt làm việc (bề mặt ngang bàn học, cách nền nhà $0,8 \div 0,85\text{ m}$).

Lời giải :

Diện tích bề mặt làm việc :

$$S = b.a = 11,5 \times 7,5 = 86,25\text{m}^2$$

Theo định nghĩa, hệ số sử dụng quang thông là :

$$k_{sd} = \frac{\Phi_s}{\Phi_t} \quad (7-5)$$

trong đó : Φ_s - quang thông nhận được trên bề mặt làm việc S.

Φ_t - quang thông tổng của tất cả các nguồn sáng.

Số ống huỳnh quang trong lớp N là:

$$N = 6 \times 2 = 12 \text{ ống huỳnh quang}$$

Quang thông tổng của tất cả các ống huỳnh quang là:

$$\Phi_t = N\Phi_{\text{đèn}} = 12 \times 3350 = 40200 \text{ lm}$$

Từ (7- 5) ta có quang thông nhận được trên bề mặt làm việc là:

$$\Phi_s = k_{sd} \Phi_t$$

$$\Phi_s = 0,65. 40200 = 26130 \text{ lm}$$

Độ rọi E trên bề mặt làm việc là

$$E = \frac{\Phi_s}{S} = \frac{26130}{86,25} = 303 \text{ lx}$$

Một vài trị số độ rọi thông thường :

- Ngoài trời, buổi trưa hè trời nắng	100000	lx
- Ngoài trời, trời có mây, mùa đông	2000 ÷ 3000	lx
- Đêm trăng rằm	0,25	lx
- Phòng làm việc	300 ÷ 500	lx
- Nhà ở	150 ÷ 300	lx
- Đường phố	20 ÷ 30	lx

7.2. HỆ SỐ PHẢN XẠ ρ , HỆ SỐ THẤU XẠ τ , HỆ SỐ HẤP THỤ α

Quang thông rọi tới một vật thể sẽ chia ra các bộ phận sau : một phần phản xạ, một phần xuyên qua vật thể, và một phần bị vật thể hấp thụ.

1. Hệ số phản xạ ρ

Hệ số phản xạ ρ của bề mặt vật thể được tính là :

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi_s} \quad (7-6)$$

trong đó : Φ_p là quang thông phản xạ.

Φ_s là quang thông rọi tới bề mặt

2. Hệ số thấu xạ τ

Hệ số thấu xạ τ của vật thể được tính là :

$$\tau = \frac{\Phi_x}{\Phi_s} \quad (7-7)$$

trong đó : Φ_x là quang thông xuyên qua vật thể

Hệ số thấu xạ τ còn gọi là hệ số dẫn quang.

3. Hệ số hấp thụ α

Hệ số hấp thụ quang thông của vật thể là :

$$\alpha = \frac{\Phi_h}{\Phi_s} \quad (7-8)$$

trong đó : Φ_h là quang thông vật thể hấp thụ

Vì tổng quang thông phản xạ Φ_p , quang thông xuyên qua Φ_x , quang thông hấp thụ Φ_h bằng quang thông rọi tới bề mặt Φ_s , cho nên

$$\Phi_p + \Phi_x + \Phi_h = \Phi_s$$

chia cả 2 vế cho Φ_s

ta có : $\rho + \tau + \alpha = 1$

(7-9)

Các hệ số này phụ thuộc rất nhiều vào màu của vật thể, khi thiết kế có thể ước lượng dựa vào màu sắc của vật thể.

Ví dụ ta lấy các hệ số phản xạ $\rho\%$ sau :

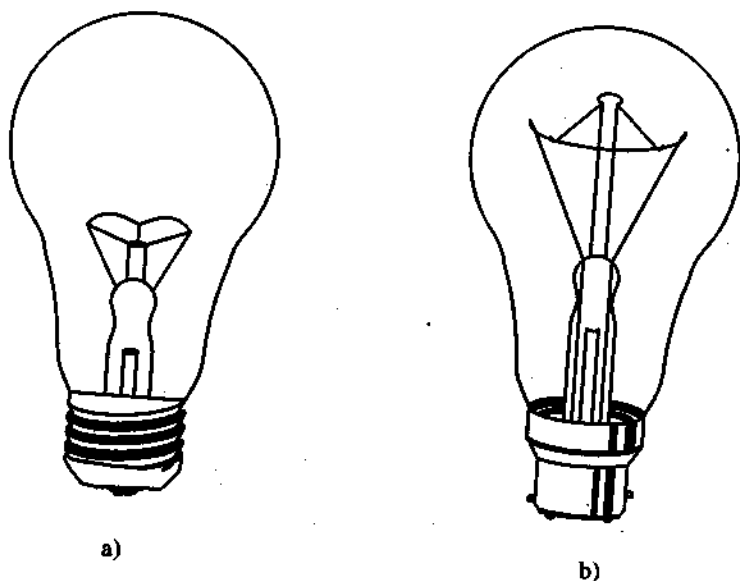
- Màu trắng sáng, thạch cao trắng	80%
- Màu trắng nhạt, các màu rất sáng	70%
- Màu vàng, xanh sáng, màu xi măng	50%
- Các màu rực rỡ, gạch	30%
- Các màu tối, kính	10%

7.3. ĐÈN SỢI ĐỐT

Nguồn sáng điện kinh điển nhất là đèn sợi đốt. Đèn sợi đốt còn được gọi là đèn dây tóc, đèn nung sáng. Đèn sợi đốt do Thomas Edison phát minh năm 1879, làm việc theo nguyên lý sau : dòng điện - đốt nóng sợi đốt đến nhiệt độ rất cao (khoảng 2700 - 3100K), đèn phát sáng.

1. Cấu tạo đèn

Đèn sợi đốt gồm sợi đốt chịu nhiệt độ cao, đặt trong bóng thủy tinh trong suốt (hoặc mờ) và được nối điện ra ngoài qua đuôi đèn (hình 7.5)



Hình 7.5

Sợi đốt là dây kim loại, thường là vonfram. Vonfram có nhiệt độ nóng chảy cao 3650 K, được sử dụng làm sợi đốt đã hơn 80 năm qua. Vonfram là vật liệu lý tưởng, chịu được nhiệt độ cao, độ bền cơ cao, độ bền điện tốt, khả năng phát xạ tốt. Người ta rút không khí trong bóng, tạo thành chân không để dây tóc đèn khỏi bị oxy hóa nhanh ở nhiệt độ cao, song sợi đốt vonfram nằm trong môi trường chân không ở nhiệt độ 2400 - 2600 K, hiệu suất phát quang thấp (thường thấy ở đèn công suất nhỏ $P \leq 25$ W). Để tăng hiệu suất phát quang, người ta phải tăng nhiệt độ sợi đốt, song ở nhiệt độ tăng cao, sự bốc hơi của kim loại tăng, làm cho sợi đốt dễ bị đứt. Để giảm hiện tượng bay hơi của kim loại, người ta cho vào bóng đèn khí trơ (trước đây là nitơ rồi đến argon và bây giờ là kripton). Tuy nhiên, khi có khí trơ trong bóng đèn, tổn thất dẫn nhiệt tăng lên, công suất đèn tăng lên và hiệu suất phát quang giảm. Ngày nay người ta sử dụng công nghệ làm sợi đốt xoắn kép hoặc xoắn ba,

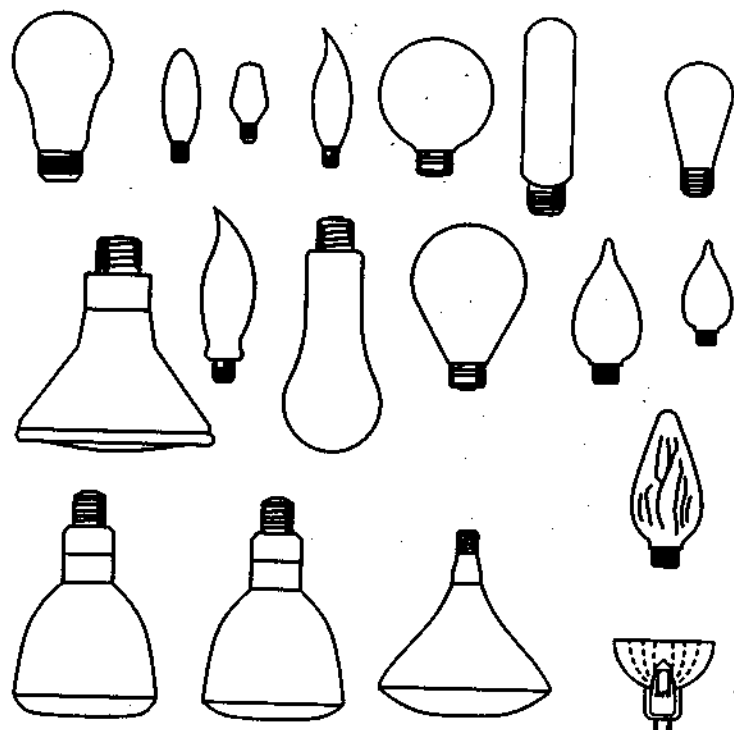
giảm bớt tổn thất nhiệt và hiệu suất phát quang của đèn tăng lên đáng kể, từ 10 đến 20 lm/W và tuổi thọ khoảng 1000 giờ.

Từ những năm 60 ngoài khí trơ, người ta còn cho thêm halogen (iốt, brom ...) cho phép đạt nhiệt độ trên 3100K, hiệu suất phát quang đạt tới 20 đến 27 lm/W, tuổi thọ khoảng 2000 giờ.

Bóng đèn sợi đốt thông dụng có công suất từ 15 đến 300 W làm bằng thủy tinh pha chì. Để giảm độ chói, đèn sợi đốt công suất nhỏ, bên trong được làm mờ bằng lớp bột mịn. Lớp này hấp thụ ánh sáng ít (từ 1% đến 4%) cho phép cải thiện nhiệt độ màu của nguồn, tùy theo khả năng lọc màu của lớp này. Trong các đèn có lớp phản chiếu, người ta tráng một lớp bạc hoặc nhôm cho phép định hướng chùm tia sáng.

Đối với đèn halogen, bóng làm bằng thạch anh hoặc bóng hai vỏ, dùng trong đèn pha cho xe ô tô, đèn chiếu phim, đèn trong các công trình văn hóa thể thao.

Theo hình dạng bóng, có rất nhiều kiểu, dưới đây đưa ra một số kiểu thường gặp (hình 7.6).



Hình 7.6

Hình dáng bóng	Ký hiệu
Loại tiêu chuẩn	A
Hình cầu	G
Hình parabol	PAR
Đèn phản quang	R
Hình quả lê	PS, P
Dạng ống	T

Đuôi đèn có 2 kiểu : đuôi xoáy hình 7.5a* đuôi ngành hình 7.5b .

Đuôi ngành ít gặp, thường dùng cho công suất dưới 150W. Đuôi xoáy dùng phổ biến cho mọi công suất.

Khi lắp đèn đuôi đèn được lắp vào đuôi đèn, nối với nguồn điện.

2. Các đặc tính của đèn sợi đốt

Ưu điểm cơ bản của đèn sợi đốt là phát ánh sáng liên tục, chỉ số thể hiện màu tốt, cho phép chiếu sáng chất lượng cao. Ngoài ra đèn sợi đốt còn có các ưu điểm sau:

Mắc trực tiếp vào lưới điện, kích thước nhỏ, dễ bố trí, lắp đặt và dễ sử dụng.

- Bật sáng tức thời.
- Giá thành thấp.
- Có màu ấm

Nhược điểm chủ yếu của đèn sợi đốt là hiệu suất phát quang thấp, gây phát nóng. Sử dụng đèn sợi đốt để chiếu sáng không tiết kiệm điện năng, vì thế chỉ thích hợp với chiếu sáng trong nhà với mức chiếu sáng thấp như phòng ngủ, đèn bàn học tập, phòng tắm, quán cà phê...

Các đặc tính của đèn phụ thuộc rất nhiều vào điện áp, vì rằng khi điện áp đặt vào đèn thay đổi, dẫn đến dòng điện thay đổi, kéo theo sự phát nóng, quang thông và tuổi thọ của đèn thay đổi.

Gọi Φ_{dm} , I_{dm} , P_{dm} , D_{dm} là quang thông, dòng điện, công suất điện tiêu thụ và tuổi thọ của đèn ở điện áp định mức U_{dm} , khi cho đèn làm việc với điện áp U , các giá trị Φ , I , P , D của đèn sẽ là :

$$\Phi = \Phi_{dm} \left(\frac{U}{U_{dm}} \right)^{3,5} \quad (7-10)$$

$$I = I_{dm} \left(\frac{U}{U_{dm}} \right)^{0,5} \quad (7-11)$$

$$P = P_{dm} \left(\frac{U}{U_{dm}} \right)^{1,5} \quad (7-12)$$

$$D = D_{dm} \left(\frac{U_{dm}}{U} \right)^{13,5} \quad (7-13)$$

Trên hình 7.7 biểu diễn các quan hệ này theo giá trị tương đối so với định mức.

Ví dụ 6 : Cho đèn sợi đốt $U_{dm} = 220V$, $P_{dm} = 40W$, $\Phi_{dm} = 430lm$, $D_{dm} = 1000$ giờ.

a) Tính quang thông của đèn, khi đèn làm việc với điện áp $U = 200V$

b) Tính tuổi thọ của đèn khi đèn làm việc với điện áp $U = 240V$.

Lời giải :

a) Áp dụng công thức (7-10) ta có

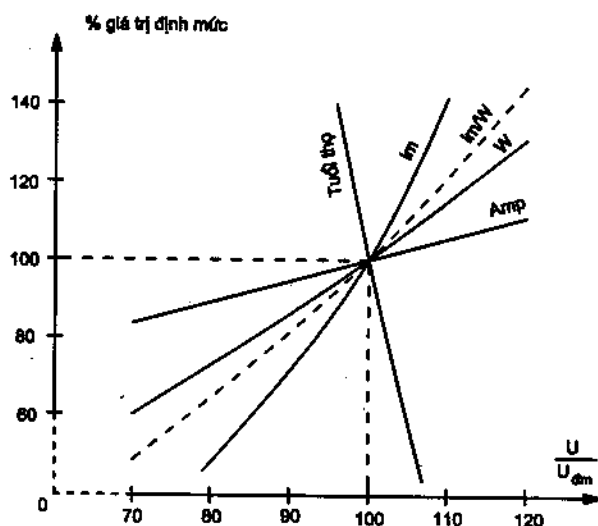
$$\Phi = \Phi_{dm} \left(\frac{U}{U_{dm}} \right)^{3,5} = 430 \left(\frac{200}{220} \right)^{3,5} = 308 \text{ lm}$$

Ta thấy rằng khi $U = 200V$, quang thông giảm rất nhiều so với khi làm việc với điện áp định mức $220V$.

b) Áp dụng công thức (7-13)

$$D = D_{dm} \cdot \left(\frac{U_{dm}}{U} \right)^{13,5} = 1000 \cdot \left(\frac{220}{240} \right)^{13,5} = 309 \text{ giờ}$$

Ta thấy rằng khi $U = 240V$, tuổi thọ của đèn chỉ còn 309 giờ, giảm rất nhiều so với lúc làm việc với điện áp định mức $220V$.



Hình 7.7

Bảng dưới đây là đặc tính công suất và quang thông của đèn sợi đốt tiêu chuẩn và đèn sợi đốt halogen loại $U_{dm} = 220V$

Đèn sợi đốt tiêu chuẩn 220V				Đèn halogen	
P (W)	Φ (lm)	P (W)	Φ (lm)	P (W)	Φ (lm)
15	120	150	2200	100	2100
25	220	200	3000	300	6300
40	430	300	5000	500	10500
60	740	500	8700	1000	22000 - 26000
75	970	1000	18700	1500	33000
100	1390	1500	27700	2000	44000 - 54000

7.4. ĐÈN HUỖNH QUANG

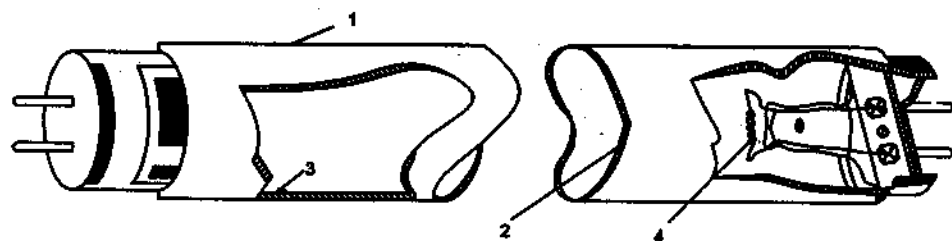
1. Hiện tượng huỳnh quang

Khi một tia (bức xạ) đơn sắc đập vào chất huỳnh quang, một phần năng lượng của nó biến thành nhiệt, phần năng lượng còn lại xuất hiện dưới dạng một phổ liên tục các bức xạ. Như vậy tia sơ cấp đóng vai trò kích thích để chất huỳnh quang phát ra bức xạ thứ cấp.

Nếu các tia sơ cấp kích thích nằm trong vùng tia tử ngoại, khi đập vào lớp bột huỳnh quang có thành phần chủ yếu là photpho, thì các tia thứ cấp là phổ các bức xạ ánh sáng. Dựa vào hiện tượng này, người ta chế tạo ra đèn huỳnh quang.

2. Cấu tạo đèn huỳnh quang

Đèn huỳnh quang có dạng ống và dạng bóng. Loại ống thường gấp và gọi là đèn ống (tuyến) huỳnh quang (hình 7.8).



Hình 7.8

Về cấu tạo gồm ống thủy tinh bền (1) (dài 0,6 m ; 1,2 m ; 1,5m ; 2,4 m), mặt trong ống có phủ một lớp bột chất huỳnh quang (2). Trong ống có bố

sung khí trơ (khí argon) và vài giọt chất thủy ngân (3) ở áp suất thấp. Ở hai đầu ống có 2 điện cực bằng vonfram có phủ lớp oxit bari kích thích phát xạ điện tử (4).

3. Nguyên lý làm việc

Khi làm việc, hiện tượng phóng điện giữa 2 điện cực trong môi trường hơi thủy ngân, ở áp suất thấp, làm ion hóa hơi thủy ngân và phát ra các tia tử ngoại (không nhìn thấy). Tia tử ngoại là các tia sơ cấp, tác dụng vào lớp bột huỳnh quang ở thành ống, tạo ra các bức xạ thứ cấp là ánh sáng. Màu của ánh sáng phụ thuộc vào bản chất và liều lượng bột huỳnh quang.

4. Đặc tính

- Điện áp định mức 127V ; 220V

- Chiều dài ống, công suất

0,6m 20W + 18W

1,2m 40W + 36W

1,5m 65W + 58W

2,4m 105W

Loại công suất tiêu thụ lớn ứng với đèn ống huỳnh quang - đường kính ống 38mm. Ngày nay người ta chế tạo được lớp bột huỳnh quang mịn, phát xạ thứ cấp tốt, hiệu suất phát quang tăng, nhờ đó cho phép làm nhỏ ống từ 38mm xuống 32mm, 26mm và loại thế hệ mới ra đời đường kính ống 26mm công suất tiêu thụ nhỏ (từ 20W xuống 18W ; 40W xuống 36W ; 65W xuống 58W) mà quang thông phát ra lớn hơn.

Quang thông Φ (lm) của một số loại đèn ống huỳnh quang

Đèn ống thế hệ 1 đường kính ống 38mm				
	0,6m 20W	1,2m 40W	1,5m 65W	2, m 105W
Màu trắng ấm	1350lm	3200lm		8950lm
Sáng ban ngày	1000	2450		
Màu trắng Z	930	2450	3750	6300
Trắng công nghiệp	1150	3200	5100	8900
Đèn ống thế hệ 2 đường kính 26mm				
Ánh sáng ban ngày	1350lm	3200lm	5100lm	
Màu trắng	1400	3350lm	5300lm	

- Hiệu suất phát quang khoảng $40 \text{ lm/W} \div 90 \text{ lm/W}$
- Tuổi thọ của đèn phụ thuộc vào số lần bật tắt đèn, khoảng 6000 giờ.

So với đèn sợi đốt, đèn huỳnh quang có ưu điểm hơn là tuổi thọ dài hơn, hiệu suất phát quang cao hơn, sử dụng đèn huỳnh quang sẽ tiết kiệm điện năng hơn, vì thế đèn ống huỳnh quang được sử dụng phổ biến để chiếu sáng trong nhà, lớp học, công sở, nhà máy... v.v. Tuy vậy đèn ống huỳnh quang có nhược điểm là giá thành cao, cần nhiều phụ kiện, bố trí lắp đặt phức tạp, cần mỗi phóng điện...

Cũng như các đèn phóng điện, đèn ống huỳnh quang chỉ làm việc tốt ở điện áp định mức khi điện áp thay đổi thì các đại lượng ϕ , P, hiệu suất phát quang thay đổi.

5. Mỗi phóng điện

Vì khoảng cách giữa 2 điện cực đèn phóng điện lớn, khi đóng đèn vào nguồn điện tần số 50Hz, các đèn phóng điện không phát sáng làm việc ngay được mà cần phải mỗi phóng điện cho đèn. Để mỗi phóng điện, ta thường dùng các biện pháp sau:

- Sử dụng chấn lưu điện cảm và tắc te
- Sử dụng chấn lưu kiểu tự ngẫu.

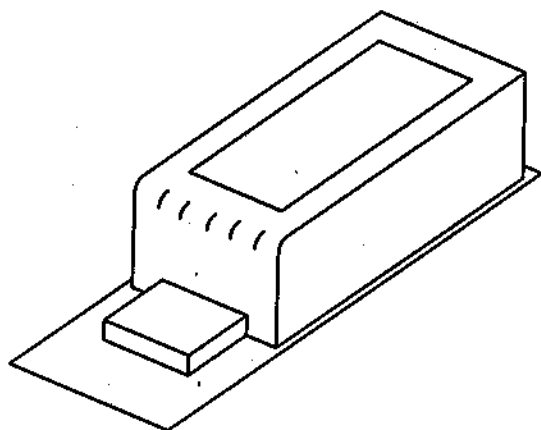
Cả hai loại chấn lưu này được gọi là chấn lưu từ

- Sử dụng chấn lưu điện tử.

Ở nước ta hiện nay thường dùng chấn lưu điện cảm với tắc te và chấn lưu điện tử.

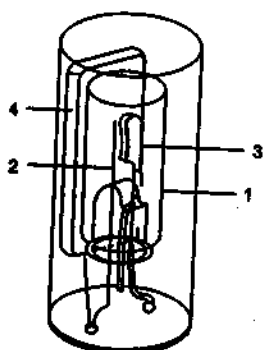
a) Sử dụng chấn lưu điện cảm và tắc te

Chấn lưu điện cảm là một cuộn dây quấn quanh lõi thép (để có điện cảm lớn) đặt trong hộp gọi là chấn lưu (hình 7.9)



Hình 7.9

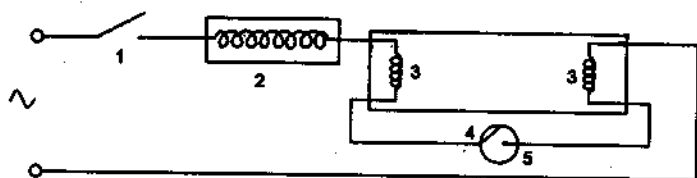
Tắc te thường là loại tắc te khí, gồm có bóng thủy tinh nhỏ (1), trong đó có 2 điện cực (hình 7.10) điện cực tĩnh (2) và điện cực động (3); ngoài ra còn có tụ điện (4) để chống nhiễu vô tuyến, và chân cắm. Cực động là cực lưỡng kim (gồm 2 miếng kim loại có hệ số giãn nở về nhiệt khác nhau, ghép chặt vào nhau).



Hình 7.10

Sơ đồ mắc mạch điện đèn ống huỳnh quang như hình 7.11. Trong đó ký hiệu như sau:

Công tắc đèn (1), chấn lưu (2), 2 điện cực đèn ống huỳnh quang (3), tiếp điểm động của tắc te (4), tiếp điểm cố định (5).



Hình 7.11

Khi đóng công tắc 1, sẽ có điện áp đặt giữa 2 điện cực 3 của ống huỳnh quang, song vì khoảng cách giữa 2 điện cực lớn, đèn không phóng điện, điện áp đặt vào 2 cực 4 và 5 của tắc te, tắc te phóng điện, các cực của tắc te bị đốt nóng, cực động uốn cong và chạm vào cực tĩnh, đóng mạch tắc te, mạch điện nối liền, có dòng điện chạy qua chấn lưu, qua điện cực đèn huỳnh quang, qua điện cực chấn lưu. Dòng điện này nhỏ, song có tác dụng làm nóng 2 điện cực đèn ống huỳnh quang, và tích lũy năng lượng từ trường cho cuộn điện cảm.

Sau khi 2 cực tắc te nối liền (đóng mạch), không còn phóng điện giữa 2 cực tắc te, cực động bắt đầu nguội dần và trở lại vị trí ban đầu tách rời khỏi cực tĩnh (hở mạch cực tắc te). Kết quả là dòng điện qua chấn lưu bị cắt đột ngột, xảy ra hiện tượng quá điện áp đặt lên 2 cực đèn huỳnh quang, đèn phóng điện làm việc.

Khi đèn làm việc bình thường, do có điện áp rơi trên chấn lưu, điện áp đặt lên đèn nhỏ, dòng điện chạy qua đèn không lớn bảo vệ được điện cực và đèn làm việc ổn định.

Nhược điểm của chấn lưu điện cảm là làm cho hệ số công suất mạch điện đèn thấp bằng $0,45 \div 0,55$; ta phải dùng tụ điện C để bù, cho hệ số công suất đạt được $0,85 \div 0,9$; ngoài ra có tổn hao công suất trong chấn lưu điện cảm (khoảng 15% đến 25% công suất đèn).

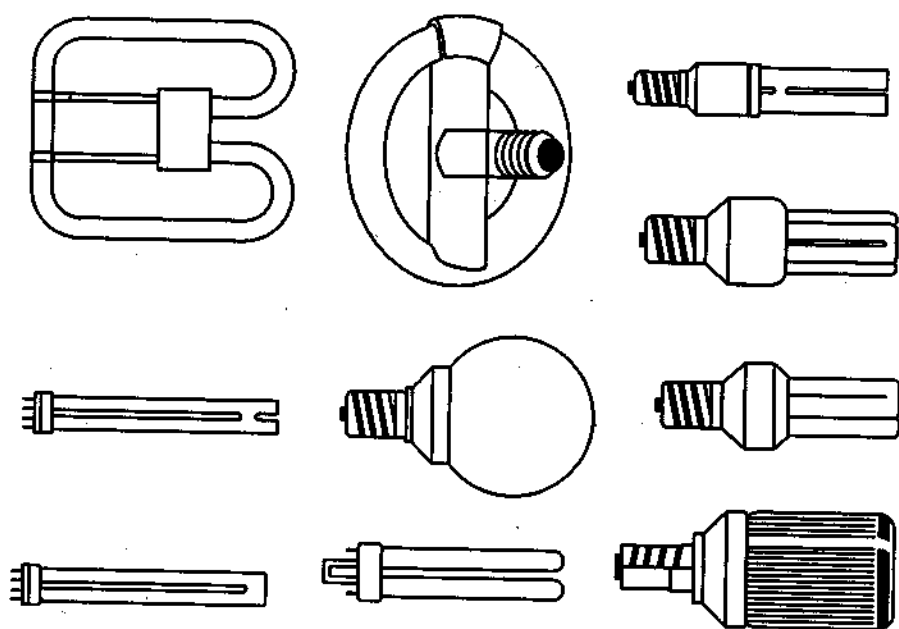
b) Chấn lưu điện tử

Chấn lưu điện tử thực chất là bộ biến tần công suất nhỏ, biến đổi tần số mạng điện 50Hz thành tần số 20kHz cung cấp cho đèn. Ở tần số cao đèn dễ dàng phóng điện, lúc làm việc hiệu suất phát quang tăng thêm 10%, hệ số công suất cao khoảng 0,9, không cần tụ điện bù $\cos\varphi$, đồng thời tổn hao công suất trong chấn lưu điện tử nhỏ. Chấn lưu điện tử có nhiều ưu điểm nói trên, nên càng ngày càng được sử dụng rộng rãi thay cho chấn lưu từ.

6. Đèn compact

Mặc dù các đèn phóng điện, đèn ống huỳnh quang được cải tiến không ngừng, đặc tính càng ngày càng tốt hơn, nhưng các linh kiện phụ của đèn, cũng như kích thước của nó làm các đèn này không thuận tiện khi sử dụng chiếu sáng trong nhà.

Việc sử dụng các lớp bột huỳnh quang mịn, chất lượng ánh sáng tốt, hiệu suất phát quang cao cho phép làm nhỏ đường kính ống, đồng thời phối hợp với chấn lưu và đuôi xoáy thành một bộ. Bộ đèn này gọi là đèn huỳnh quang compact, gọi ngắn gọn là đèn compact (hình 7.12). Nhờ có đuôi xoáy, đèn compact có thể thay thế trực tiếp đèn sợi đốt và có hiệu suất phát quang cao hơn (vào khoảng 50 lm/W), tiết kiệm điện năng hơn đèn sợi đốt, tuổi thọ cao hơn (vào khoảng 7000 giờ), đèn compact ngày càng được sử dụng nhiều.



Hình 7.12

Đặc tính một số loại đèn compact

Loại đèn	Chiều dài mm	Công suất P W	Quang thông Φ lm	Hiệu suất phát quang lm/W
Đèn compact bóng hình trụ, đuôi xoáy	148	9	425	47
	158	13	600	46
	168	18	900	50
	178	25	1200	48
Đèn compact bóng hình tròn đuôi xoáy	Đường kính			
	165	12	700	58
	165	18	1000	55
	216	24	1450	60

7.5. ĐÈN PHÓNG ĐIỆN

1. Đèn natri (sodium) thấp áp

Cấu tạo của đèn natri thấp áp là một ống (đôi khi có hình chữ U) chứa natri (khí nguội có dạng hạt) với áp suất thấp (khoảng $4 \cdot 10^{-3}$ mmHg trong môi trường có khí neon. Khi đèn được mồi sau vài phút, natri bốc hơi phát ra ánh sáng màu vàng da cam.

Các đặc tính của đèn :

- Hiệu suất phát quang cao đạt đến 190 lm/W đứng hàng đầu các loại nguồn sáng điện.

- Chỉ số thể hiện màu xấu
- Tuổi thọ khoảng 8000 giờ.

Ánh sáng màu vàng da cam nên được dùng nhiều ở các nước xứ lạnh, nhiều sương mù để chiếu sáng đường phố và xa lộ.

2. Đèn natri (sodium) cao áp

Cấu tạo của đèn natri cao áp gồm bóng thủy tinh ngoài và ống phóng điện phía trong là bóng thủy tinh alumin, hình ôvan, kích thước tương đối nhỏ. Áp suất hơi Na trong ống phóng điện cao khoảng 250mmHg.

Đèn natri cao áp có đuôi xoáy (hình 7.13)

Ở nhiệt độ cao trên 1000°C và áp suất cao, đèn natri cao áp phát ra ánh sáng màu trắng ấm.

Các đặc tính của đèn :

- Hiệu suất phát quang đạt tới 120lm/W
- Chỉ số thể hiện màu thấp
- Tuổi thọ khoảng 10000 giờ.

Đèn natri áp suất cao được sử dụng chủ yếu trong chiếu sáng ngoài trời, cho các khu vực công cộng, đường phố, bãi đỗ xe, công trình văn hóa, thể thao...

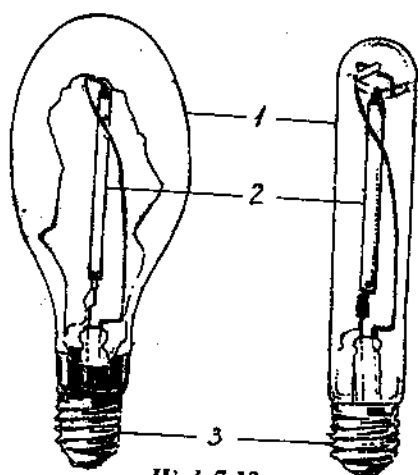
3. Đèn thủy ngân cao áp

Cấu tạo của đèn thủy ngân cao áp gồm bóng thủy tinh ngoài và ống phóng điện. Sự phóng điện trong ống thạch anh có hơi thủy ngân ở áp suất cao từ 1 đến 10 at tạo ra ánh sáng trắng. Ngoài ra mặt trong của bóng thủy tinh ngoài có phủ một lớp bột huỳnh quang, để các bức xạ tử ngoại biến thành bức xạ ánh sáng (hình 7.14).

Các đặc tính của đèn thủy ngân cao áp :

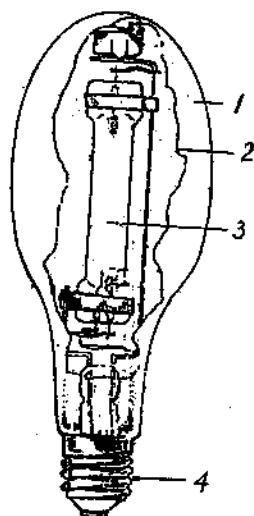
- Ánh sáng màu trắng
- Hiệu suất phát quang 40 đến 60 lm/W
- Chỉ số thể hiện màu trung bình.

Đèn thủy ngân cao áp có ánh sáng trắng trước đây được sử dụng nhiều trong chiếu sáng công cộng, ngoài trời và trong công nghiệp, nhưng do hiệu suất phát quang thấp hơn đèn natri cao áp, nên ngày nay đèn natri cao áp đã thay thế dần.



Hình 7.13

- 1 - Bóng thủy tinh ngoài
- 2 - Ống phóng điện
- 3 - Đuôi xoáy



Hình 7.14

1. Bóng thủy tinh ngoài
2. Lớp bột huỳnh quang
3. Ống phóng điện
4. Đuôi xoáy

4. Đèn halogen kim loại

Đây là đèn phóng điện cao áp trong hơi thủy ngân và halogen (iodua natri, iodua tali)

Các đặc tính của đèn :

- Ánh sáng màu rất trắng giống ánh sáng ban ngày
- Hiệu suất phát quang đạt tới 95 lm/W
- Chỉ số thể hiện màu tương đối tốt
- Tuổi thọ khoảng 4000 giờ

Đèn halogen kim loại được sử dụng để chiếu sáng công cộng, các công trình văn hóa thể thao có yêu cầu chất lượng chiếu sáng tốt, có nhu cầu tiếp phát truyền hình màu.

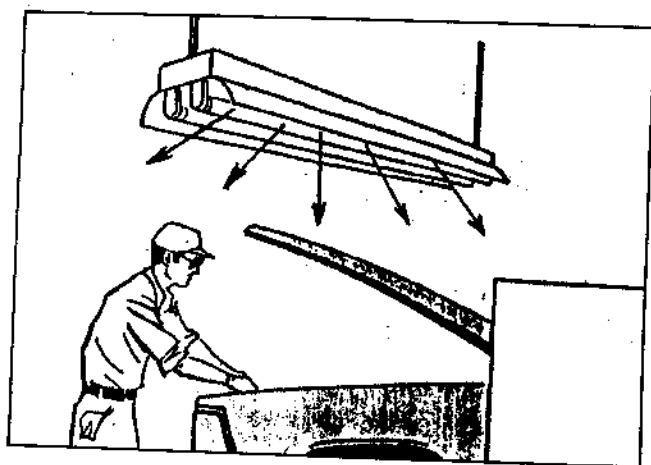
7.6. BỘ ĐÈN

Ít khi người ta sử dụng nguồn sáng điện một mình, mà vì lý do kỹ thuật và mỹ thuật, người ta đặt nguồn sáng vào trong một dụng cụ để phân bố ánh sáng theo mong muốn, để hạn chế chói mắt và để bảo vệ nguồn sáng. Dụng cụ ấy gọi là bộ đèn. Có thể nói bộ đèn gồm nguồn sáng và các loại chụp đèn (phản xạ, khuếch tán, che chắn...). Tùy theo phương thức chiếu sáng, người ta phân bộ đèn thành các kiểu sau:

1. Bộ đèn chiếu sáng trực tiếp (hình 7.15)

Bộ đèn có đặc tính là trên 90% quang thông của bộ đèn hướng xuống dưới (xuống bề mặt làm việc).

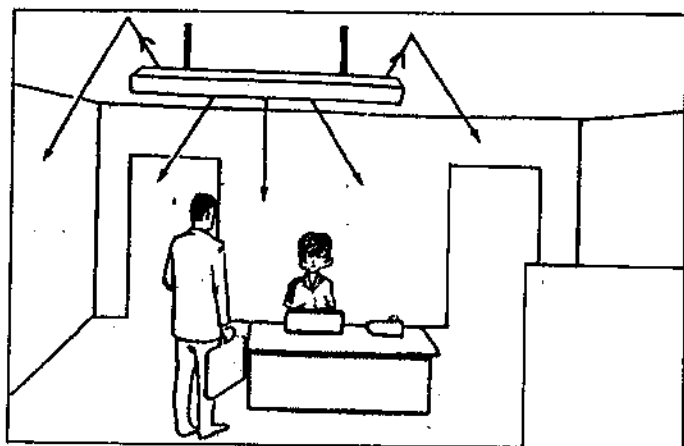
Đây là phương pháp chiếu sáng kinh tế, song dễ gây chói mắt và độ rọi dễ phân bố không đồng đều.



Hình 7.15

Phương pháp chiếu sáng trực tiếp thường dùng trong công xưởng, nhà kho, văn phòng, cửa hiệu (trực tiếp mở rộng).

2. Bộ đèn chiếu sáng bán trực tiếp (hình 7.16)

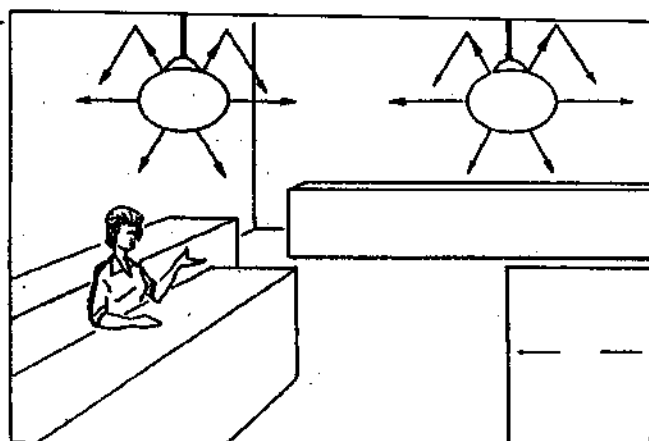


Hình 7.16

60% đến 90% quang thông của bộ đèn hướng xuống bề mặt làm việc. 10% đến 40% quang thông hướng lên trần, rồi phản xạ ánh sáng phân bố trong phòng. Phương pháp này không kinh tế bằng phương pháp chiếu sáng trực tiếp song đỡ chói mắt, thường dùng chiếu sáng văn phòng, nhà ở, lớp học...

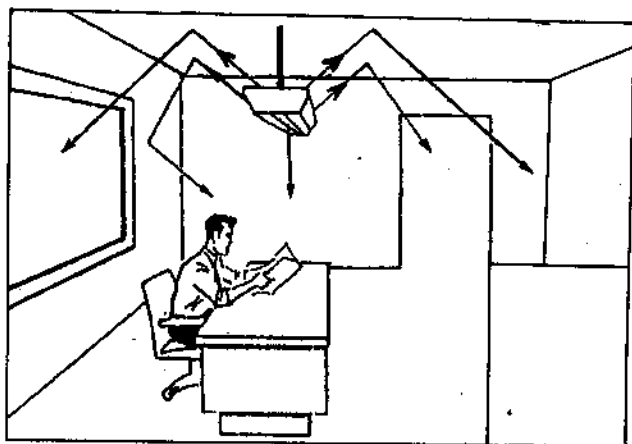
3. Bộ đèn chiếu sáng hỗn hợp (hình 7.17)

40% đến 60% quang thông hướng xuống bề mặt làm việc, 40% đến 60% quang thông hướng lên trần, rồi phản xạ lại ánh sáng phân bố trong phòng.



Hình 7.17

4. Bộ đèn chiếu sáng bán gián tiếp (hình 7.18)



Hình 7.18

10% đến 40% quang thông hướng xuống bề mặt làm việc, 40% đến 90% quang thông hướng lên trần, rồi phản xạ phân bố trong phòng.

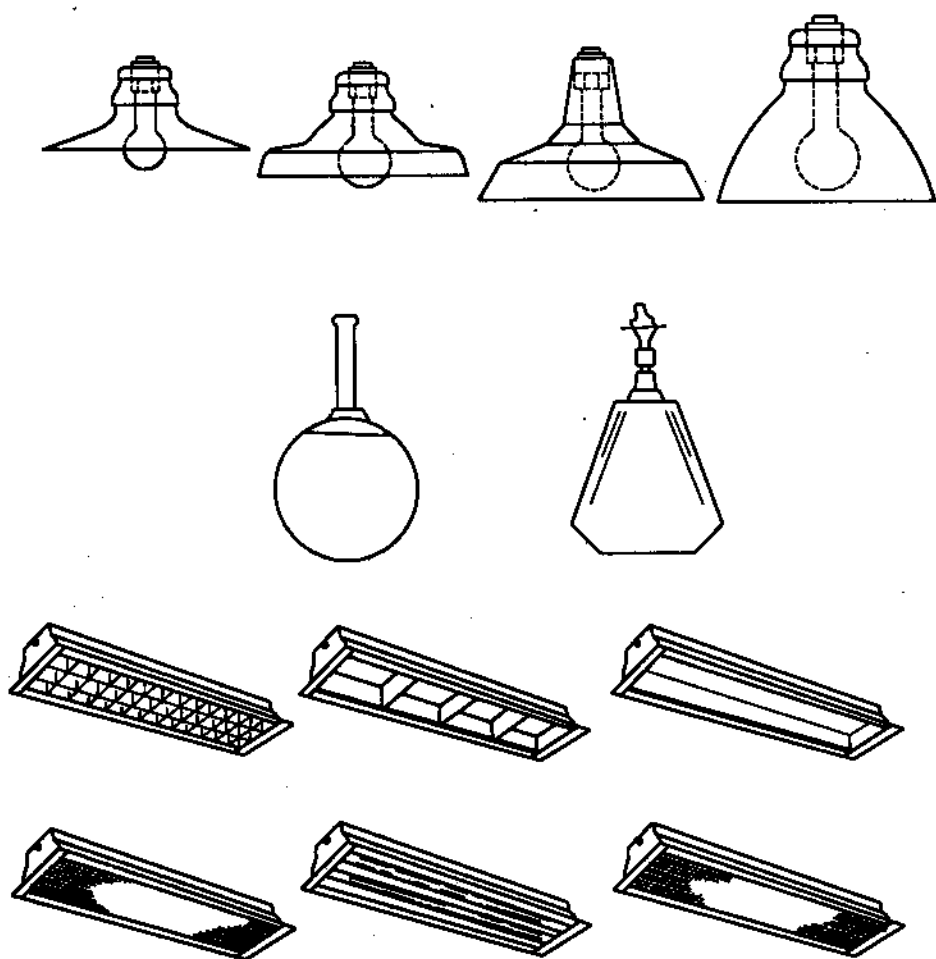
5. Bộ đèn chiếu sáng gián tiếp (hình 7.19)



Hình 7.19

Trên 90% quang thông hướng lên trần rồi phản xạ lại phân bố cho toàn phòng. Phương pháp chiếu sáng này không kinh tế, song có ưu điểm là không gây chói mắt, rất tiện nghi cho người sử dụng, thường dùng chiếu sáng các phòng biểu diễn, phòng khách...

Dưới đây đưa ra một số dạng bộ đèn (hình 7.20).



Hình 7.20

7.7. THIẾT KẾ CHIẾU SÁNG TRONG NHÀ BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỆ SỐ SỬ DỤNG

Thiết kế chiếu sáng trong nhà thực chất là xác định nguồn sáng, số lượng bộ đèn, cách bố trí phân bố các bộ đèn trên trần. Thiết kế chiếu sáng phải đảm bảo các yêu cầu cơ bản sau:

- Đảm bảo độ rọi E cần thiết.
- Đảm bảo tiện nghi cho người sử dụng: độ đồng đều độ rọi tốt, không gây chói mắt...

- Ngoài ra còn cần chú ý các yêu cầu về mỹ thuật và kinh tế.

1. Hệ số sử dụng k_{sd}

Hệ số sử dụng quang thông đã được nói ở mục 7.1, công thức (7-5). Các nhà kỹ thuật chiếu sáng đã tính sẵn, đưa vào bảng tra lúc tính toán chiếu sáng. Hệ số sử dụng phụ thuộc vào kiểu bộ đèn, đặc tính kích thước hình học và đặc tính phản xạ của địa điểm (phòng học, văn phòng, nhà ở, xưởng v.v...), vì thế có rất nhiều bảng, dưới đây đưa ra bảng thông dụng nhất, thường gặp khi thiết kế chiếu sáng trong nhà.

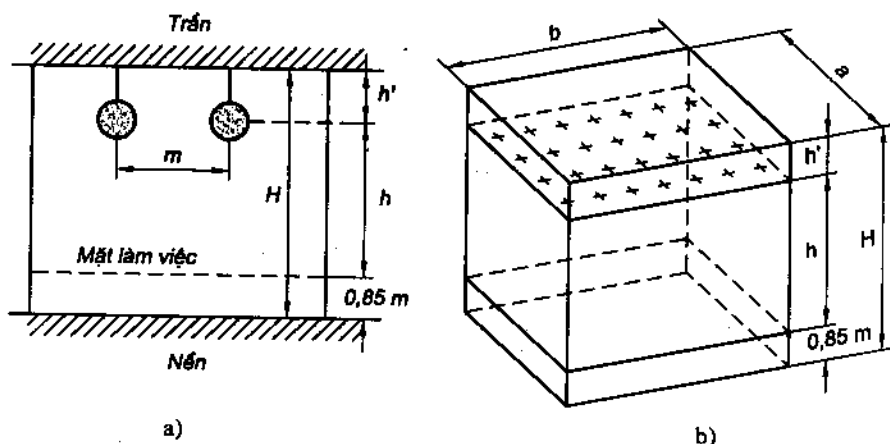
Hệ số sử dụng trung bình cho một số kiểu bộ đèn

Phương pháp chiếu sáng Kiểu bộ đèn	Chi số K	Hệ số phản xạ					
		Trần : 70%			Trần : 50%		
		Tường			Tường		
		50%	30%	10%	50%	30%	10%
Chiếu sáng trực tiếp Bộ đèn công nghiệp cho bóng huỳnh quang	0,6	0,49	0,42	0,39	0,46	0,42	0,39
	0,8	0,58	0,51	0,48	0,54	0,51	0,48
	1	0,64	0,56	0,53	0,59	0,55	0,53
	1,25	0,69	0,60	0,58	0,62	0,60	0,57
	1,5	0,73	0,64	0,61	0,65	0,63	0,61
	2	0,78	0,68	0,66	0,69	0,67	0,65
	2,5	0,81	0,71	0,69	0,72	0,70	0,69
	3	0,84	0,73	0,72	0,73	0,72	0,71
	4	0,87	0,75	0,74	0,75	0,74	0,73
	5	0,88	0,76	0,76	0,76	0,75	0,74
Chiếu sáng trực tiếp Bộ đèn công nghiệp hai ống huỳnh quang	0,6	0,31	0,24	0,20	0,28	0,23	0,20
	0,8	0,39	0,31	0,28	0,36	0,31	0,27
	1	0,45	0,37	0,33	0,41	0,36	0,33
	1,25	0,51	0,42	0,38	0,46	0,41	0,38
	1,5	0,56	0,46	0,43	0,50	0,45	0,42
	2	0,62	0,52	0,49	0,55	0,51	0,48
	2,5	0,67	0,56	0,53	0,58	0,55	0,53
	3	0,70	0,59	0,56	0,61	0,58	0,56
	4	0,74	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60
	5	0,76	0,65	0,63	0,65	0,64	0,62
Chiếu sáng trực tiếp Bộ đèn chôn trong trần ống huỳnh quang	0,6	0,32	0,27	0,25	0,30	0,27	0,25
	0,8	0,38	0,32	0,30	0,35	0,32	0,30
	1	0,42	0,36	0,34	0,38	0,36	0,33

	1,25	0,46	0,40	0,37	0,42	0,39	0,37
	1,5	0,48	0,42	0,40	0,44	0,41	0,39
	2	0,52	0,45	0,43	0,46	0,44	0,43
	2,5	0,55	0,47	0,46	0,48	0,46	0,45
	3	0,57	0,49	0,47	0,49	0,48	0,47
	4	0,59	0,51	0,49	0,51	0,50	0,49
	5	0,61	0,52	0,51	0,52	0,51	0,50
Chiếu sáng bán trực tiếp Bộ đèn cho ống huỳnh quang	0,6	0,20	0,15	0,13	0,18	0,14	0,12
	0,8	0,26	0,20	0,17	0,23	0,19	0,16
	1	0,30	0,24	0,21	0,26	0,22	0,20
	1,25	0,34	0,28	0,25	0,29	0,26	0,23
	1,5	0,37	0,31	0,27	0,32	0,28	0,26
	2	0,42	0,35	0,32	0,35	0,32	0,30
	2,5	0,45	0,38	0,35	0,38	0,35	0,33
	3	0,48	0,40	0,37	0,39	0,37	0,35
	4	0,51	0,43	0,41	0,41	0,40	0,38
	5	0,53	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40
Chiếu sáng hỗn hợp Bộ đèn cho đèn sợi đốt	0,6	0,37	0,30	0,26	0,33	0,28	0,24
	0,8	0,45	0,37	0,32	0,40	0,35	0,31
	1	0,52	0,42	0,38	0,45	0,40	0,36
	1,25	0,58	0,48	0,44	0,50	0,46	0,42
	1,5	0,63	0,52	0,48	0,53	0,49	0,46
	2	0,69	0,58	0,54	0,59	0,55	0,51
	2,5	0,74	0,62	0,59	0,62	0,58	0,56
	3	0,77	0,65	0,62	0,64	0,61	0,58
	4	0,82	0,69	0,66	0,67	0,65	0,63
	5	0,85	0,72	0,69	0,70	0,67	0,65
Chiếu sáng hỗn hợp 2 ống huỳnh quang	0,6	0,21	0,16	0,13	0,19	0,15	0,13
	0,8	0,28	0,22	0,19	0,24	0,20	0,18
	1	0,33	0,27	0,23	0,29	0,24	0,22
	1,25	0,38	0,31	0,27	0,32	0,28	0,25
	1,5	0,42	0,35	0,31	0,35	0,32	0,29
	2	0,48	0,40	0,37	0,40	0,36	0,33
	2,5	0,53	0,44	0,41	0,43	0,39	0,37
	3	0,56	0,47	0,44	0,45	0,42	0,39
	4	0,60	0,51	0,48	0,47	0,45	0,43
	5	0,63	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45

2. Các bước thiết kế chiếu sáng trong nhà

Xác định các kích thước của địa điểm (hình 7.21)



Hình 7.21

chiều rộng a ; chiều dài b ; chiều cao từ trần đến nền H , chiều cao từ trần đến bề mặt làm việc $h \approx H - h' - 0,85$ (hình 21a)

- Xác định chỉ số địa điểm K

$$K = \frac{ab}{h(a+b)} \quad (7-14)$$

- Xác định hệ phản xạ

hệ số phản xạ trần ρ_1

hệ số phản xạ tường ρ_3

- Xác định độ rọi E cần thiết.

Giá trị độ rọi theo tiêu chuẩn của mỗi nước. Dưới đây đưa ra một số trị E để tham khảo khi thiết kế.

Giao thông, cửa hàng, kho tàng	100 lx - 150 lx
Phòng ăn, cơ khí nói chung	200 lx - 300 lx
Phòng học, phòng thí nghiệm	300 lx - 500 lx
Phòng vẽ, siêu thị	500 lx - 750 lx
Lắp ráp thiết bị điện - điện tử	500 lx - 750 lx
Phòng triển lãm	300 lx - 500 lx

Nhà ở	200 lx - 300 lx
Khách sạn	200 lx - 300 lx
Phòng đọc thư viện	300 lx - 500 lx
Phân xưởng may	500 lx
Làm việc với chi tiết nhỏ	1000 lx
Công nghiệp màu	1000 lx

- Xác định nguồn sáng điện
- Xác định phương pháp chiếu sáng và bộ đèn.
- Xác định quang thông tổng Φ_t
- Xác định số bộ đèn.

Xác định bố trí phân bố đèn (hình 7.21a)

Ví dụ 7: Tính toán chiếu sáng cho phòng học

- Kích thước phòng học : rộng $a = 6,85\text{m}$; dài $b = 8,6\text{m}$, chiều cao từ trần đến nền $H = 3,9\text{m}$.

Đèn chôn vào trần, khoảng cách từ đèn đến bề mặt làm việc $h = H - 0,85\text{m}$ (hình 7.22a)

$$h = 3,9 - 0,85 = 3,05\text{m}$$

- Chỉ số kích thước

$$K = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{6,85 \cdot 8,6}{3,05(6,85 + 8,6)} = 1,25$$

- Xác định hệ số phản xạ :

$$\text{Trần trắng sáng} \quad \rho_1 = 0,7$$

$$\text{Tường xanh nhạt} \quad \rho_3 = 0,5$$

- Xác định trị số độ rọi.

Lớp học chọn $E = 300 \text{ lx}$

- Chọn nguồn sáng: đèn ống huỳnh quang.
- Chọn bộ đèn huỳnh quang, chiếu sáng trực tiếp chôn vào trần nhà.
- Xác định quang thông tổng Φ_t cho toàn lớp học.

$$\Phi_t = \frac{ES}{k_{sd}} \delta$$

$S = ab$ là diện tích phòng học.

δ là hệ số bù quang thông, do quang thông đèn giảm theo thời gian ; $\delta = 1,2 \div 1,6$.

Lớp học chọn $\delta = 1,3$

Hệ số sử dụng k_{sd} tra bảng hệ số sử dụng ứng với bộ đèn trực tiếp chôn vào $K = 1,25$, phản xạ trần $\rho = 0,7$; phản xạ tường $\rho = 0,5$

ta được $k_{sd} = 0,46$

$$\Phi_t = \frac{300 \cdot 6,85 \cdot 8,6}{0,46} \cdot 1,3 = 49945 \text{ lm}$$

- Xác định số bóng đèn N , số bộ đèn.

Chọn đèn huỳnh quang thế hệ 2, ánh sáng ban ngày (Xem bảng thông số đèn huỳnh quang)

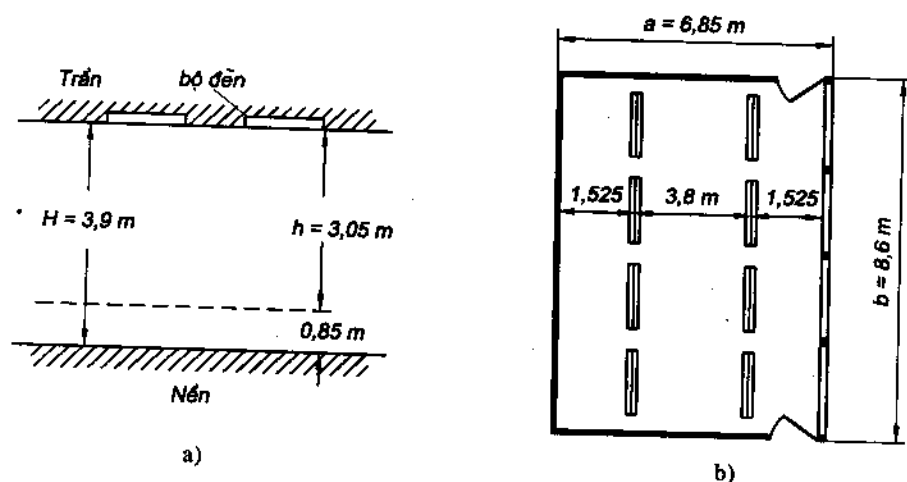
$$\Phi_{\text{đèn}} = 3200 \text{ lm}$$

$$N = \frac{\Phi_t}{\Phi_{\text{đèn}}} = \frac{49945}{3200} = 15,6 \approx 16 \text{ ống}$$

Chọn bộ đèn có 2 ống, số bộ đèn là

$$\frac{N}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ bộ đèn}$$

- Bố trí các bộ đèn như hình 7.22 b



Hình 7.22

- Kiểm tra lại độ đồng đều độ rọi.

Theo tiêu chuẩn để đảm bảo đồng đều độ rọi, khoảng cách m giữa 2 bộ đèn không được vượt quá $1,5 h$

$$m_{\text{max}} = 1,5 \cdot 3,05 = 4,575 \text{ m}$$

Trong thiết kế ta có khoảng cách $3,8 \text{ m}$.

Vậy thỏa mãn điều kiện đồng đều độ rọi.

7.8. PHƯƠNG PHÁP CÔNG SUẤT ĐƠN VỊ p (W/m^2)

Công suất đơn vị p là tỷ số giữa tổng công suất điện toàn bộ bóng đèn P đặt trong phòng chia cho diện tích S của phòng

$$p = \frac{P}{S} \quad W/m^2 \quad (7-16)$$

Phương pháp công suất đơn vị chủ yếu dựa vào các bảng công suất đơn vị đã tính sẵn, mà không cần trình tự tính toán như phương pháp hệ số sử dụng, phương pháp này, sau khi tra được p ta tính được công suất tổng của toàn phòng

$$P = p S \quad (7-17)$$

Dựa vào công suất của đèn, sẽ xác định được số bóng đèn.

$$N = \frac{P}{P_{\text{đèn}}} \quad (7-18)$$

Từ đó xác định được số bộ đèn, và phân bố các bộ đèn trên trần như ví dụ 7

Chú ý rằng, để tra được p cần phải có các thông số sau: kiểu đèn, bộ đèn, độ rọi, chiều cao treo đèn h , và diện tích phòng.

Chỉ nên dùng phương pháp công suất đơn vị khi thiết kế sơ bộ, không yêu cầu chính xác cao, thiết kế cho các phòng không lớn.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

7.1. Định nghĩa các đại lượng : quang thông Φ , cường độ sáng I , độ rọi E . Nêu tên và ký hiệu đơn vị đo các đại lượng trên.

7.2. Một bề mặt có diện tích $S = 70m^2$, có hệ số phản xạ $\rho = 0,3$, nhận được quang thông $\Phi = 17500lm$. Hãy tính độ rọi trung bình E trên bề mặt và quang thông phản xạ Φ_p .

Đáp số : $E = 250 lx$; $\Phi_p = 5250 lm$

7.3. So sánh ưu nhược điểm của đèn sợi đốt và đèn huỳnh quang. Cho ý kiến về sử dụng 2 loại đèn này để chiếu sáng trong nhà.

7.4. Trình bày nguyên lý làm việc của đèn huỳnh quang, đèn phóng điện Na, đèn phóng điện Hg.

7.5. So sánh ưu nhược điểm của đèn Na cao áp và đèn cao áp Hg. Cho ý kiến về sử dụng 2 loại đèn này để chiếu sáng ngoài trời (đường phố, quảng trường v.v...)

7.6. Vì sao đèn Na thấp áp có hiệu suất phát quang cao. Đánh giá về chất lượng ánh sáng của loại đèn này.

7.7. Nêu những ưu, nhược điểm của đèn phóng điện halogen kim loại. Loại đèn này thường được sử dụng để chiếu sáng các công trình gì ?

7.8. Hãy nêu các chức năng của bộ đèn

7.9. Hãy phân loại các bộ đèn theo phương thức chiếu sáng.

7.10. Ưu và nhược điểm của bộ đèn chiếu sáng trực tiếp

7.11. Ưu nhược điểm của bộ đèn chiếu sáng gián tiếp. Trong trường hợp nào người ta sử dụng loại bộ đèn này.

7.12. Một phòng dài 9m, rộng 6m, cao 2,85m được chiếu sáng bằng bộ đèn bán trực tiếp hệ số sử dụng $k_{ud} = 0,4$. Độ rọi yêu cầu $E = 500 \text{ lx}$; hệ số bù quang thông $\delta = 1,3$.

Xác định quang thông tổng của các bóng đèn trong phòng Φ_t .

Đáp số: $\Phi_t = 87750 \text{ lm}$

7.13. Một phân xưởng dài 65m, rộng 28m, cao 7,5m. Người ta dùng bộ đèn chiếu sáng trực tiếp có hệ số sử dụng $k_{ud} = 0,71$. Người ta dùng 44 bóng đèn cao áp Hg có công suất $P = 400\text{W}$, quang thông $\Phi = 23000\text{lm}$ tạo thành lưới bố trí đèn ở trần để phân bố ánh sáng đồng đều cho toàn phân xưởng. Cho biết hệ số bù quang thông $\delta = 1,3$. Hãy xác định độ rọi yêu cầu trên bề mặt làm việc khi thiết kế.

Đáp số: $E = 303,68 \text{ lx}$

Chương 8

TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN

8.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MẠNG ĐIỆN

1. Chức năng của mạng điện

Điện năng sản xuất ra ở các nhà máy điện có điện áp từ 6kV đến 22kV. Từ các nhà máy, ta có các trạm biến áp, nâng điện áp lên cao để truyền tải điện năng, và đến nơi tiêu thụ, ta phải giảm điện áp xuống để sử dụng. Như vậy sẽ hình thành mạng điện với nhiều cấp điện áp khác nhau để truyền tải và phân phối điện năng từ nguồn đến tận nơi tiêu thụ. Theo cấp điện áp người ta phân biệt:

Mạng điện thấp (hạ) áp (LV)	$U \leq 1\text{kV}$
Mạng điện trung áp (MV)	$1\text{kV} < U \leq 66\text{ kV}$
Mạng điện cao áp (HV)	$66 < U \leq 220\text{ kV}$
Mạng điện siêu cao áp (EHV)	$330\text{ kV} < U \leq 750\text{ kV}$
Mạng điện cực cao áp (UHV)	$U \geq 800\text{ kV}$

Mạng điện có chức năng truyền tải và phân phối điện năng.

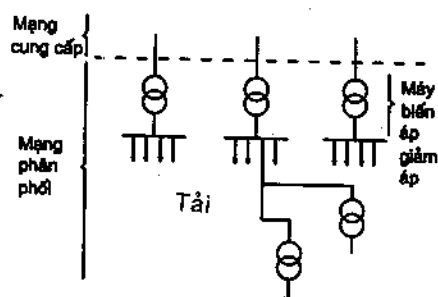
Mạng điện có cấp điện áp từ 110 kV trở lên thường gọi là mạng truyền tải, mạng điện từ 66 kV trở xuống thường gọi là mạng điện phân phối. Trên hình 8.1 cho ta sơ đồ tổng quát về mạng truyền tải và mạng phân phối.

2. Tải của mạng điện

Tải của mạng điện bao gồm tất cả các phần tử tiêu thụ điện năng trong các ngành sản xuất và đời sống: công nghiệp, nông nghiệp, giao thông vận tải, sinh hoạt, thương mại dịch vụ ... v.v .

Công nghiệp là khách hàng tiêu thụ điện lớn nhất, bao gồm các xí nghiệp, nhà máy lớn nhỏ, các tổ hợp sản xuất... chúng đều cần sử dụng điện để tạo ra các sản phẩm ngày càng nhiều và chất lượng cao.

Sau công nghiệp, nông nghiệp tiêu thụ điện rất lớn và đa dạng: phục vụ sinh hoạt cho 80% dân số nước ta hoạt động sản xuất nông nghiệp, phục vụ tưới tiêu, chế biến nông sản, xay xát, chế tạo và sửa chữa nông cụ, chăn nuôi, ...



Hình 8.1

Ngoài công nghiệp, nông nghiệp, giao thông vận tải, điện phục vụ cho sinh hoạt và thương mại dịch vụ cũng khá lớn. Ở nước ta, năm 1994, điện năng tiêu thụ phân bố cho các ngành như sau :

Công nghiệp	44,4%
Nông nghiệp	14,6%
Giao thông vận tải	0,8 %
Sinh hoạt	32,1%
Thương mại, dịch vụ	8,1 %
	100 %

Tùy theo tính chất quan trọng và yêu cầu liên tục cung cấp điện cho tải, các hộ tiêu thụ điện được phân thành ba loại :

Hộ loại 1 là những hộ tiêu thụ điện quan trọng nhất, nếu ngừng cung cấp điện sẽ gây ra nguy hiểm đến tính mạng của con người, ảnh hưởng lớn đến chính trị, gây thiệt hại nhiều về kinh tế (hư hỏng thiết bị, hỏng hàng loạt sản phẩm, rối loạn quá trình công nghệ phức tạp ...). Ví dụ các bệnh viện lớn, đài phát thanh truyền hình, các lò luyện kim, thông gió trong hầm lò và trong các nhà máy hóa chất độc hại, sân bay...

Hộ loại 2 là những hộ tiêu thụ điện ít quan trọng hơn, nếu ngừng cung cấp điện chỉ gây thiệt hại kinh tế do quá trình sản xuất bị gián đoạn. Ví dụ các nhà máy công cụ, nhà máy dệt, các trường học ...

Hộ loại 3 là tất cả những hộ tiêu thụ không thuộc hai loại trên. Ví dụ điện sinh hoạt dân dụng, các phân xưởng sản xuất không theo dây chuyền ...

Việc xác định loại hộ dùng điện rất quan trọng để quyết định phương án cung cấp điện.

3. Các yêu cầu đối với mạng điện

Khi thiết kế cấp điện cho các hộ dùng điện cần thỏa mãn các yêu cầu sau đây :

a) Độ tin cậy cấp điện

Mức độ đảm bảo liên tục cấp điện tùy thuộc vào tính chất và yêu cầu của tải, nghĩa là phụ thuộc vào loại hộ dùng điện. Đối với hộ loại 1 phải đảm bảo liên tục cấp điện ở mức cao nhất, nghĩa là với bất kỳ tình huống nào cũng không để mất điện. Muốn vậy hộ loại 1 phải được cấp điện từ hai phía đến bằng hai nguồn khác nhau, một nguồn từ lưới điện quốc gia, một nguồn từ máy phát điện dự phòng. Những đối tượng như nhà máy, xí nghiệp, tốt nhất là đặt máy phát điện dự phòng, khi mất điện lưới sẽ dùng điện máy phát cấp điện cho những tải quan trọng như lò thép, phân xưởng sản xuất chính...

b) Chất lượng điện năng

Chất lượng điện được đánh giá bằng hai chỉ tiêu là tần số và điện áp. Chỉ tiêu tần số do cơ quan điều khiển hệ thống điện quốc gia điều chỉnh, người thiết kế cấp điện phải đảm bảo điện áp cho khách hàng. Nói chung điện áp ở lưới trung áp và hạ áp chỉ cho phép dao động quanh giá trị định mức $\pm 5\%$. Ở một số tải yêu cầu chất lượng điện áp cao như điện tử, cơ khí chính xác, chiếu sáng chỉ cho phép dao động điện áp $\pm 3\%$.

c) Kinh tế

Khi thiết kế phải so sánh nhiều phương án, mỗi phương án có ưu, nhược điểm riêng, thường có mâu thuẫn giữa mặt kinh tế và kỹ thuật.

Một phương án có độ tin cậy và chất lượng điện năng cao thường đắt tiền, không kinh tế.

Hai đại lượng quan trọng để đánh giá kinh tế của một phương án là vốn đầu tư và phí tổn vận hành. Phương án kinh tế không phải chỉ xét vốn đầu tư ít nhất, mà phải xét đồng thời cả hai đại lượng trên, để thời hạn thu hồi vốn đầu tư là sớm nhất.

d) An toàn

Công trình cấp điện phải đảm bảo vận hành thuận tiện, hợp lý, an toàn cho người vận hành và người sử dụng, an toàn cho các thiết bị và toàn bộ công

trình. Ngoài việc tính toán chính xác, chọn đúng các thiết bị và khí cụ điện, còn phải nắm vững những quy định an toàn.

Ngoài bốn yêu cầu cơ bản trên, còn cần chú ý mạng điện thật đơn giản, dễ thi công, dễ vận hành và dễ phát triển tải sau này.

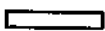
8.2. SƠ ĐỒ MẠNG CẤP ĐIỆN CHO XÍ NGHIỆP VÀ CƠ QUAN

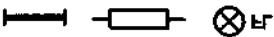
Tùy theo quy mô của hộ tiêu thụ điện, ta chọn sơ đồ mạng điện cấp điện cho phù hợp.

Trước khi đi vào các sơ đồ cụ thể, ta làm quen với cách ký hiệu thường dùng trong các bản vẽ sơ đồ điện.

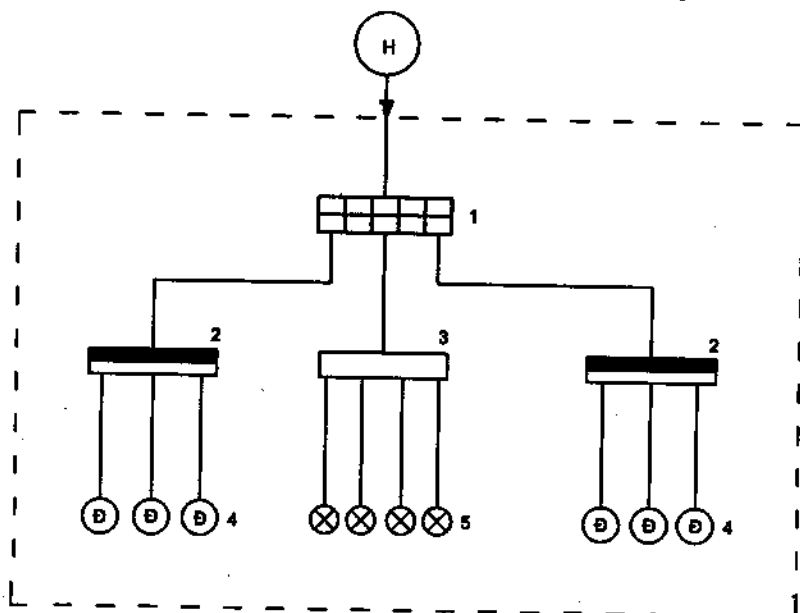
Ký hiệu các phần tử trên sơ đồ điện

Thứ tự	Tên phần tử	Kí hiệu
1	Hệ thống điện (H)	H. (H)
2	Máy phát điện (F)	(F) (⋈)
3	Trạm biến áp (TBA)	
4	Trạm phân phối, trạm cắt (TPP)	
5	Máy biến áp (BA)	
6	Tủ phân phối (TPP)	
7	Tủ động lực (TDL)	

8	Tủ chiếu sáng (TCS)	
9	Dao cách ly, cầu dao (DCL), (CD)	
10	Cầu chì (CC)	 
11	Áp tô m át (A)	 
12	Công tắc (đơn, kép)	 
13	Bảng điện	 
14	Ổ và phích cắm	  
15	Động cơ điện (Đ)	  
16	Thanh góp (thanh cái) (TG)	
17	Dây trung tính	
18	Dây dẫn	
19	Dây dẫn có ghi rõ số dây	  
20	Đèn sợi đốt	

21	Đèn ống huỳnh quang	
22	Chuông	
23	Nối đất	
24	Đường cáp	
25	Quạt điện	

1. Một tổ sản xuất, một xưởng sản xuất nhỏ hoặc sửa chữa tiêu thụ công suất vài chục kilôoát thì lấy điện bằng đường dây thấp áp từ trạm biến áp gần nhất (hình 8.2) mà không cần phải đặt một trạm biến áp riêng.



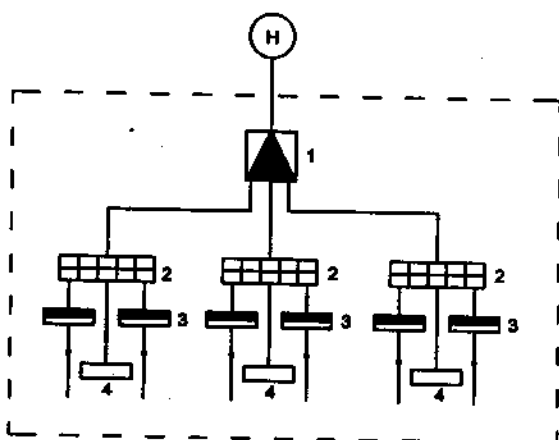
Hình 8.2. Sơ đồ cấp điện cho xưởng sản xuất

1. tủ phân phối ; 2. Tủ động lực ; 3. tủ chiếu sáng ; 4. động cơ điện ; 5. đèn điện

2. Một xí nghiệp quy mô nhỏ, trường học, bệnh viện... công suất tiêu thụ khoảng vài trăm kilôoát, nhất thiết phải xây dựng một trạm biến áp riêng.

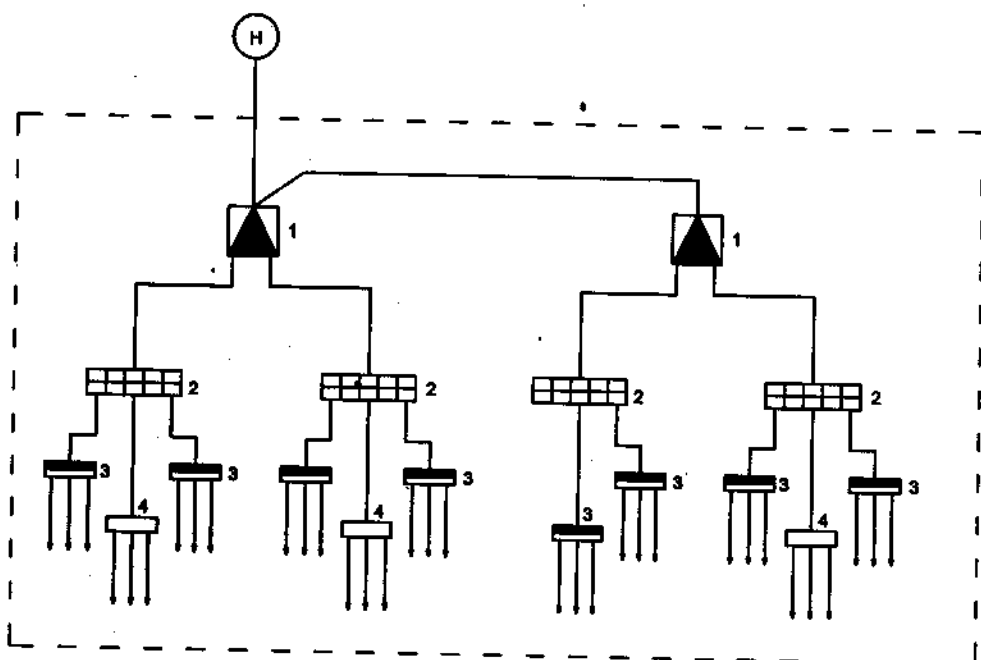
Sơ đồ mạng điện cấp điện gồm một đường dây trung áp nhận điện từ hệ thống (trạm biến áp trung gian, hoặc đường dây trung áp gần nhất), một trạm biến áp (xí nghiệp, bệnh viện, trường học...), một mạng lưới thấp áp cấp điện (cho tải trong xí nghiệp, cơ quan) (hình 8.3).

Đối với xí nghiệp quy mô vừa, ta có thể xây dựng 2 hoặc 3 trạm biến áp, đưa trực tiếp đường dây trung áp đến các trạm (hình 8.4).



Hình 8.3. Sơ đồ cấp điện có trạm BA riêng

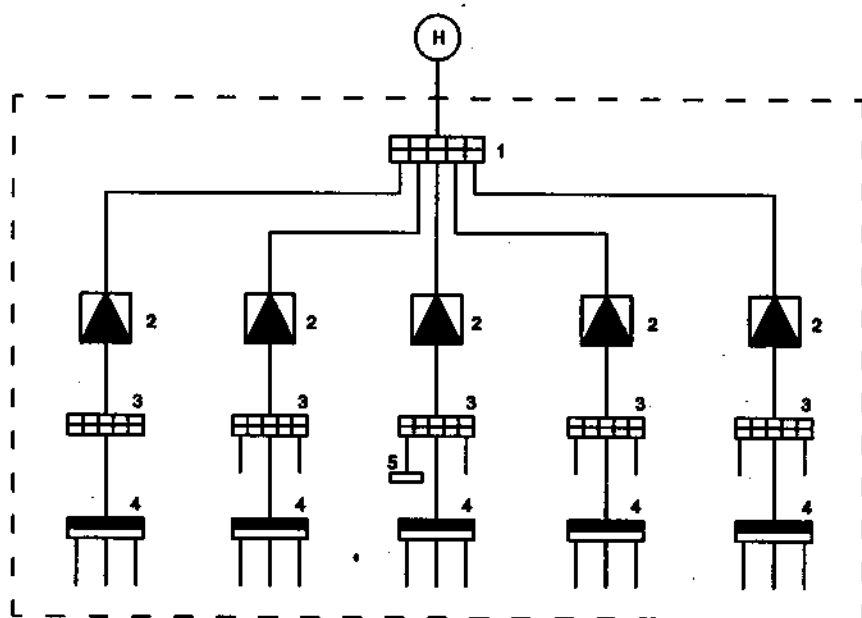
1. Trạm biến áp ; 2. Tủ phân phối ; 3. Tủ động lực ; 4. Tủ chiếu sáng.



Hình 8.4. Sơ đồ cấp điện cho xí nghiệp có quy mô vừa

1. Trạm BA ; 2. Tủ phân phối ; 3. Tủ động lực ; 4. Tủ chiếu sáng.

3. Đối với các công ty lớn, công suất tiêu thụ lên tới hàng vạn kilôoát, bao gồm nhiều phân xưởng. Trong trường hợp này mạng điện sẽ lớn và phức tạp hơn. Người ta xây dựng một trạm phân phối trung tâm tại nhà máy, trạm phân phối trung tâm nhận điện từ hệ thống bằng đường dây trung áp đưa điện đến trạm biến áp của phân xưởng. Phân xưởng lớn có thể đặt riêng một trạm biến áp, vài ba phân xưởng nhỏ có thể dùng chung một trạm biến áp. Số lượng trạm biến áp tùy thuộc vào công suất và vị trí giữa chúng (hình 8.5).



Hình 8.5. Sơ đồ cấp điện cho hệ có công suất tiêu thụ lớn.

1. Trạm phân phối trung tâm ; 2. Trạm biến áp phân xưởng ;
3. Tủ phân phối phân xưởng ; 4. Tủ động lực ; 5. Tủ chiếu sáng

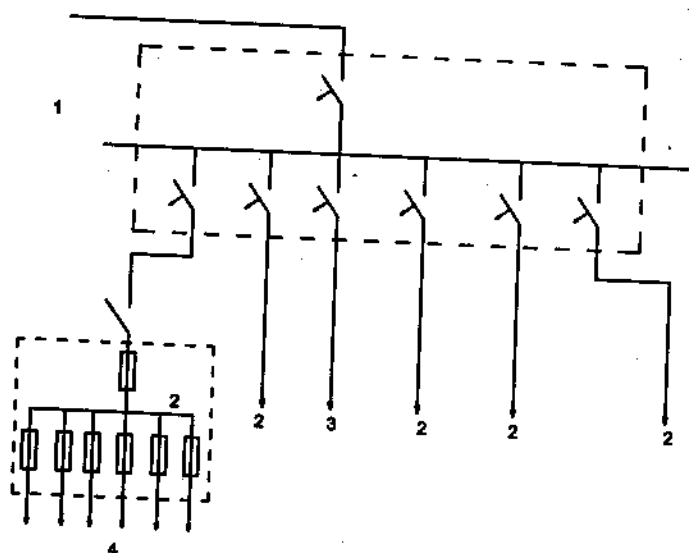
8.3. SƠ ĐỒ MẠNG ĐIỆN HẠ ÁP

1. Mạng điện sản xuất

Ta xét mạng điện cung cấp điện cho các động cơ trong một phân xưởng. Người ta đặt một tủ phân phối nhận điện từ thứ cấp máy biến áp (hình 8.6). Từ tủ phân phối cấp điện cho 5 tủ động lực và một tủ chiếu sáng.

Mỗi tủ động lực cấp điện cho 6 động cơ.

Tủ phân phối có 1 aptômát tổng, thanh góp và 6 aptômát cho 6 nhánh tới 5 tủ động lực và 1 tủ chiếu sáng.



Hình 8.6. Sơ đồ cấp điện cho động cơ trong một phân xưởng

1. Tủ phân phối; 2, 5. Tủ động lực; 3. Tủ chiếu sáng; 4. Tủ các động cơ

Tủ động lực có cầu dao, cầu chì tổng đầu vào và 6 cầu chì nhánh đầu ra.

Tủ chiếu sáng gồm aptômát tổng đầu vào và các aptômát đầu ra đến các cụm đèn.

2. Mạng điện sinh hoạt khu vực đô thị

Mạng điện sinh hoạt khu vực đô thị thường được cấp từ trạm biến áp có một máy biến áp, đường điện cao, hạ áp nên đi cáp và không nên dài quá, dùng trạm công suất nhỏ, đưa điện đến gần tải hơn là dùng trạm công suất lớn cho một khu rộng. Sở dĩ như vậy vì giảm bớt tổn thất điện năng và giảm bớt tổn thất điện áp trên đường dây, quản lý và vận hành tốt, đảm bảo được các yêu cầu về an toàn, độ tin cậy và chất lượng điện năng tốt hơn. Về thiết bị và khí cụ điện, nếu có điều kiện về kinh phí, nên chọn loại tốt, tin cậy và hiện đại.

a) Cung cấp điện cho một nhà tập thể

Ta xét mạng điện cấp điện cho một nhà 4 tầng, mỗi tầng có 9 căn hộ.

Đường dây điện hạ áp từ máy biến áp đến nhà tập thể. Tại nhà tập thể có một tủ điện. Tủ điện của nhà tập thể gồm một aptômát tổng đầu vào và 4 aptômát đầu ra đến các tủ công tơ cho các tầng. Tại các tầng sẽ có một tủ công tơ. Tủ công tơ tầng có 1 cầu dao đầu vào, 9 cầu dao, 9 công tơ, 9 cầu chì đầu ra đến 9 căn hộ (hình 8.7).

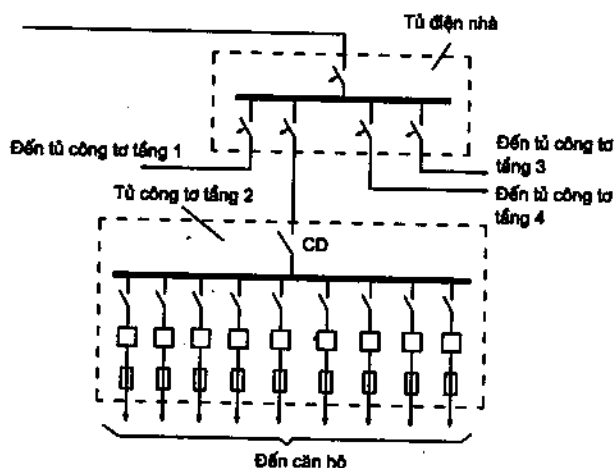
b) Cung cấp điện cho một khách sạn

Khách sạn có một trạm biến áp riêng, tùy theo số tầng và công suất điện tiêu thụ để chọn phương án các tủ điện, tủ phân phối.

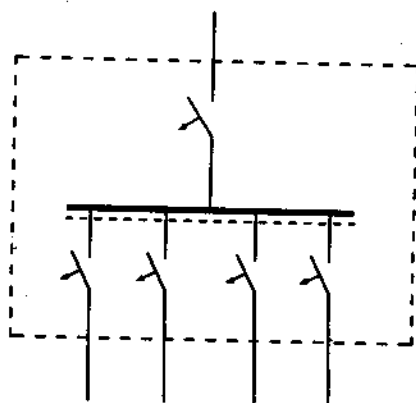
Nếu số tầng ít ta không cần đặt tủ phân phối mà chỉ cần đặt tủ điện riêng cho mỗi tầng. Dưới đây ta xét tủ điện cho mỗi tầng.

Tủ điện tầng gồm có một aptomat tổng đầu vào, các aptomat đầu ra đến các phân khu (hình 8.8) bằng các đường trục. Từ các đường trục, dùng các hộp nối đưa điện vào các phòng. Trong mỗi phòng thường dùng một bảng điện, 3 aptomat dùng riêng cho điều hòa không khí 1, bình nước nóng 1 và 1 cho các tải còn lại (đèn, tivi...). Bảng điện và tất cả đường cáp, đường dây điện đặt chìm trong tường.

Nếu khách sạn có 2 tầng, thì có đường dây liên thông giữa tủ điện của 2 tầng với nhau.



Hình 8.7
Mạng điện nhà 4 tầng



Hình 8.8. Tủ điện mỗi tầng khách sạn

8.4. XÁC ĐỊNH CÔNG SUẤT TÍNH TOÁN

1. Xác định công suất tính toán cho các xí nghiệp

a) Tải động lực

Công suất tính toán động lực được tính theo công suất đặt P_d của phân xưởng (tổng công suất định mức của các thiết bị).

Công suất tính toán cho các tải động lực là

$$P_{dl} = k_{nc} P_d \quad (8-1)$$

$$Q_{dl} = P_{dl} \operatorname{tg} \varphi \quad (8-2)$$

k_{nc} là hệ số nhu cầu tra sổ tay kỹ thuật, số liệu thống kê của phân xưởng;
 $k_{nc} < 1$.

P_d là công suất đặt của phân xưởng.

$\cos \varphi$ là hệ số công suất tính toán, tra ở sổ tay kỹ thuật. Từ giá trị $\cos \varphi$ ta suy ra $\operatorname{tg} \varphi$.

b) Tải chiếu sáng

Tải chiếu sáng thường được tính toán theo công suất chiếu sáng trên một đơn vị diện tích p_0

$$P_{cs} = p_0 S \quad (8-3)$$

trong đó : S là diện tích gian nhà, phân xưởng..., m^2 .

p_0 là công suất chiếu sáng trên một m^2 , đơn vị là W/m^2

p_0 tra ở sổ tay kỹ thuật, phụ thuộc độ rọi E , chiều cao đèn, loại đèn.

$$Q_{cs} = P_{cs} \operatorname{tg} \varphi \quad (8-4)$$

Đối với đèn sợi đốt

$$\cos \varphi = 1; Q_{cs} = 0$$

Đối với đèn huỳnh quang không có tụ điện bù

$$\cos \varphi = 0,45 \div 0,55$$

Trường hợp có tụ điện bù, hoặc dùng chấn lưu điện tử thì $\cos \varphi = 0,85 \div 0,9$.

Từ đó ta tính được công suất tính toán cho phân xưởng

$$P_{t\text{t}\text{px}} = P_{dl} + P_{cs} \quad (8-5)$$

$$Q_{t\text{t}\text{px}} = Q_{dl} + Q_{cs} \quad (8-6)$$

$$S_{t\text{t}\text{px}} = \sqrt{P_{t\text{t}}^2 + Q_{t\text{t}}^2} \quad (8-7)$$

Ta cũng có thể tính $S_{t\text{t}}$ thông qua hệ số công suất trung bình.

$$\cos \varphi_{tb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{\cos \varphi_1} + \frac{P_2}{\cos \varphi_2} + \dots + \frac{P_n}{\cos \varphi_n}}$$

trong đó $P_1, P_2 \dots P_n$ là công suất tối đa mà thiết bị yêu cầu, ứng với $\cos\varphi_1, \cos\varphi_2 \dots \cos\varphi_n$.

Công suất biểu diễn tính toán

$$S_{\text{tính}} = \frac{P_{\text{tính}}}{\cos\varphi_{\text{tb}}} \quad (8-9)$$

Để tính công suất tính toán cho xí nghiệp ta phải xét đến hệ số đồng thời k_{dt} . Hệ số đồng thời k_{dt} xét đến tải các phân xưởng không đồng thời cực đại

$$P_{\text{uXN}} = k_{\text{dt}} \sum_1^n P_{\text{tính}} \quad (8-10)$$

$$Q_{\text{uXN}} = k_{\text{dt}} \sum_1^n Q_{\text{tính}} \quad (8-11)$$

trong đó n là số phân xưởng của xí nghiệp

$$S_{\text{uXN}} = \sqrt{P_{\text{uXN}}^2 + Q_{\text{uXN}}^2} \quad (8-12)$$

$$\cos\varphi_{\text{uXN}} = \frac{P_{\text{uXN}}}{S_{\text{uXN}}} \quad (8-13)$$

Hệ số đồng thời thường lấy là

$$n = 2 \div 4 \quad k_{\text{dt}} = 0,9 \div 0,95$$

$$n = 5 \div 10 \quad k_{\text{dt}} = 0,8 \div 0,85$$

Ví dụ 1: Tính công suất tính toán P_{u} , Q_{u} , S_{u} cho một phân xưởng có các số liệu sau: tổng công suất định mức các thiết bị bằng 950kW ; diện tích phân xưởng $S = 2500\text{m}^2$ hệ số nhu cầu $k_{\text{nc}} = 0,75$; hệ số công suất $\cos\varphi = 0,85$; công suất chiếu sáng $p_0 = 15\text{W/m}^2$.

Lời giải : Công suất tính toán động lực

$$P_{\text{dl}} = k_{\text{nc}} P_d = 0,75 \cdot 950 = 712,5\text{kW}$$

Công suất chiếu sáng phân xưởng

$$P_{\text{CS}} = p_0 S = 15 \cdot 2500 = 37,5\text{kW}$$

Công suất tính toán phân xưởng

$$P_{\text{u}} = P_{\text{dl}} + P_{\text{CS}} \approx 712,5 + 37,5 = 750\text{kW}$$

$$\cos\varphi = 0,85 \quad , \quad \text{tg}\varphi = 0,62$$

$$Q_{\text{u}} = P_{\text{u}} \text{tg}\varphi = 750 \cdot 0,62 = 465\text{kVAr}$$

$$S_u = \sqrt{P_u^2 + Q_u^2} = \sqrt{750^2 + 465^2} = 882,5 \text{ kVA}$$

Ví dụ 2 : Một nhà máy có 8 phân xưởng có số liệu sau:

Công suất tính toán phân xưởng

Thứ tự phân xưởng	P_u (kW)	Q_u (kVar)	S_u (kVA)
1	800	500	943,4
2	750	475	887,8
3	500	600	781
4	500	650	820
5	250	250	353,5
6	650	450	790,5
7	65	80	103
8	150	100	180,3
Tổng	3665	3105	

Tính công suất tính toán của nhà máy và hệ số công suất nhà máy.

Lời giải : Công suất tác dụng tính toán toàn nhà máy

$$P_{ttnm} = k_{dt} \sum_1^8 P_{pxi} = 0,8 \cdot 3665 = 2932 \text{ kW}$$

$$Q_{ttnm} = k_{dt} \sum_1^8 P_{pxi} = 0,8 \cdot 3105 = 2484 \text{ kVar}$$

$$S_{ttnm} = \sqrt{P_{ttnm}^2 + Q_{ttnm}^2} = \sqrt{2932^2 + 2484^2} = 3842,8 \text{ kVA}$$

Hệ số công suất nhà máy

$$\cos \varphi_{nm} = \frac{P_{ttnm}}{S_{ttnm}} = \frac{2932}{3842,8} = 0,763$$

2. Xác định công suất tính toán cho tải sinh hoạt

Ta có thể thực hiện theo hai cách dưới đây :

a) Công suất tính toán tính theo tổng công suất định mức của các thiết bị dùng điện

$$P_n = k_{dt} \sum_1^n P_{dmi} \quad (8-14)$$

trong đó : $\sum_1^n P_{dm}$ là tổng công suất định mức của các thiết bị.

k_{dt} là hệ số đồng thời.

b) Công suất tính toán tính theo công suất đơn vị p (suất tải tính toán)

Suất tải tính toán là kết quả thống kê, khi thiết kế, trực tiếp tra ở bảng

Suất tải sinh hoạt cho một hộ

Mức sống khu dân cư	Công suất đặt một hộ (kW)	P_{oho} (kW/ hộ)
Thấp	2 - 3	1 - 1,5
Trung bình	4 - 5	2 - 2,5
Khá giả	6 - 8	3 - 4

Suất tải sinh hoạt cho một phòng khách sạn

Loại khách sạn	Công suất đặt phòng (kW)	P_{okS} (kW/phòng)
Nhà nghỉ	2 - 3	1 - 1,5
Khách sạn trung bình	5 - 7	2 - 3
Khách sạn sang trọng	8 - 10	4 - 5

Suất tải cho khu vực văn phòng

Mức trang bị điện văn phòng	P_{ovp} (kW/ m ²)
Không có điều hòa không khí	20 - 25
Có điều hòa không khí	120 - 150

Suất tải cho khu vực thương mại

Loại nhà hàng	P_{otm} (kW/ m ²)
1. Nhà hàng bách hóa	10
Chỉ chiếu sáng	
Chiếu sáng và quạt	
2. Siêu thị	15 - 20
	100 - 150

Ở trên chỉ đưa ra suất tải của một số tải sinh hoạt thường gặp. Ngoài người ta còn đưa ra suất tải cho các cơ quan văn hóa, giáo dục v.v.

Ví dụ 3 : Tính công suất tính toán cho một căn hộ có số liệu sau:

Thiết bị điện dùng trong một hộ như sau :

Tên thiết bị	Số lượng	Công suất điện (W)	Công suất đặt (W)
Đèn sợi đốt	2	40	80
Đèn ống huỳnh quang + chấn lưu	8	45	360
Quạt trần	2	80	160
Quạt bàn	3	65	195
Tủ lạnh	1	120	120
Ti vi	1	100	100
Bàn là	1	1000	1000
Nồi cơm điện	1	630	630
Bơm nước	1	250	250

Lời giải :

Công suất đặt của căn hộ

$$P_d = 80 + 360 + 160 + 195 + 120 + 100 + 1000 + 630 + 250 = 2895 \text{ W}$$

Lấy hệ số đồng thời $k_d = 0,8$

Công suất tính toán cho căn hộ tính theo công suất đặt

$$P_{tch} = k_d P_d = 0,8 \cdot 2895 = 2310 \text{ W} = 2,316 \text{ kW}$$

Ví dụ 4 : Một nhà tập thể gồm 56 hộ, trung bình mỗi hộ tiêu thụ điện như ở ví dụ 3.

Tính công suất tính toán của nhà tập thể.

Lời giải :

Tính theo suất tải cho một hộ.

Đây là căn hộ có mức sống trung bình $p_0 = 2 \text{ kW/hộ}$.

Công suất tính toán cho nhà tập thể.

$$P_n = 2 \times 56 = 112 \text{ kW.}$$

Tính theo công suất tính toán của nhà tập thể theo công suất tính toán căn hộ.

$$P_n = k_d P_{tch} = 0,85 \cdot 2,316 \cdot 56 = 110,24 \text{ kW}$$

8.5. XÁC ĐỊNH DÒNG ĐIỆN TÍNH TOÁN

Sau khi tính được công suất tính toán, hệ số công suất tính toán, ta tính dòng điện tính toán như sau:

Khi cung cấp điện một pha (giữa dây pha và dây trung tính)

$$I_{tt} = \frac{P_{tt}}{U_{pdm} \cos \varphi_{tt}}$$

trong đó : U_{pdm} là điện áp pha định mức của đường dây cung cấp điện.

Khi cung cấp điện ba pha đối xứng

$$I_{tt} = \frac{P_{tt}}{\sqrt{3} U_{ddm} \cos \varphi_{tt}}$$

trong đó : U_{ddm} là điện áp dây định mức.

Ví dụ mạng điện 380 V/220 V thì

$$U_{pdm} = 220 \text{ V}; U_{ddm} = 380 \text{ V}$$

Ví dụ 5 : Tính dòng điện tính toán chạy trên đường dây pha cung cấp điện cho căn hộ trong ví dụ 3. Biết căn hộ lấy điện ở mạng 380V/ 220V; hệ số công suất trung bình của căn hộ $\cos \varphi = 0,9$.

Lời giải : Điện vào căn hộ gồm một dây pha và dây trung tính, có $U_{pdm} = 220 \text{ V}$.

Dòng điện tính toán chạy trên đường dây pha vào căn hộ

$$I_{tt} = \frac{P_{tt}}{U_{pdm} \cos \varphi} = \frac{2316}{220 \cdot 0,9} = 11,7 \text{ A}$$

Ví dụ 6 : Tính dòng điện tính toán chạy trên đường dây từ máy biến áp đến nhà tập thể trong ví dụ 4. Cho biết người ta đưa điện ba pha đến nhà tập thể, sau đó phân pha cho các tầng.

Lời giải :

Dòng điện tính toán chạy trên đường dây

$$I_{tt} = \frac{P_{tt}}{\sqrt{3} U_{ddm} \cos \varphi} = \frac{110,24 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 186,1 \text{ A}$$

Việc tính toán dòng điện rất quan trọng, vì từ trị số này ta chọn được tiết diện dây dẫn, chọn cầu chì, aptomat, tính tổn thất điện áp trên đường dây...

8.6. TỔN THẤT ĐIỆN ÁP TRÊN ĐƯỜNG DÂY

Tổn thất điện áp trên đường dây là hiệu số giữa trị số hiệu dụng điện áp đầu đường dây và điện áp cuối đường dây

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

Khi đường dây có điện trở R và điện kháng $X = \omega L$, cung cấp điện cho tải có hệ số công suất $\cos \varphi$, dòng điện chạy trên đường dây I thì tổn thất điện áp được tính là

$$\Delta U = U_1 - U_2 = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi \quad (8-15)$$

Khi hệ số công suất $\cos \varphi$ cao ví dụ $\cos \varphi \approx 0,85$ ta có thể tính gần đúng

$$\Delta U \approx RI \quad (8-16)$$

Công thức (8-15) và công thức (8-16) dùng để tính tổn thất điện áp theo dòng điện chạy trên đường dây I .

Vận dụng các công thức trên cho các phương án cung cấp điện.

1. Cung cấp điện một pha

Lúc này dòng điện trong dây trung tính bằng dòng điện trong dây pha, có tổn thất điện áp trên dây trung tính, do đó

$$\Delta U = 2(RI \cos \varphi + XI \sin \varphi) \quad (8-17)$$

Đối với tải sinh hoạt $\cos \varphi$ - cao, có thể tính gần đúng

$$\Delta U \approx 2 RI \quad (8-18)$$

2. Cung cấp điện ba pha

Khi tải ba pha đối xứng, dòng điện trong dây trung tính bằng không, do đó tổn thất điện áp pha là

$$\Delta U_p = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi \quad (8-19)$$

Gần đúng, khi $\cos \varphi$ cao

$$\Delta U_p \approx RI \quad (8-20)$$

Tổn thất điện áp dây:

$$\Delta U_d = \sqrt{3} \Delta U_p = \sqrt{3} (RI \cos \varphi + XI \sin \varphi) \quad (8-21)$$

Khi $\cos \varphi$ cao, giá trị gần đúng

$$\Delta U_d \approx \sqrt{3} RI \quad (8-22)$$

Ta cũng có thể tính tổn thất điện áp theo công suất truyền tải trên đường dây.

$$\text{Thay } I = \frac{P}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi} = \frac{Q}{\sqrt{3} U_d \sin \varphi} \text{ vào (8-21) ta có :}$$

$$\Delta U_d = \frac{PR + QX}{U_d} \quad (8-23)$$

trong đó P, Q là công suất tác dụng và phản kháng của tải ba pha.

Khi $\cos\varphi$ cao ta có

$$\Delta U_d \approx \frac{PR}{U_d} \quad (8-24)$$

Mỗi đường dây có điện áp định mức. Điện áp định mức của đường dây thường lấy trị số trung bình cộng điện áp đầu đường dây và cuối đường dây.

$$U_{dm} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

Tổn thất điện áp thường biểu thị bằng % so với điện áp định mức

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{dm}} 100 \quad (8-25)$$

Khi làm việc, để các tải làm việc với đặc tính tốt nhất, điện áp đường dây phải bằng điện áp định mức của tải. Tuy nhiên trong thực tế người ta cho phép sai lệch như sau:

Tải chiếu sáng $\Delta U_{cp}\% = \pm 3\%$

Các tải khác $\Delta U_{cp}\% = \pm 5\%$

(như động cơ điện)

8.7. LỰA CHỌN CÁC THIẾT BỊ ĐÓNG CẮT VÀ BẢO VỆ MẠNG ĐIỆN THẤP ÁP

1. Chọn cầu dao

Chọn cầu dao phải đảm bảo điều kiện :

$$U_{dmcd} \geq U_{dmmd}$$

$$I_{dmcd} \geq I_{lt}$$

trong đó : U_{dmcd} là điện áp định mức của cầu dao

U_{dmmd} là điện áp định mức của mạng điện

I_{lt} là dòng điện tính toán (dòng điện làm việc lâu dài qua cầu dao)

I_{dmcd} là dòng điện định mức cầu dao

2. Chọn cầu chì

a) Chọn cầu chì cho mạng điện chiếu sáng, mạng sinh hoạt :

$$I_{dc} \geq I_{tt}$$

Trong đó : I_{dc} là dòng điện định mức của dây chảy cầu chì (dòng điện lớn nhất mà dây chảy cầu chì chịu được lâu dài mà không bị đứt)

b) Chọn cầu chì nhánh cấp điện cho một động cơ phải thoả mãn 2 điều kiện :

$$I_{dc} \geq I_{dmD}$$

$$I_{dc} \geq \frac{I_{mmd}}{2,5}$$

Trong đó : I_{dmD} là dòng điện định mức của động cơ

I_{mmd} là dòng điện mở máy của động cơ

với động cơ không đồng bộ lồng sóc $I_{mm} = (5 \div 7) I_{dm}$.

Ta sẽ chọn dây chảy cầu chì theo trị số lớn nhất trong hai trị số ở trên.

c) Chọn cầu chì đường dây chính cung cấp điện cho một nhóm động cơ theo 3 điều kiện sau :

$$I_{dc} \geq I_{tinhom}$$

$$I_{dc} \geq \frac{I_{mmd}}{2,5}$$

trong đó : I_{tinhom} - là dòng điện tính toán của đường dây chính khi đã xét đến hệ số đồng thời, hệ số sử dụng (hệ số tải).

I_{mmd} - là dòng điện mở máy chạy trên đường dây chính khi động cơ thứ k mở máy (các động cơ và tải khác làm việc bình thường). Động cơ thứ k có hiệu $(I_{mmk} - I_{lvk})$ lớn nhất trong tất cả các động cơ.

$$I_{mmd} = I_{mmk} + (I_{tinhom} - I_{lvk})$$

trong đó : I_{mmk} là dòng điện mở máy của động cơ thứ k

I_{lvk} là dòng điện làm việc của động cơ thứ k.

Ngoài hai điều kiện trên còn phải thoả mãn điều kiện chọn lọc : I_{dc} của cầu chì tổng phải lớn hơn ít nhất 2 cấp so với I_{dc} của cầu chì nhánh lớn nhất.

Dưới đây đưa ra dòng điện định mức dây chảy cầu chì I_{dc} (A)

6 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ; 40 ; 50 ; 60 ; 80 ; 100 ; 125 ; 150 ; 200 ; 225 ; 250 ; 300 ; 350 ; 400 ; 450 ; 500 ; 600 ; 700 ; 850 ; 1000.

Ví dụ 7 : Chọn cầu chì ở đường dây nhánh cung cấp điện cho 1 động cơ không đồng bộ $I_{dm} = 11,5A$, dòng điện mở máy $I_{mm} = 5,5 I_{dm}$.

Lời giải : Hai điều kiện chọn cầu chì :

$$I_{dc} \geq I_{dm} = 11,5A$$

$$I_{dc} \geq \frac{I_{mm}}{2,5} = \frac{5,5 \cdot 11,5}{2,5} = 25,3A$$

Dựa vào bảng dòng điện định mức dây chảy chọn : $I_{dc} = 30A$.

Ví dụ 8 : Chọn cầu chì ở đường dây chính cung cấp điện cho 8 động cơ - cho biết $I_{tính} = 51,75A$, động cơ thứ 5 có $I_{dm} = 11,5A$; $I_{mm} = 5,5 I_{dm}$ và hệ số tải $k_t = 0,3$ là động cơ có hiệu ($I_{mm} - I_{lv}$) lớn nhất. Dây chảy ở cầu chì nhánh lớn nhất là 30A.

Lời giải :

$$I_{tính} = 51,75A$$

Động cơ số 5 : $I_{mm5} = 5,5 \cdot I_{dm} = 5,5 \cdot 11,5 = 63,25A$

$$I_{lv5} = k_t I_{dm5} = 0,3 \cdot 11,5 = 3,45A$$

Điều kiện chọn I_{dc} cầu chì nhánh chính :

$$I_{dc} \geq I_{tính} = 51,75A$$

$$I_{dc} \geq \frac{I_{mmd}}{2,5} = \frac{I_{mm5} + (I_{tính} - I_{lv5})}{2,5} \geq \frac{63,25 + (51,75 - 3,45)}{2,5} = 44,62A$$

Chọn $I_{dc} = 60A$ thoả mãn cả 3 điều kiện đã nêu.

3. Chọn aptômát

Chọn theo điều kiện làm việc lâu dài

$$I_{dmA} \geq I_{tt}$$

$$U_{dmA} \geq U_{dmmd}$$

Trong đó: I_{tt} là dòng điện tính toán (làm việc lâu dài)

I_{dmA} là dòng điện định mức của aptômát

U_{dmA} là điện áp định mức của aptômát

U_{dmmd} điện áp định mức mạng điện.

8.8. LỰA CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN VÀ DÂY CÁP HẠ ÁP

1. Các điều kiện chọn tiết diện dây dẫn và dây cáp

Lựa chọn tiết diện dây phải thoả mãn 3 điều kiện sau :

- Bảo đảm điều kiện phát nhiệt cho phép, nghĩa là tiết diện dây phải đủ lớn để dòng điện làm việc lâu dài đi qua không làm cho dây dẫn phát nóng quá nhiệt độ cho phép. Vì thế với mỗi loại dây người ta quy định dòng điện cho phép kí hiệu là I_{cp} . Ví dụ : Cáp đồng hạ áp 2 lõi cách điện PVC do Lens chế tạo :

Tiết diện S (mm ²) (2 x S)	Dòng điện cho phép $I_{cp}(A)$	
	Trong nhà	Ngoài trời
2 x 1,5	37	26
2 x 2,5	48	36
2 x 4	63	49
2 x 6	80	63
2 x 10	104	86

- Bảo đảm điều kiện tổn thất điện áp cho phép, nghĩa là tiết diện dây phải đủ lớn để tổn thất điện áp từ đầu đường dây đến cuối đường dây nhỏ hơn tổn thất điện áp cho phép ΔU_{cp} , để các tải ở cuối đường dây làm việc bình thường.

- Bảo đảm điều kiện sức bền cơ học cho phép, nghĩa là tiết diện dây dẫn phải đủ lớn để không bị đứt do trọng lượng bản thân dây và do lực cơ học ngoài (gió, bão...).

2. Chọn tiết diện dây theo điều kiện phát nóng

Trên cơ sở dòng điện tính toán I_u chạy trên đường dây, ta chọn dây có dòng điện cho phép I_{cp} như sau :

$$k_1 k_2 I_{cp} \geq I_u$$

trong đó : k_1 là hệ số hiệu chỉnh về nhiệt độ môi trường xung quanh

k_2 là hệ số hiệu chỉnh về số dây cáp đặt trong một hầm hoặc một rãnh dưới đất.

Ví dụ : Một căn hộ tiêu thụ công suất điện tính toán $P_u = 3,5kW$; $U = 220V$; $\cos\varphi = 0,9$.

Chọn dây dẫn cho căn hộ.

$$\text{Lời giải : } I_u = \frac{P_u}{U \cos \varphi} = \frac{3,5 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,9} = 17,67 \text{ A}$$

Hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ $k_1 = 0,71$

Hệ số hiệu chỉnh số dây cáp $k_2 = 1$ (chỉ có 1 đường dây).

$$I_{cp} \geq \frac{I_u}{k_1 k_2} = \frac{17,67}{0,71} = 24,8 \text{ A}$$

Dựa vào bảng dây dẫn, ta có thể chọn dây 2 x 1,5 ; 2 x 2,5 song để đảm bảo độ bền cơ học, ta chọn dây cáp đồng 2 x 4 đưa điện vào căn hộ.

Ngoài ra vì đường dây ngắn ta không cần kiểm tra tổn thất điện áp.

Dây dẫn và cáp hạ áp sau khi chọn theo phát nóng cần kiểm tra theo điều kiện kết hợp với thiết bị bảo vệ.

Nếu bảo vệ bằng cầu chì

$$I_{cp} \geq \frac{I_{dc}}{\alpha}$$

Với mạng động lực $\alpha = 3$

Với mạng chiếu sáng, sinh hoạt $\alpha = 0,8$

Nếu bảo vệ bằng aptomat

$$I_{cp} \geq \frac{I_{kđnh}}{1,5}$$

$$\text{hoặc } I_{cp} \geq \frac{I_{kđđt}}{4,5}$$

trong đó $I_{kđnh}$, $I_{kđđt}$ là dòng điện khởi động của bộ phận cắt mạch điện bằng nhiệt hoặc bằng điện từ của aptomat.

Nếu đường dây dài, cần kiểm tra tổn thất điện áp ΔU từ đầu đường dây đến cuối đường dây.

$$\Delta U \leq \Delta U_{cp}$$

trong đó ΔU_{cp} là tổn thất điện áp cho phép. Nếu tổn thất điện áp lớn hơn tổn thất điện áp cho phép, ta phải chọn tiết diện lớn hơn để thoả mãn $\Delta U \leq \Delta U_{cp}$.

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 8

8.1. Các yêu cầu đối với mạng điện hạ áp.

8.2. Hãy nêu các phương án sơ đồ cấp điện của mạng điện hạ áp.

8.3. Cách xác định công suất tính toán P_{tt} cho phân xưởng, cho xí nghiệp và cho một khu nhà tập thể

8.4. Biểu thức dòng điện tính toán I_{tt} khi cung cấp điện một pha và khi cung cấp điện ba pha.

8.5. Biểu thức tính tổn thất điện áp ΔU từ đầu đường dây đến cuối đường dây.

8.6. Trình bày phương pháp chọn tiết diện dây dẫn và dây cáp.

8.7. Phương pháp chọn cầu dao, cầu chì và aptômát.

8.8. Một nhà làm việc của một công ty gồm 18 phòng làm việc sử dụng các thiết bị điện sau :

- 14 phòng nhỏ, mỗi phòng có : 1 điều hoà không khí 2,5kW ; 8 đèn ống huỳnh quang 0,36 kW.

- 4 phòng lớn, mỗi phòng có : 2 điều hoà không khí 5 kW ; 16 đèn ống huỳnh quang 0,72 kW.

Điện chiếu sáng hành lang và khu vệ sinh, nhà xe 2 kW. Cho biết hệ số công suất trung bình 0,8 và hệ số đồng thời $k_d = 0,9$.

Tính công suất tính toán P_{tt} và dòng điện tính toán I_{tt} của công ty.

Đáp số : $P_{tt} = 58,428 \text{ kW}$ $I_{tt} = 110,96 \text{ A}$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Văn Đào - Lê Văn Doanh, **Kỹ thuật điện**, NXB Giáo dục, 2001.
2. A.Bruce Carlson - David G.Gisser, **Electrical engineering**, Addison-Wesley Publishing company 1999.
3. Francis MILSANT, **Cours d' Electrotechnique** Berti Editions, 1993.
4. Thomas L.Floyd, **Principles of electric circuits**, Prentice-Hall 2000.
5. B.P.Patil, **Electrical machines**, Vrinda publications - 2000.
6. Patrica Van Deplanque, **Kỹ thuật chiếu sáng**, Lê Văn Doanh và Đặng Văn Đào (dịch), NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001.
7. Ngô Hồng Quang - Vũ Văn Tầm, **Thiết kế cấp điện**, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001.
8. Lê Thành Bắc, **Giáo trình thiết bị điện**, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001.

Mục lục

Lời giới thiệu	Trang
Mở đầu	3
Chương 1. Mạch điện một chiều (7 tiết)	4
1.1. Những khái niệm cơ bản về mạch điện một chiều	5
1.2. Các đại lượng đặc trưng quá trình năng lượng trong mạch điện	7
1.3. Mô hình mạch điện một chiều	8
1.4. Các định luật của mạch điện	10
1.5. Các biến đổi tương đương	12
1.6. Nguyên lý xếp chồng	16
1.7. Các phương pháp giải mạch điện phức tạp	18
Câu hỏi ôn tập và bài tập	24
Chương 2. Điện từ (6 tiết)	
2.1. Những khái niệm cơ bản về từ trường	28
2.2. Cường độ từ cảm - Cường độ từ trường - Từ thông	30
2.3. Vật liệu sắt từ	33
2.4. Định luật cảm ứng điện từ	34
2.5. Định luật lực điện từ	37
2.6. Định luật mạch từ - Tính toán mạch từ	38
Câu hỏi ôn tập và bài tập	44
Chương 3. Dòng điện xoay chiều hình sin (12 tiết)	
3.1. Cách tạo ra sức điện động xoay chiều hình sin	46
3.2. Các định nghĩa về dòng điện xoay chiều hình sin	47
3.3. Trị số hiệu dụng của dòng điện	50
3.4. Biểu diễn dòng điện xoay chiều hình sin bằng vectơ	51
3.5. Quan hệ giữa dòng điện, điện áp của một nhánh	53
3.6. Công suất của dòng điện hình sin	62
3.7. Nâng cao hệ số công suất $\cos\phi$	65
3.8. Biểu diễn dòng điện hình sin bằng số phức	67
3.9. Phương pháp giải mạch điện xoay chiều hình sin	71
Câu hỏi ôn tập và bài tập	75
Chương 4. Mạch điện ba pha (8 tiết)	
4.1. Khái niệm chung	78
4.2. Cách nối hình sao (Y)	81
4.3. Cách nối hình tam giác (Δ)	84
4.4. Công suất của mạch điện ba pha	87
4.5. Cách giải mạch điện ba pha đối xứng	90
4.6. Giải mạch ba pha không đối xứng có dây trung tính	94
4.7. Đo công suất mạch điện ba pha	97
4.8. Cách nối nguồn và tải trong mạch ba pha	99
Câu hỏi ôn tập và bài tập	101
Chương 5. Chính lưu và ổn áp (6 tiết)	
5.1. Đại cương về các bộ chỉnh lưu	103
5.2. Chỉnh lưu một nửa chu kỳ	104

5.3. Chính lưu hai nửa chu kỳ	107
5.4. Chính lưu ba pha hình tia	109
5.5. Chính lưu cầu ba pha	111
5.6. Các bộ ổn định điện áp	112
Câu hỏi ôn tập	113
Chương 6. Các thiết bị đóng cắt và bảo vệ mạch điện (6 tiết)	
6.1. Role	114
6.2. Cầu dao	116
6.3. Nút ấn	117
6.4. Công tắc tơ điện từ	117
6.5. Khởi động từ	120
6.6. Cầu chì	121
6.7. Áp tô mát	122
Câu hỏi ôn tập	122
Chương 7. Chiếu sáng (7 tiết)	
7.1. Các đại lượng cơ bản và đơn vị đo	123
7.2. Hệ số phản xạ ρ , Hệ số thấu xạ τ , Hệ số hấp thụ α	127
7.3. Đèn sợi đốt	129
7.4. Đèn huỳnh quang	133
7.5. Đèn phóng điện	138
7.6. Bộ đèn	140
7.7. Thiết kế chiếu sáng trong nhà bằng phương pháp hệ số sử dụng	143
7.8. Phương pháp công suất đơn vị p (W/m^2)	149
Câu hỏi ôn tập và bài tập	149
Chương 8. Tính toán mạng điện (8 tiết)	
8.1. Khái niệm chung về mạng điện	151
8.2. Sơ đồ mạng cấp điện cho xí nghiệp và cơ quan	154
8.3. Sơ đồ mạng điện hạ áp	158
8.4. Xác định công suất tính toán	160
8.5. Xác định dòng điện tính toán	165
8.6. Tổn thất điện áp trên đường dây	166
8.7. Lựa chọn các thiết bị đóng cắt và bảo vệ mạng điện hạ áp	168
8.8. Lựa chọn tiết diện dây dẫn và dây cáp hạ áp	171
Câu hỏi và bài tập	172
Tài liệu tham khảo	173
Mục lục	174

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

Biên tập lần đầu :

TRẦN TRỌNG TIẾN
NGUYỄN HỒNG ÁNH

Biên tập tái bản :

NGUYỄN HỒNG ÁNH

Trình bày bìa :

QUANG TUẤN

Sửa bài :

THU HƯƠNG

Chế bản :

HỒNG THẨM

GIÁO TRÌNH KỸ THUẬT ĐIỆN

Mã số: 7K552T4-KHO

In 1.000 cuốn, khổ 16 x 24 cm tại Công ty Cổ phần IN KHÁNH HỢI (27 Hoàng Diệu, P12, Q4 - Tp. Hồ Chí Minh). Số ĐKKHXB: 1750/CXB - 156. Giấy TNKHXB: 2713/GPTN ngày 11.10.2004. In xong và nộp lưu chiểu tháng 11/2004.



NGÔI SAO VÀNG
CHẤT LƯỢNG
QUỐC TẾ

TÌM ĐỌC GIÁO TRÌNH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

1. An toàn điện
2. Kỹ thuật điện
3. Máy điện
4. Kỹ thuật lắp đặt điện
5. Điện dân dụng và công nghiệp
6. Cung cấp điện
7. Đo lường các đại lượng điện và không điện
8. Kỹ thuật điều khiển động cơ điện
9. Điện tử công suất
10. Linh kiện điện tử và ứng dụng
11. Điện tử dân dụng
12. Kỹ thuật số
13. Kỹ thuật mạch điện tử
14. Cơ kỹ thuật
15. An toàn lao động
16. Về kỹ thuật
17. Vật liệu và công nghệ cơ khí
18. Dung sai lắp ghép và kỹ thuật đo lường
19. Kỹ thuật sửa chữa ô tô, máy nổ
20. Công nghệ hàn (lý thuyết và ứng dụng)
21. Cơ sở kỹ thuật cắt gọt kim loại

Nguyễn Đình Thăng
Đặng Văn Đào
Nguyễn Hồng Thanh
Phan Đăng Khải
Vũ Văn Tâm
Ngô Hồng Quang
Nguyễn Văn Hòa
Vũ Quang Hải
Trần Trọng Minh
Nguyễn Việt Nguyên
Nguyễn Thanh Trà, Thái Vĩnh Hiền
Nguyễn Việt Nguyên
Đặng Văn Chuyết
Đỗ Sanh
Nguyễn Thế Đạt
Trần Hữu Quế
Hoàng Tung
Ninh Đức Tôn, Nguyễn Thị Xuân Bảy
Nguyễn Tất Tiên, Đỗ Xuân Kinh
Nguyễn Thúc Hà
Nguyễn Tiên Lương

*Bạn đọc có thể tìm mua tại các Công ty sách - thiết bị trường học
ở địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục :*

**81 Trần Hưng Đạo, 57 Giảng Võ, 23 Tràng Tiền, 25 Hàn Thuyên,
210, 237 Tây Sơn - TP. Hà Nội; 15 Nguyễn Chí Thanh - TP. Đà Nẵng;
231 Nguyễn Văn Cừ - Quận 5 - TP. Hồ Chí Minh.**

giáo trình kỹ thuật điện



Giá : 14.500đ