

PGS. TS. ĐÀO HOA VIỆT (*Chủ biên*)
ThS. VŨ HỮU THÍCH – ThS. VŨ ĐỨC THOAN – KS. ĐỖ DUY HỢP

GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN

DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ CAO ĐẲNG NGHỀ
VÀ TRUNG CẤP NGHỀ



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

PGS. TS. ĐÀO HOA VIỆT (Chủ biên)
ThS. VŨ HỮU THÍCH – ThS. VŨ ĐỨC THOAN – KS. ĐỖ DUY HỢP

GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN

(Biên soạn theo chương trình khung do Tổng cục Dạy nghề ban hành
dùng cho đào tạo hệ Cao đẳng nghề và Trung cấp nghề)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

**Công ty Cổ phần sách Đại học - Dạy nghề – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam
giữ quyền công bố tác phẩm.**

LỜI NÓI ĐẦU

Máy điện là phần tử biến đổi năng lượng điện quan trọng được dùng phổ biến trong công nghiệp và trong đời sống xã hội. Khi đóng vai trò máy phát, nó biến đổi cơ năng thành điện năng. Khi đóng vai trò động cơ nó biến đổi điện năng thành cơ năng để làm chuyển động các máy công tác. Quá trình làm việc của máy điện dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ với hai hiện tượng cơ bản là hiện tượng cảm ứng sức điện động và hiện tượng tương tác sản sinh lực điện từ. Các hiện tượng này được mô tả bằng các định luật điện từ. Đây là hiện tượng phức tạp không quan sát được bằng mắt, vì vậy khi nghiên cứu máy điện cần phải có sự hiểu biết sâu sắc về bản chất vật lý. Từ đó, có thể thay thế máy điện bằng các phần tử mô hình mạch ghép với các phần tử khác để giải bài toán chung về mạch điện và mạch từ.

Cuốn "Giáo trình Máy điện" được biên soạn phục vụ cho việc học tập và giảng dạy môn học Máy điện trong các trường Cao đẳng nghề và Trung cấp nghề, theo chương trình khung do Tổng cục Dạy nghề ban hành. Nó cũng có thể dùng làm sách tham khảo cho sinh viên, cán bộ giảng dạy các trường đại học và cao đẳng, các kỹ thuật viên chuyên ngành Điện.

Cuốn "Giáo trình Máy điện" gồm các nội dung chính sau đây:

Chương 1. Khái niệm chung về máy điện. Trình bày những cơ sở lý thuyết của máy điện, trong đó nhấn mạnh tính chất biến đổi năng lượng của máy điện dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ và các định luật về lực điện từ.

Chương 2. Máy biến áp. Trình bày cơ sở kết cấu, mô hình và các đặc tính sử dụng của máy biến áp các loại. Máy biến áp được coi là mô hình tính của máy điện. Hiểu rõ mô hình này giúp ích rất lớn cho việc xét các quá trình phức tạp hơn trong máy điện quay.

Chương 3. Máy điện không đồng bộ. Trình bày về máy điện không đồng bộ, chú trọng phân tích các quá trình điện từ và sự tạo thành mômen trong động cơ không đồng bộ. Do tính phức tạp của quá trình điện từ trong máy điện không đồng bộ nên phương pháp nghiên cứu cơ bản là phương pháp dựa trên định luật bảo toàn năng lượng (phương pháp năng lượng).

Chương 4. Máy điện đồng bộ. Trình bày về máy điện đồng bộ mà chủ yếu là các máy phát điện đồng bộ. Đây là thiết bị nguồn cơ bản biến đổi cơ năng thành điện năng. Phân tích kỹ sự tương tác của từ trường phản ứng và từ trường kích thích để làm rõ các chế độ và đặc tính làm việc của máy phát.

Chương 5. Máy điện một chiều. Trình bày về máy điện một chiều. Phân tích các đặc điểm riêng về kết cấu và đặc điểm làm việc và sử dụng. Máy điện một chiều là mô hình có sự độc lập tương đối tương minh giữa từ trường kích thích và từ trường phản ứng. Việc phân tích các hiện tượng xảy ra trong máy điện tương đối đơn giản hơn có thể sử dụng trực tiếp các định luật điện từ. Hiểu kỹ vấn đề này sẽ rất có ích khi nghiên cứu các vấn đề về các phương pháp điều khiển mới cho máy điện các loại (phương pháp vectơ).

Chương 6. Một số máy điện đặc biệt. Trình bày ngắn gọn về một số dạng máy điện đặc biệt như động cơ bước, động cơ một chiều không tiếp xúc.

Để tạo điều kiện cho việc áp dụng các kiến thức học được vào khai thác sửa chữa các loại máy điện, giáo trình này đã trình bày khá kỹ về các cuộn dây của các loại máy điện xoay chiều và một chiều.

Đi đôi với việc trình bày các kiến thức về lý thuyết, giáo trình đã đưa ra nhiều ví dụ cụ thể và có thêm các bài tập và câu hỏi ôn tập. Hy vọng rằng, với cách trình bày như vậy sẽ giúp ích tốt cho người đọc.

Dù được biên soạn cẩn thận, giáo trình khó tránh khỏi các khiếm khuyết. Rất mong nhận được sự đóng góp của bạn đọc để lần tái bản sau cuốn sách được hoàn thiện tốt hơn.

Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Công ty Cổ phần sách Đại học và Dạy nghề – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, tại 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.

CÁC TÁC GIẢ

Chương 1

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

1.1. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Máy điện (bao gồm máy phát và động cơ điện) là các thiết bị biến đổi cơ năng thành điện năng và ngược lại. Quá trình biến đổi năng lượng ấy xảy ra trong máy điện dựa trên các quy luật của hiện tượng điện từ, hiện tượng tương tác giữa hai quá trình điện và từ mà chúng ta thường gặp. Để hiểu được bản chất các quá trình điện từ xảy ra trong máy điện cần phải nắm chắc các định luật cơ bản sau đây:

- Định luật về sự tương tác giữa từ trường và dòng điện đặt trong từ trường cho ta quan hệ định lượng giữa lực điện từ với dòng điện và cảm ứng từ. Đây là cơ sở để xác định độ lớn của mômen điện từ hình thành trong các động cơ điện.

- Định luật cảm ứng điện từ là cơ sở cho việc hình thành sức điện động trong máy điện, đó cũng là cơ sở để ta có thể giải thích được các hiện tượng tự cảm và hỗ cảm trong các cuộn dây của máy điện.

- Định luật mạch từ biểu hiện mối quan hệ giữa từ thông và các đại lượng đặc trưng cho mạch từ. Đó cũng là quan hệ giữa từ thông tổng hình thành trong mạch từ của các cuộn dây và dòng điện chạy qua các cuộn dây đó.

Các định luật trên đây đều đã được nghiên cứu trong các giáo trình Vật lý, phần này chỉ nêu lại những điểm chính áp dụng cho nghiên cứu máy điện.

1.1.1. Định luật lực điện từ

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

$$F_{dt} = B \cdot i \cdot l \quad (1.1)$$

Trong đó: B – từ cảm đo bằng T (tesla);

i – dòng điện đo bằng A (ampe);

l – chiều dài hiệu dụng thanh dẫn m (mét);

F_{dt} – lực điện từ đo bằng N (niutơn).

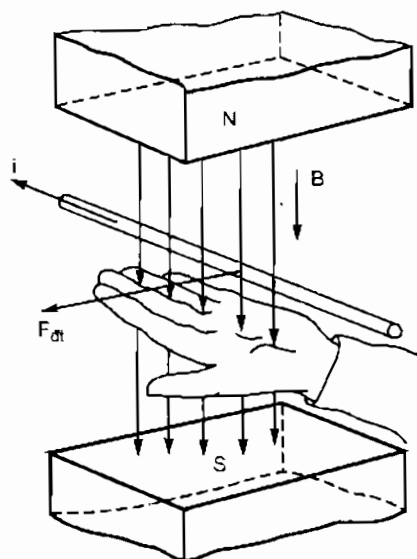
Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái (hình 1.1).

Biểu thức (1.1) đưa ra nguyên lý biến đổi năng lượng: Năng lượng điện từ đặc trưng bởi từ cảm (B) và dòng điện (i) được biến đổi thành năng lượng cơ (đặc trưng bởi lực điện từ). Dựa vào nguyên lý này người ta chế tạo ra các loại động cơ điện.

Ví dụ 1.1. Một thanh dẫn có chiều dài $l = 0,7\text{m}$ nằm trong từ trường đều $B = 1,6\text{T}$, có dòng điện chạy qua $i = 100\text{mA}$. Tính trị số của lực điện từ?

Lời giải : Trị số của lực điện từ:

$$F_{dt} = B \cdot i \cdot l = 0,7 \cdot 1,6 \cdot 0,1 = 0,112 \text{ N}$$



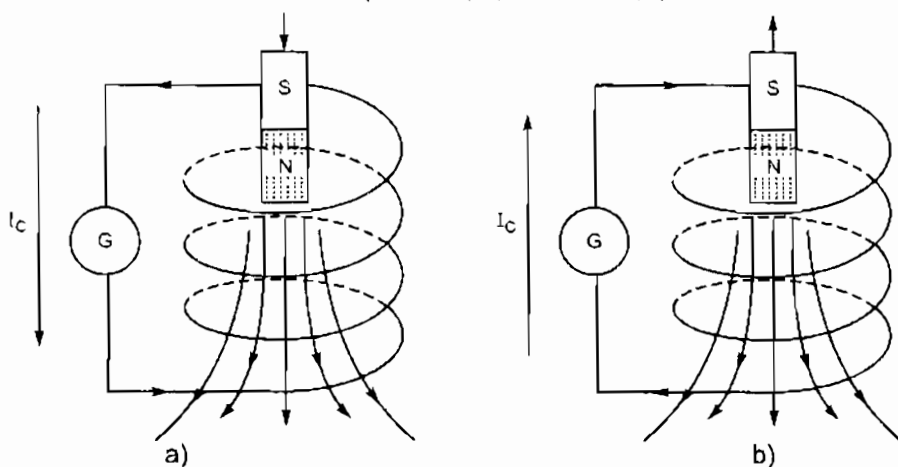
Hình 1.1. Xác định lực điện từ theo quy tắc bàn tay trái

1.1.2. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Hiện tượng cảm ứng điện từ là hiện tượng hình thành sức điện động trong thanh dẫn khi nó tương tác với từ trường biến thiên. Để có được những kết luận cơ bản về hiện tượng này ta xét lại thí nghiệm quen thuộc sau:

a) Thí nghiệm

Lấy một ống dây điện (gồm nhiều vòng dây) mắc nối tiếp nó với một điện kế G thành một mạch kín (hình 1.2a). Phía trên ống dây ta đặt một thanh nam châm có hai cực Bắc (N) và Nam (S).



Hình 1.2. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Thí nghiệm: Khi di chuyển thanh nam châm vào ống dây, kim của điện kế bị lệch đi, điều đó chứng tỏ trong ống dây xuất hiện một dòng điện. Dòng điện đó gọi là dòng điện cảm ứng, ký hiệu là I_C .

- Nếu rút thanh nam châm ra (hình 1.2b), dòng điện cảm ứng có chiều ngược lại.

- Di chuyển thanh nam châm càng nhanh, cường độ dòng điện cảm ứng I_C càng lớn.

- Giữ thanh nam châm đứng yên so với ống dây, dòng điện cảm ứng sẽ bằng không.

- Nếu thay nam châm bằng một ống dây có dòng điện chạy qua, rồi tiến hành các thí nghiệm như trên, ta cũng có những kết quả tương tự.

b) Các kết luận

Từ thí nghiệm trên, Faraday đã rút ra những kết luận sau đây:

- Từ thông đi qua mạch kín biến đổi theo thời gian là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch đó.

- Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ thông đi qua mạch kín biến đổi.

- Cường độ dòng điện cảm ứng tỷ lệ thuận với tốc độ biến đổi của từ thông.

- Chiều của dòng điện cảm ứng phụ thuộc vào sự tăng hay giảm của từ thông đi qua mạch.

1.1.3. Sức điện động cảm ứng khi dây dẫn chuyển động trong từ trường

Thí nghiệm trên đây mô tả sự hình thành dòng điện cảm ứng trong vòng dây kín. Hiện tượng cảm ứng điện từ cũng xảy ra khi một thanh dẫn hở chuyển động trong một từ trường. Do thanh dẫn hở nên trong thanh dẫn không tạo ra dòng điện nhưng giữa hai đầu của nó hình thành một chênh lệch điện thế, đó là sức điện động cảm ứng e , có trị số là :

$$e = B.l.v.\sin\alpha \quad (1.2)$$

Trong đó: B – từ cảm đo bằng T (tesla);

l – chiều dài hiệu dụng thanh dẫn (phần thanh dẫn nằm trong từ trường) đo bằng m (mét);

v – vận tốc của thanh dẫn đo bằng m/s (mét/giây);

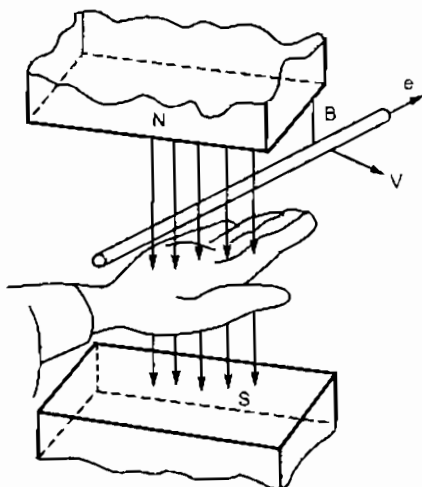
α – góc nghiêng giữa chiều vận tốc với chiều từ trường tính bằng độ ($^\circ$).

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

$$e = B.l.v \quad (1.3)$$

Chiều của sức điện động cảm ứng được xác định theo quy tắc bàn tay phải: 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 bốn ngón tay còn lại là chiều sức điện động cảm ứng (hình 1.3).

Biểu thức (1.3) đưa ra nguyên lý biến đổi năng lượng: Năng lượng cơ học (đặc trưng bởi chuyển động với vận tốc v), được biến thành năng lượng điện trường (đặc trưng bởi sức điện động). Đây là nguyên lý của các máy phát điện. Sức điện động được tạo ra theo phương pháp trên gọi là sức điện động theo nguyên lý máy phát.



Hình 1.3. Xác định sức điện động cảm ứng theo quy tắc bàn tay phải

1.1.4. Tự cảm và hồ cảm

a) Hiện tượng tự cảm

– Hiện tượng

Trong thí nghiệm Faraday (mục 1.1.2), dòng điện cảm ứng xuất hiện là do sự biến đổi từ thông đi qua tiết diện của vòng dây gây ra. Từ thông đó do từ trường bên ngoài tạo nên.

Bây giờ, nếu ta làm thay đổi cường độ dòng điện sẵn có trong mạch để từ thông do chính dòng điện đó sinh ra và đi qua tiết diện của vòng dây thay đổi, thì trong mạch cũng xuất hiện một dòng điện cảm ứng, phụ thêm vào dòng điện chính sẵn có của mạch. Dòng điện cảm ứng này gọi là dòng điện tự cảm. Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng tự cảm.

– Sức điện động tự cảm

Nếu dòng điện i qua cuộn dây biến thiên, thì từ thông móc vòng Ψ cũng biến thiên, và trong cuộn dây xuất hiện sức điện động cảm ứng. Đó là hiện tượng tự cảm, sức điện động sinh ra gọi là sức điện động tự cảm. Sức điện động tự cảm là sức điện động cảm ứng trong dây dẫn do chính dòng điện qua dây dẫn biến thiên sinh ra.

Sức điện động tự cảm ký hiệu là e_L . Từ công thức Mắcxoen, ta có:

$$e_L = - \frac{\Delta \Psi}{\Delta t} \quad (1.4)$$

Ở đây, $\Delta\Psi = L\Delta i$ là số gia biến thiên từ thông móc vòng, ứng với dòng điện biến thiên một lượng Δi (L là hệ số tự cảm). Thay $\Delta\Psi$ vào trên:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (1.5)$$

Nghĩa là, sức điện động tự cảm trong cuộn dây tỷ lệ với hệ số tự cảm và với tốc độ biến thiên dòng điện, nhưng ngược dấu.

Ví dụ 1.2. Khi đóng mạch cấp dòng điện vào một cuộn dây, dòng điện tăng từ 0 đến giá trị $i = 10A$ trong thời gian $0,1s$. Tìm sức điện động tự cảm sinh ra trong cuộn dây, biết hệ số tự cảm là $0,025H$.

Lời giải: Trong thời gian $\Delta t = 0,1s$ dòng điện tăng một lượng là $\Delta i = 10A$, trị số sức điện động tự cảm là:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -0,025 \frac{10}{0,1} = -2,5 \text{ V}$$

Sức điện động tự cảm có giá trị âm, tức ngược chiều với dòng điện.

b) Hồ cảm

- Từ thông hồ cảm và hệ số hồ cảm

Giả sử có hai cuộn dây đặt gần nhau (hình 1.4). Khi cuộn dây thứ nhất có dòng điện i_1 chạy qua, ngoài từ thông móc vòng qua chính nó (từ thông móc vòng tự cảm) Ψ_1 , còn có một phần móc vòng qua cuộn thứ hai Ψ_{12} , gọi là từ thông móc vòng hồ cảm của cuộn thứ nhất sang cuộn thứ hai. Các từ thông móc vòng này tỷ lệ với số vòng dây và phụ thuộc vào vật liệu và cấu tạo mạch từ. Khi mạch từ chưa bão hòa nó tỷ lệ với dòng điện. Dòng điện i_1 càng lớn thì từ thông móc vòng Ψ_{12} càng lớn, tức là Ψ_{12} tỷ lệ với dòng điện i_1 :

$$\Psi_{12} = M i_1 \quad (1.6)$$

Ở đây, hệ số tỷ lệ M đặc trưng cho quan hệ từ giữa hai cuộn dây, gọi là hệ số hồ cảm giữa hai cuộn dây.

Ngược lại, nếu cuộn thứ hai có dòng điện i_2 , thì ngoài thành phần từ thông móc vòng tự cảm Ψ_2 , còn có một thành phần móc vòng qua cuộn thứ nhất Ψ_{21} , gọi là từ thông móc vòng hồ cảm của cuộn thứ hai sang cuộn thứ nhất :

$$\Psi_{21} = M i_2 \quad (1.7)$$

-Hiện tượng hồ cảm

Nếu dòng điện i_1 biến thiên thì từ thông hồ cảm Ψ_{21} biến thiên, làm xuất hiện sức điện động cảm ứng trong cuộn thứ hai e_{12} , gọi là sức điện động hồ cảm. Giả sử trong thời gian Δt nhỏ, dòng điện biến thiên lượng Δi_1 , giả thiết M không đổi từ thông hồ cảm sẽ biến thiên một lượng là:

$$\Delta \Psi_{21} = M \Delta i_1$$

Do đó, sức điện động hồ cảm theo công thức Mắcxoen sẽ là:

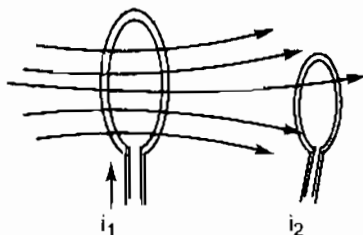
$$e_{12} = - \frac{\Delta \Psi_{12}}{\Delta t} = -M \frac{\Delta i_1}{\Delta t} \quad (1.8)$$

Ngược lại, nếu i_2 biến thiên, sẽ gây ra sự biến thiên của từ thông hồ cảm Ψ_{21} , làm xuất hiện sức điện động hồ cảm e_{21} :

$$e_{21} = - \frac{\Delta \Psi_{21}}{\Delta t} = -M \frac{\Delta i_2}{\Delta t} \quad (1.9)$$

Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng hồ cảm và các dòng điện và sức điện động cảm ứng xuất hiện trong hiện tượng này được gọi là các dòng điện và sức điện động hồ cảm.

Hiện tượng hồ cảm được ứng dụng để chế tạo máy biến áp. Đó là một thiết bị rất quan trọng trong kỹ thuật điện.



Hình 1.4. Hiện tượng hồ cảm

1.2. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI MÁY ĐIỆN

Trong quá trình khai thác và sử dụng tài nguyên thiên nhiên không thể không nói đến sự biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác.

Các máy điện thực hiện sự biến đổi năng lượng từ cơ năng sang điện năng gọi là máy phát điện. Các máy điện biến đổi ngược lại, từ điện năng ra cơ năng gọi là động cơ. Điều đó cho thấy các máy điện có tính chất thuận nghịch, nghĩa là biến đổi năng lượng theo hai chiều.

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Hiện tượng này cũng đặt cơ sở cho sự làm việc của các bộ biến đổi cảm ứng dùng để biến đổi điện năng với những giá trị thông số này (điện áp, dòng điện...) thành điện năng với những giá trị thông số khác.

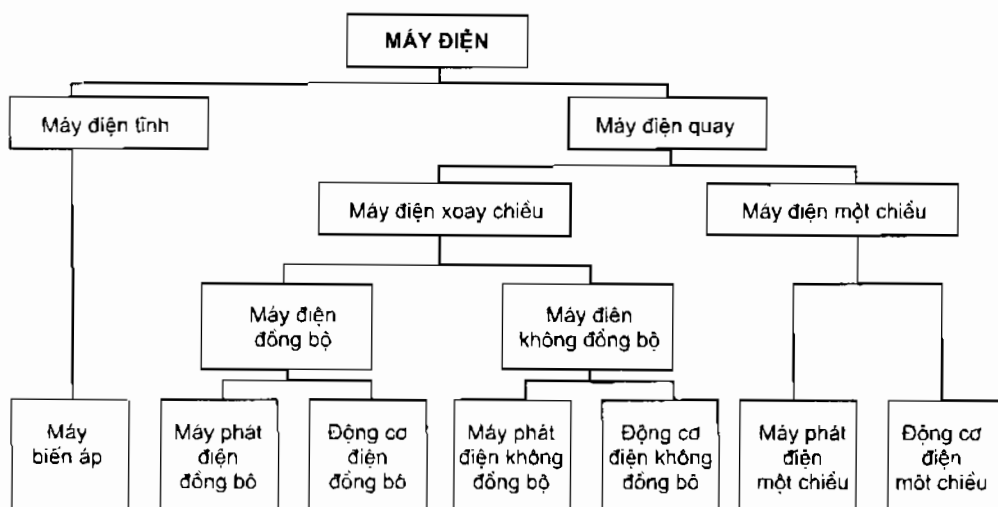
Về cấu tạo, máy điện gồm có mạch từ và mạch điện liên quan với nhau. Mạch từ gồm các bộ phận dẫn từ và khe hở không khí. Các mạch điện gồm các phần tử mạch là các cuộn dây đặt trên các phần tĩnh và động của máy điện, các dây quấn có thể chuyển động tương đối với nhau hoặc cùng với bộ phận mang chúng.

Máy điện gồm có nhiều loại được phân loại theo nhiều cách khác nhau. Ví dụ: phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng, theo loại dòng điện (một chiều, xoay chiều), theo nguyên lý làm việc ...

Dựa theo nguyên lý biến đổi năng lượng, máy điện được phân thành:

- Máy điện tĩnh: Máy biến áp.
- Máy điện quay: Tùy theo lưới điện có thể chia thành hai loại: máy điện xoay chiều và máy điện một chiều.

Máy điện xoay chiều phân thành máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ. Ta có sơ đồ phân loại máy điện như ở hình 1.5.



Hình 1.5. Sơ đồ phân loại máy điện

1.3. NGUYÊN LÝ MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN. TÍNH THUẬN NGHỊCH CỦA MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của các máy điện dựa trên cơ sở định luật cảm ứng điện từ. Sự biến đổi năng lượng trong máy điện được thực hiện thông qua từ trường. Để tạo được từ trường mạnh và tập trung người ta dùng vật liệu sắt từ để làm mạch từ.

Ở các máy biến áp mạch từ là một lõi thép đứng yên, còn trong các máy điện quay mạch từ gồm hai lõi thép đồng trục: một quay và một đứng yên và cách nhau một khe hở. Theo tính chất thuận nghịch của định luật cảm ứng điện từ máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

1.3.1. Chế độ máy phát điện

Cho cơ năng của động cơ sơ cấp tác dụng vào thanh dẫn một lực cơ học $F_{cơ}$, thanh dẫn sẽ chuyển động với tốc độ v trong từ trường của nam châm N – S, trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động e . Nếu nối vào hai cực của thanh dẫn điện trở R của tải, dòng điện i chạy trong thanh dẫn cung cấp điện cho tải. Nếu bỏ qua điện trở của thanh dẫn, điện áp đặt vào tải $u = e$. Công suất điện cung cấp cho tải là :

$$P_d = ui = ei \quad (1.10)$$

Dòng điện i nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của lực điện từ $F_{dt} = B.i.l$ có chiều như hình vẽ (1.6).

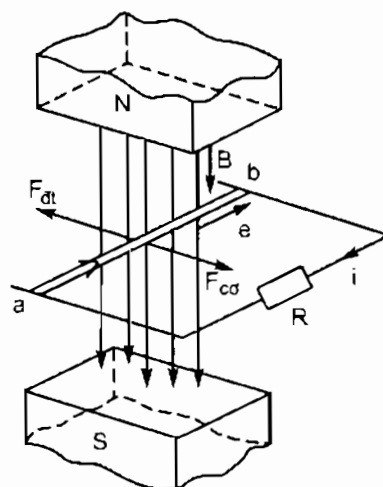
Khi máy quay với tốc độ không đổi, lực điện từ sẽ cân bằng với lực cơ của động cơ sơ cấp:

$$F_{cơ} = F_{dt} \quad (1.11)$$

Nhân hai vế với v ta có:

$$F_{cơ}.v = F_{dt}.v = B.i.l.v = ei \quad (1.12)$$

Như vậy công suất cơ của động cơ sơ cấp $P_{cơ} = F_{cơ}.v$ đã được biến đổi thành công suất điện $P_d = ei$, nghĩa là cơ năng đã biến đổi thành điện năng.



Hình 1.6. Nguyên lý làm việc của máy phát

1.3.2. Chế độ động cơ điện

Cung cấp điện cho máy điện, điện áp U của nguồn điện sẽ gây ra dòng điện i trong thanh dẫn của khung dây. Dưới tác dụng của từ trường sẽ có lực điện từ $F_{dt} = B.i.l$ tác dụng lên thanh dẫn làm thanh dẫn chuyển động với tốc độ v . Lực điện từ tác dụng lên 2 thanh dẫn của khung tạo ra ngẫu lực và hình thành mômen làm quay khung dẫn.

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

1.4. VẬT LIỆU VÀ SƠ LƯỢC KẾT CẤU MÁY ĐIỆN

1.4.1. Vai trò của vật liệu máy điện

Về cơ bản, chất lượng vật liệu cách điện của máy điện quyết định những thông số kỹ thuật của máy. Một trong những nguyên nhân chính làm cho máy điện bị hỏng là nhiệt độ tăng quá sức chịu đựng của máy. Vì công suất của máy tỷ lệ với tổn hao năng lượng tạo ra nguồn nhiệt nung nóng máy điện, nên khi nhiệt độ tăng, vật liệu thay đổi tính chất, tính cách điện giảm đi, độ bền cơ kém dần. Trong sản xuất và sử dụng máy điện, tỷ số giữa công suất của máy và thể tích P/V (hoặc giữa công suất và khối lượng P/m) là thông số được quan tâm. Xu hướng chung là người ta phấn đấu tăng tỷ số này. Nếu vật liệu cách điện mỏng, cách điện tốt, dẫn nhiệt và chịu nhiệt tốt, thì sẽ bảo đảm tăng tỷ số đó.

Vật liệu máy điện có thể chia thành ba loại:

- Vật liệu tác dụng: gồm vật liệu dẫn điện và dẫn từ, chủ yếu dùng để chế tạo dây quấn và lõi thép.
- Vật liệu cách điện: dùng để cách điện các bộ phận dẫn điện và không dẫn điện hoặc các bộ phận dẫn điện với nhau.
- Vật liệu kết cấu: dùng để chế tạo các chi tiết máy và bộ phận chịu lực tác dụng cơ giới.

1.4.2. Vật liệu tác dụng

Vật liệu tác dụng là vật liệu dẫn điện, dẫn từ và truyền chuyển động cơ. Vật liệu được dùng để dẫn điện thường là đồng, nhôm, hợp kim đồng, đôi khi là vàng, bạc và hiện nay đang có xu hướng sử dụng ngày càng nhiều các chất siêu dẫn khác nhau. Đặc trưng cơ bản của vật liệu dẫn điện là điện trở suất của vật liệu $R = (\rho.l)/S$. Khi chọn vật liệu, thông số cơ bản cần quan tâm là mật độ dòng điện ($J = i/S$). Các thông số này quyết định tổn hao đồng của máy điện.

Vật liệu dẫn từ dùng để chế tạo các bộ phận của mạch từ, người ta dùng các vật liệu sắt từ để làm mạch từ như thép lá kỹ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn, nhưng chủ yếu là thép lá kỹ thuật điện. Thép kỹ thuật điện được sản xuất theo công nghệ đặc biệt nhằm tăng các chỉ tiêu kỹ thuật, thép chứa một hàm lượng silic nhất định (từ 1 ÷ 5%) để giảm độ dẫn điện. Thép được cán thành những lá mỏng theo nhiều cách khác nhau để chúng có những tính chất từ nhất định. Những

lá mỏng này có độ dày từ 0,1mm đến 0,5mm, được sơn cách điện và ghép lại với nhau. Tùy theo cách chế tạo, thép kỹ thuật điện được phân làm hai loại: cán nóng và cán nguội. Hiện nay công nghệ chế tạo máy điện thường sử dụng thép cán nguội vì có độ từ thẩm cao hơn và suất tổn hao nhỏ hơn cán nóng. Đặc trưng cơ bản của vật liệu từ là độ từ cảm B của vật liệu. Độ từ cảm này quan hệ với dòng điện thông qua đặc tính từ hoá $B = B(i)$. Đặc tính này của các vật liệu khác nhau thì khác nhau và đặc trưng bằng độ thẩm từ μ . Đặc tính từ hoá có tính bão hoà. Đây là điều cần lưu ý khi lựa chọn vật liệu từ và phân tích quá trình làm việc của máy điện.

Thép kỹ thuật điện thường được sử dụng cho máy điện có tần số âm thanh. Với tần số cao hơn, để máy điện có thông số kỹ thuật tốt, mạch từ thường làm bằng hợp kim của sắt. Ví dụ: hợp kim sắt + niken – permaloi; hợp kim sắt + coban – petmendiur hay hợp kim sắt + niken + coban – perminvar v.v... Mạch từ máy biến áp ở tần số cao, công suất nhỏ thường làm bằng ferit là chất có tính từ tốt nhưng giòn.

1.4.3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện để cách ly các bộ phận mang điện với các bộ phận không mang điện, hoặc cách ly giữa các bộ phận dẫn điện với nhau. Những vật liệu này đòi hỏi phải có độ bền điện cao, độ dẫn nhiệt tốt, chịu ẩm, chịu được hoá chất và có độ bền cơ nhất định. Ví dụ : giấy, vải lụa, mica, sợi thủy tinh, sứ, gỗ, sơn,...

Các chất cách điện ở thể rắn có thể chia làm bốn nhóm:

- Các chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải, lụa...
- Các chất vô cơ như mica, amiăng, sợi, thủy tinh...
- Các chất tổng hợp như cao su, polietilen...
- Các loại men và sơn cách điện, các chất tẩm từ các vật liệu tự nhiên hay tổng hợp.

Trong các đặc tính của vật liệu cách điện, tính chịu nhiệt có tác dụng quyết định đối với tuổi thọ và khả năng làm việc của máy điện. Dựa theo sức chịu nhiệt, vật liệu được phân thành các cấp như bảng 1.1.

Bảng 1.1

Cấp cách điện	Y	A	E	B	F	H	C
Nhiệt độ làm việc cho phép ($^{\circ}\text{C}$)	90	105	120	130	155	180	>180

– *Cấp Y* : Nhiệt độ cho phép là 90°C , bao gồm bông, giấy, vải, tơ lụa, sợi tổng hợp, không được tẩm sấy bằng sơn cách điện.

– *Cấp A* : Nhiệt độ cho phép là 105°C , bao gồm vải sợi xenlulô, sợi tự nhiên hoặc nhân tạo được qua tẩm sấy bằng sơn cách điện.

– *Cấp E* : Nhiệt độ cho phép là 120°C , bao gồm màng vải, sợi tổng hợp gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp B* : Nhiệt độ cho phép là 130°C , bao gồm các vật liệu gốc mica, sợi thủy tinh hoặc amiăng được liên kết bằng sơn hoặc nhựa gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp F* : Nhiệt độ cho phép là 155°C , giống như loại B nhưng được tẩm sấy và kết dính bằng sơn hoặc nhựa tổng hợp có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp H* : Nhiệt độ cho phép là 180°C , giống như cấp B nhưng dùng sơn tẩm sấy hoặc chất kết dính gốc silic hữu cơ hoặc các chất tổng hợp có khả năng chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp C* : Nhiệt độ cho phép là $> 180^{\circ}\text{C}$, bao gồm các vật liệu gốc mica, thủy tinh và các hợp chất của chúng dùng trực tiếp không có chất liên kết. Các chất vô cơ có phụ gia liên kết bằng hữu cơ và các chất tổng hợp có khả năng chịu được nhiệt độ tương ứng.

1.4.4. Vật liệu kết cấu

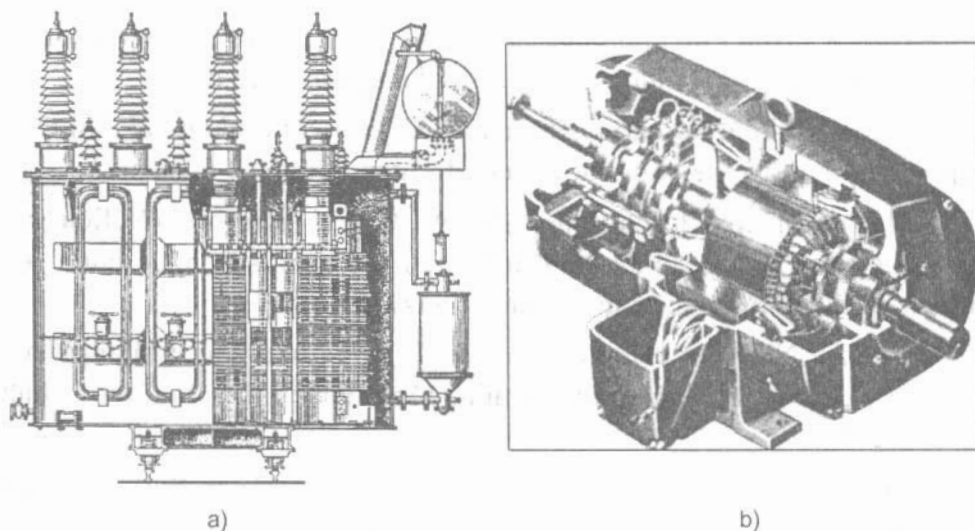
Các vật liệu này dùng để chế tạo các bộ phận và chi tiết truyền động hoặc kết cấu của máy theo các dạng cần thiết, đảm bảo cho máy điện làm việc bình thường. Người ta thường dùng gang, thép, các kim loại màu, hợp kim và các vật liệu bằng chất dẻo.

1.4.5. Sơ lược kết cấu

Máy điện bao gồm những bộ phận chính là mạch từ, mạch điện, hệ thống tản nhiệt và vỏ máy. Những máy điện quay có thêm bộ phận truyền năng lượng cơ là những ổ trục, trục quay và các khớp nối.

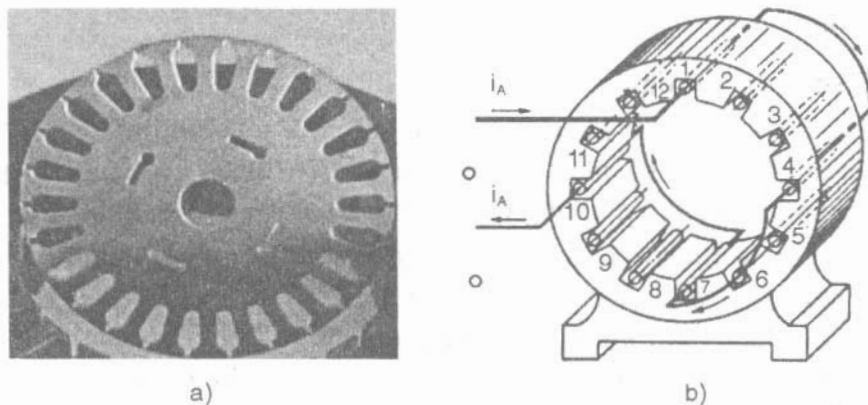
Mạch điện trong máy điện có nhiệm vụ trao đổi năng lượng điện với nguồn hoặc tải. Máy điện có hai mạch điện là mạch kích thích và mạch phản ứng. Mạch điện kích thích là nguồn sức từ động tạo nên từ trường chính trong máy. Mạch điện phản ứng là mạch điện nối với tải hoặc nguồn để trao đổi năng lượng điện. Trong máy điện quay, mạch điện kích thích được tạo bởi những cuộn dây quấn quanh lõi cực (hình 1.7b).

Trường hợp từ trường của máy tạo bởi nam châm vĩnh cửu thì máy không có mạch điện kích thích.



Hình 1.7. Sơ lược kết cấu máy điện
a) Máy biến áp; b) Máy điện quay.

Mạch điện phản ứng máy điện được tạo bởi các thanh dẫn. Các thanh dẫn này được ghép nối với nhau theo những cách nhất định. Khi máy điện làm việc, theo nguyên lý cảm ứng điện từ dòng điện mạch phản ứng tương tác với từ trường chính. Trong máy điện quay, khe hở không khí là phần có từ trở lớn nhất, khe hở không khí càng nhỏ thì từ trở của mạch từ càng nhỏ nên cuộn dây thường đặt ở chu vi phần ứng phía khe hở (hình 1.8). Để tránh biến dạng trong khi máy làm việc, các thanh dẫn được đặt dưới rãnh của mạch từ và gắn chặt bằng cơ khí.



Hình 1.8. Rãnh và dây dẫn trong rãnh

Những mạch điện ở phần quay nối với mạch điện phần không quay nhờ hệ thống vành trượt – thanh quét ở máy điện xoay chiều và hệ thống chổi than – cổ góp ở máy điện một chiều.

Nguồn sức từ động của mạch từ là dòng trong các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp. Mạch từ trong máy điện quay gồm ba đoạn : đoạn mạch không khí (khe hở giữa phần quay và phần không quay) đoạn mạch phần quay và đoạn mạch phần không quay (hình 1.7b). Nguồn sức từ động của mạch từ tạo bởi dòng điện của cuộn kích thích và của cuộn dây phản ứng. Từ trường do cuộn dây phản ứng sinh ra chính là nguyên nhân gây ra phản ứng phần ứng của máy điện.

Máy biến áp có ít nhất hai cuộn dây. Cuộn nối với nguồn được gọi là sơ cấp, cuộn nối với tải được gọi là thứ cấp. Các cuộn dây này quấn quanh mạch từ. Các cuộn dây được ghép chặt theo nghĩa điện từ, để tăng hồ cảm và được ghép chặt theo nghĩa cơ khí để chịu rung. Rung động gây ra do các lực Ampe giữa các vòng dây.

Mạch từ của máy biến áp được tạo bởi vật liệu dẫn từ. Nó có tác dụng tập trung từ trường đồng thời làm khung để đỡ cuộn dây mạch điện. Mạch từ của máy biến áp có thể phân nhánh hoặc không phân nhánh.

Khi nói về cấu trúc máy điện cần thiết phải kể tới cách điện. Trong máy điện có cách điện giữa mạch điện và mạch từ, giữa các cuộn dây mạch điện, giữa các lớp dây của một cuộn dây và giữa các vòng dây.

1.5. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

1.5.1. Đại cương

Các tổn thất trong quá trình biến đổi năng lượng của máy điện biến thành nhiệt năng làm nóng các bộ phận cấu tạo máy điện. Tổn hao nhiều khi tải tăng và máy càng nóng. Nhiệt độ máy điện còn phụ thuộc vào chế độ làm việc như : liên tục, ngắn hạn hoặc ngắn hạn lặp lại. Nếu máy tản nhiệt ra ngoài tốt, thì công suất tăng, khả năng mang tải nhiều hơn.

Các máy điện thường làm việc ở nhiều chế độ khác nhau và rất đa dạng. Sự đốt nóng của máy điện có tính chất bão hoà do sự cân bằng giữa nhiệt lượng máy điện hấp thụ và nhiệt lượng tỏa ra môi trường.

Do chế độ làm việc khác nhau nên sự phát nóng của máy điện cũng khác nhau. Vì vậy máy điện phải thiết kế theo từng chế độ cụ thể sao cho các bộ phận của máy phát nóng phù hợp với vật liệu.

Một số dạng sau đây:

α. Chế độ làm việc định mức liên tục: Ở chế độ này, nhiệt độ tăng của máy phát đạt tới giá trị xác lập (với điều kiện tăng nhiệt độ của môi trường không đổi).

β. Chế độ làm việc định mức ngắn hạn: Thời gian làm việc của máy không đủ dài để các bộ phận của máy đạt tới giá trị xác lập và sau đó thời gian máy nghỉ đủ dài để nhiệt độ hạ xuống bằng nhiệt độ môi trường xung quanh.

γ. Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại: Thời gian máy làm việc và nghỉ trong một chu kỳ không đủ dài để nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến giá trị xác lập. Chế độ này đặc trưng bằng tỷ số giữa thời gian làm việc và thời gian của một chu kỳ làm việc và nghỉ. Các tỷ số được chế tạo với 15%, 25%, 40%, 60%.

1.5.2. Phát nóng và làm nguội máy điện

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

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

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

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

1.6. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

– Những hiện tượng vật lý cơ bản:

Dòng năng lượng trong hệ thống nguồn – máy điện – tải gắn liền với hai hiện tượng năng lượng chính là biến đổi và tích phóng. Người ta phân dòng năng lượng này làm ba thành phần:

+ Thành phần truyền từ nguồn qua máy điện tới tải là thành phần cơ bản, được gọi là phần năng lượng có ích.

+ Thành phần năng lượng tích trữ trong máy điện trong thời gian máy làm việc và được trả lại nguồn khi máy ngừng hoạt động.

+ Thành phần thứ ba là phần năng lượng tiêu tán trong quá trình biến đổi và truyền năng lượng trong máy điện. Phần năng lượng này được cung cấp từ nguồn không được truyền tới tải nên được gọi là tổn hao năng lượng. Đây chính là nguồn nhiệt đốt nóng máy. Quá trình nhiệt trong máy gắn liền với một loạt các quá trình hóa lý khác, làm cho vật liệu cấu tạo nên máy điện có thể thay đổi tính chất, trạng thái... Do vậy, việc nghiên cứu máy điện không thể dừng ở nguyên lý biến đổi năng lượng mà phải tìm hiểu cả quá trình vật lý xảy ra trong máy. Trên cơ sở đó hiểu được những đặc tính của máy để sử dụng hoặc chế tạo máy điện như ý muốn.

– *Phương pháp nghiên cứu máy điện:*

Để nghiên cứu máy điện phải mô tả những quá trình vật lý trong đó. Hiện nay có hai phương pháp nghiên cứu máy điện bằng mô hình trường và phương pháp mô hình mạch. Phương pháp đầu nghiên cứu sự phân bố các đại lượng vật lý trong không gian máy điện. Phương pháp này được sử dụng nhiều trong lĩnh vực chế tạo máy điện. Phương pháp thứ hai nghiên cứu máy điện như là một phần tử của hệ thống, không chú ý nhiều tới sự phân bố của các đại lượng trong không gian. Phương pháp này được sử dụng nhiều trong lĩnh vực truyền động điện.

– *Những cơ sở lý thuyết:*

Để nghiên cứu máy điện với những hiện tượng vật lý kể trên thì cần có những kiến thức của những môn khoa học tương ứng, cụ thể là: cơ học, nhiệt học, cơ sở kỹ thuật điện...

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 1

1.1. Các bộ phận cơ bản của máy điện là gì ? Nêu chức năng của các bộ phận đó.

1.2. Giải thích những ứng dụng của các định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ trong máy điện.

1.3. Các vật liệu chính chế tạo máy điện là gì ?

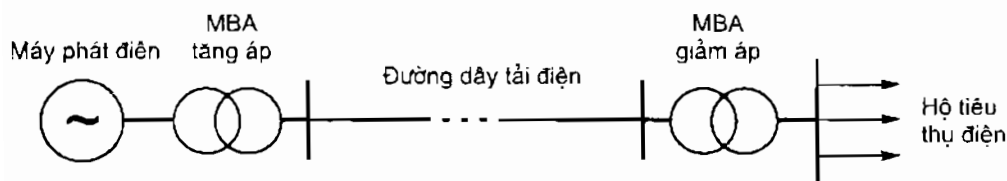
1.4. Giải thích nguyên lý thuận nghịch của máy điện.

Chương 2

MÁY BIẾN ÁP

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

Để dẫn điện từ các trạm phát điện đến hộ tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 2.1). Nếu khoảng cách giữa nơi sản xuất điện và hộ tiêu thụ lớn, một vấn đề quan trọng đặt ra và cần được giải quyết là: việc truyền tải điện năng đi xa phải làm sao cho kinh tế nhất.



Hình 2.1. Sơ đồ cung cấp điện đơn giản

Như ta đã biết, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp được tăng lên thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ giảm xuống (như vậy có thể làm tiết diện dây nhỏ đi, trọng lượng và chi phí xây dựng đường dây sẽ giảm xuống), đồng thời tổn hao năng lượng trên đường dây cũng giảm. Vì thế, muốn truyền tải công suất lớn đi xa, ít tổn hao và tiết kiệm kim loại màu, trên đường dây người ta phải dùng điện áp cao (thường là 35, 110, 220, và 500 kV...). Trên thực tế, các máy phát điện ít có khả năng phát ra những điện áp cao (thường chỉ từ 3kV đến 21kV), phải có thiết bị làm tăng điện áp ở đầu đường dây lên. Mặt khác, các hộ tiêu thụ thường yêu cầu điện áp thấp (từ 0,4 đến 6 kV), cuối đường dây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu đường dây và giảm điện áp ở cuối đường dây gọi là máy biến áp (MBA). Thực ra trong hệ thống điện lực, muốn truyền tải và phân phối công suất từ nhà máy điện đến tận các hộ tiêu thụ một cách hợp lý, thường phải qua ba, bốn lần tăng giảm điện áp. Do vậy tổng công suất của các máy biến áp trong hệ thống điện lực thường gấp ba, bốn lần công suất các trạm phát điện. Những máy biến áp dùng trong hệ thống điện lực gọi là máy biến áp điện lực hay máy biến áp công suất. Máy biến áp chỉ làm nhiệm vụ truyền tải hoặc phân phối điện năng chứ không chuyển hoá năng lượng.

2.2. CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA

Máy biến áp gồm các bộ phận chính : lõi thép, dây quấn, vỏ máy.

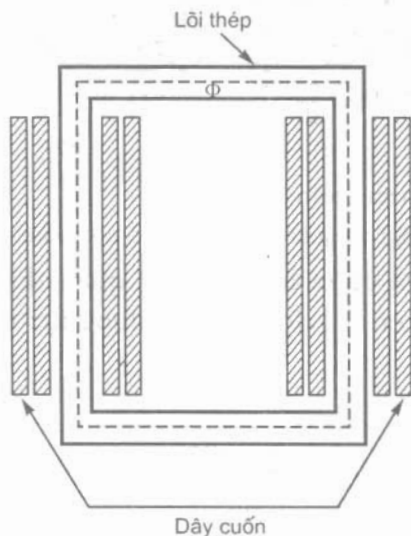
2.2.1. Lõi thép máy biến áp

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt, thường là các tấm thép kỹ thuật điện (tấm thép kỹ thuật điện dày $0,35\text{mm} \div 0,5\text{mm}$, hai mặt có sơn cách điện) ghép lại với nhau. Lõi thép dùng làm mạch dẫn từ, đồng thời làm khung để quấn dây.

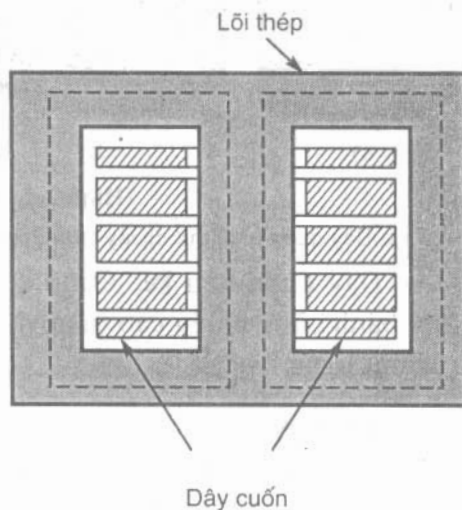
Lõi thép gồm có hai phần: trụ (T) và gông (G). Trụ là phần lõi thép có dây quấn; gông là phần lõi thép nối các trụ lại với nhau thành mạch từ kín và không có dây quấn. Theo sự sắp xếp tương đối giữa trụ, gông và dây quấn, lõi thép được chia làm hai loại: kiểu “trụ” và kiểu “bọc”.

– Lõi thép kiểu trụ (hình 2.2): Dây quấn ôm lấy trụ sắt, gông từ chỉ giáp phía trên và phía dưới dây quấn mà không bao lấy mặt ngoài của dây quấn, trụ sắt thường để đứng.

– Lõi thép kiểu bọc (hình 2.3): Mạch từ được phân nhánh ra làm hai bên và “bọc” lấy một phần dây quấn, loại này chỉ dùng trong một vài ngành chuyên môn đặc biệt như máy biến áp trong lò điện luyện kim hay máy biến áp một pha công suất nhỏ dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện, truyền thanh... Ưu điểm của loại này là cuộn sơ cấp và thứ cấp đều đặt trên một trụ, mạch từ đối xứng, hệ số từ cảm lớn. Song có nhược điểm là chế tạo phức tạp cả phần lõi sắt và dây quấn; các lá tôn silic nhiều loại, kích thước khác nhau chủ yếu ứng dụng chế tạo cho các máy biến áp lò điện có điều chỉnh điện áp bằng bán dẫn.



Hình 2.2. Lõi thép kiểu trụ



Hình 2.3. Lõi thép kiểu bọc

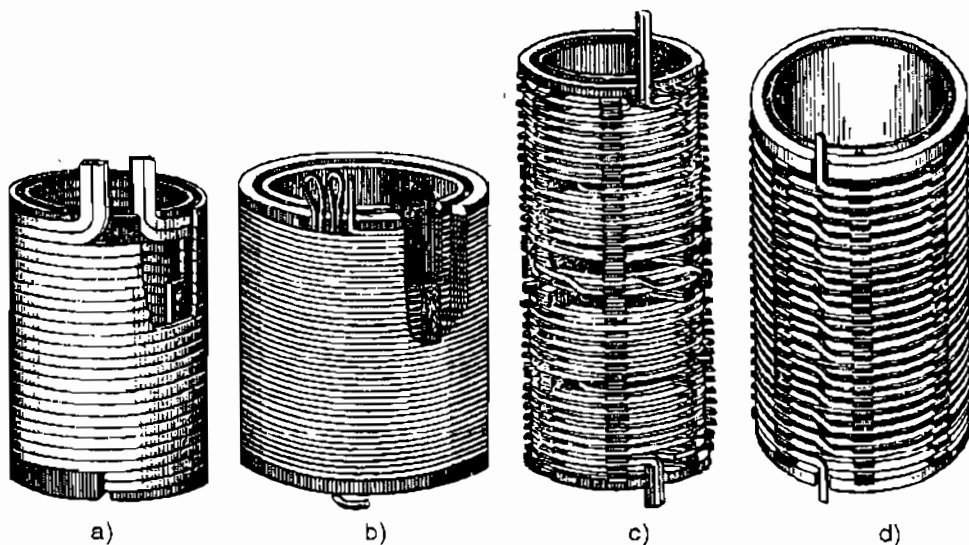
Ngoài ra còn có thể có loại trung gian giữa kiểu trụ và kiểu bọc gọi là kiểu trụ – bọc.

2.2.2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn máy biến áp là bộ phận dùng để thu nhận năng lượng vào và truyền tải năng lượng đi. Dây quấn máy biến áp thường làm bằng dây dẫn đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hay chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện. Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn và giữa dây quấn với lõi thép đều có cách điện.

Theo phương pháp bố trí dây quấn trên lõi thép có thể chia dây quấn máy biến áp thành hai kiểu chính:

– Dây quấn đồng tâm: Tiết diện ngang là những hình tròn đồng tâm và có các kiểu dây quấn hình trụ, dây quấn hình xoắn, dây quấn xoắn ốc liên tục.



Hình 2.4. Dây quấn máy biến áp

a,b) Dây quấn hình trụ; c) Dây quấn hình xoắn; d) Dây quấn đồng tâm xoắn ốc kiểu trụ.

– Dây quấn xen kẽ: Cuộn cao áp và cuộn hạ áp được quấn thành từng bánh cùng chiều cao thấp và quấn xen kẽ, do đó giảm được lực dọc trục khi ngắn mạch.

2.2.3. Vỏ máy

Vỏ máy để bảo vệ lõi thép, dây quấn và dùng để bắt các sứ vào ra. Với máy có công suất lớn thì vỏ máy còn có tác dụng chứa dầu làm mát máy, tăng cường cách điện cho máy.

2.3. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Các đại lượng định mức của máy biến áp quy định điều kiện kỹ thuật của máy. Các đại lượng này do nhà máy chế tạo quy định và thường ghi trên nhãn máy biến áp:

– *Dung lượng* hay *công suất định mức* S_{dm} là công suất toàn phần (hay biểu kiến) đưa ra ở dây quấn thứ cấp của máy biến áp, tính bằng kilôvôn – ampe (kVA) hay vôn – ampe (VA).

– *Điện áp dây sơ cấp định mức* U_{1dm} là điện áp định mức của dây quấn sơ cấp tính bằng kilôvôn (kV) hay vôn (V). Nếu dây quấn sơ cấp có các đầu phân nhánh thì người ta ghi cả điện áp định mức của từng đầu phân nhánh.

– *Điện áp dây thứ cấp định mức* U_{2dm} là điện áp dây của dây cuốn thứ cấp khi máy biến áp không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức, tính bằng kV hay V.

– *Dòng điện dây định mức sơ cấp* I_{1dm} và *thứ cấp* I_{2dm} là những dòng điện dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với công suất và điện áp định mức, tính bằng kilôampe (kA) hay ampe (A).

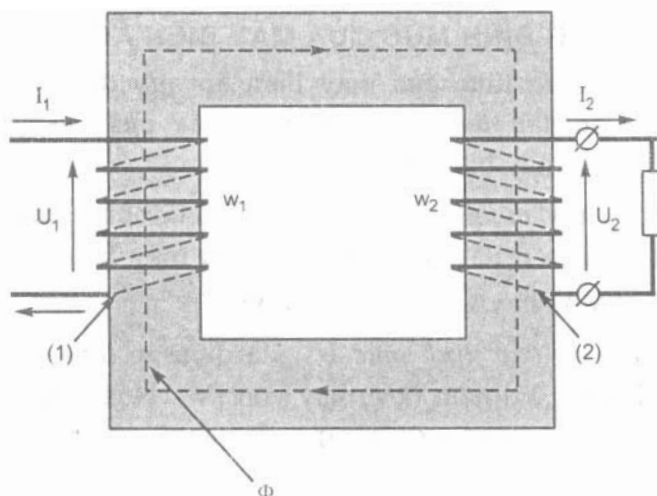
– *Tần số định mức* f_{dm} tính bằng Hz. Thường các máy biến áp điện lực có tần số công nghiệp là 50 Hz.

Ngoài ra trên nhãn của máy biến áp còn ghi những số liệu khác như: số pha m , sơ đồ và tổ nối dây quấn, điện áp ngắn mạch $u_n\%$, chế độ làm việc (dài hạn hay ngắn hạn), phương pháp làm lạnh...

2.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Nguyên lý làm việc của máy biến áp dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Máy biến áp biến đổi điện áp của lưới điện xoay chiều U_1 thành điện áp U_2 cho tải. Thông thường máy biến áp có hai cuộn dây. Cuộn dây nối với lưới điện được gọi là cuộn dây sơ cấp, cuộn nối với tải gọi là cuộn dây thứ cấp. Thông số của các cuộn dây cũng được gọi với những tính từ tương ứng "sơ cấp", "thứ cấp" và được ký hiệu với các chỉ số tương ứng "1", "2".

Khi ta nối dây quấn sơ cấp w_1 vào nguồn điện xoay chiều điện áp u_1 , sẽ có dòng điện sơ cấp i_1 chạy trong dây quấn sơ cấp w_1 . Dòng điện i_1 sinh ra từ thông biến thiên chạy trong lõi thép, từ thông này móc vòng (xuyên qua) đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp w_1 và thứ cấp w_2 , được gọi là từ thông chính.



Hình 2.5. Sơ đồ nguyên lý máy biến áp một pha hai dây quấn

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

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

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

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

Từ (2.1) và (2.2) cho tỷ số:

$$k = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (2.3)$$

Trong máy biến áp thường có (khi bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí) : $e_1 \approx U_1$, $e_2 \approx U_2$

$$\text{nên có thể viết: } \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (2.4)$$

Như vậy, về nguyên tắc có thể biến đổi điện áp U_1 thành điện áp U_2 (chỉ cần thay đổi số vòng dây sơ cấp và thứ cấp), tỷ số k được gọi là hệ số biến áp.

Trong máy biến áp, năng lượng dự trữ dưới dạng từ trường. Năng lượng đó có thể được tính qua mật độ năng lượng ρ_w trong mạch từ:

$$\rho_w = \frac{B^2}{2\mu} \quad (2.5)$$

Do có sự tỷ lệ $B \sim \Phi \sim U$, nên năng lượng này phụ thuộc vào điện áp nguồn. Công suất P_2 đầu ra của máy biến áp được tính bằng biểu thức sau:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (2.6)$$

Nếu U_2 và đặc tính tải $\cos \varphi_2$ không đổi thì sự thay đổi dòng I_2 sẽ dẫn tới sự thay đổi công suất vào P_1 và dòng sơ cấp I_1 .

Từ thông biến đổi theo quy luật:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

Từ (2.2) ta tính được :

$$E_2 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi \cdot \omega_2 \cdot f \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot \omega_2 \cdot f \cdot \Phi_m \quad (2.7)$$

Trong đó: E_2 – trị hiệu dụng của sức điện động e_2 ;

E_m – trị số cực đại của suất điện động;

ω_2 – số vòng dây cuộn thứ cấp;

f – tần số biến thiên của từ thông;

Φ_m – trị số cực đại của từ thông.

Công thức (2.7) biểu thị sự phụ thuộc của điện áp thứ cấp vào từ thông. Khi số vòng dây ω_2 và giá trị cảm ứng B cố định thì $U_2 \approx E_2$ phụ thuộc vào kích thước mạch từ. Dòng I_2 trong điều kiện máy có tổn hao phụ thuộc vào kích thước dây quấn mạch điện. Vậy, theo (2.6) công suất P_2 phụ thuộc vào kích thước chung của máy.

Ví dụ 2.1. Một máy biến áp có tỷ số biến áp $k = 4$. Phía sơ cấp điện áp 220V, 50Hz. Xác định điện áp thứ cấp.

Lời giải: Ta có $k = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1}{k} = \frac{220}{4} = 55V$

Ví dụ 2.2. Tỷ số vòng trên vôn của máy biến áp là 3 vòng/vôn. Điện áp thứ cấp là 360 V và số vòng dây cuộn sơ cấp là 720 vòng. Xác định điện áp sơ cấp và số vòng dây cuộn thứ cấp.

Lời giải: Vì số vòng trên vôn ở các dây quấn bằng nhau. Từ công thức (2.4) , ta có:

$$U_1 = \frac{\omega_1}{k} = \frac{720}{3} = 240 V$$

$$\omega_2 = 3.360 = 1080 \text{ vòng}$$

Ví dụ 2.3. Một MBA lý tưởng có công suất 15kVA, điện áp 2400/240V, tần số 60Hz. Tiết diện ngang lõi thép MBA là 50cm² và chiều dài trung bình của lõi là 66,67 cm. Khi nối vào dây quấn sơ cấp điện áp 2400V thì từ cảm cực đại trong lõi thép là 1,5 T. Xác định :

- Tỷ số biến áp.
- Số vòng dây của mỗi dây quấn.

Lời giải : a) Tỷ số biến áp

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2400}{240} = 10$$

- Số vòng dây của mỗi dây quấn

Từ thông cực đại trong lõi thép :

$$\Phi_m = B_m S = 1,5 \cdot 50 \cdot 10^{-4} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

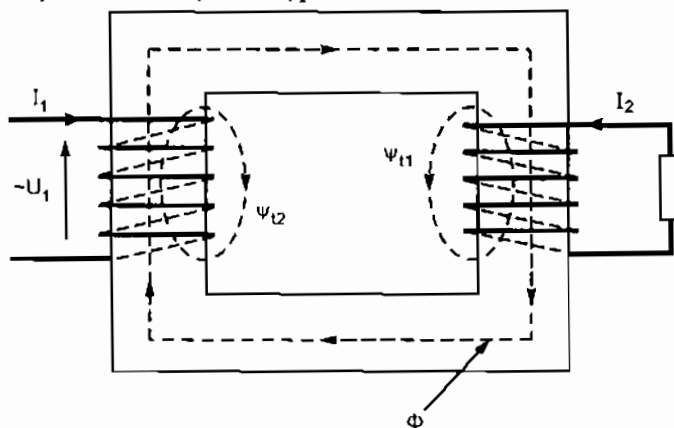
Số vòng của dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp :

$$E_1 = 4,44 w_1 \Phi_m f \Rightarrow w_1 = \frac{E_1}{4,44 f \Phi_m} = 1201 \quad (\text{vòng})$$

$$w_2 = w_1 / 10 = 120 \quad (\text{vòng})$$

2.5. MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Trong các mạch điện có chứa máy biến áp như một phần tử của mạch điện. Để tiến hành phân tích mạch cần phải có mô hình của máy biến áp. Mô hình được xây dựng dựa trên các định luật về mạch điện và các hiện tượng điện từ. Có hai loại mô hình là mô hình toán tổng quát mô tả quá trình điện từ ở mọi chế độ dưới dạng các phương trình vi phân và mô hình mạch ở chế độ xác lập.



Hình 2.6. Từ trường máy biến áp

Hình 2.6 mô tả sơ lược hình ảnh từ trường của máy biến áp. Từ thông trong máy biến áp bao gồm nhiều thành phần. Do độ dẫn từ của mạch từ hữu hạn nên một số đường sức khép mạch một phần qua không khí. Có đường sức khép qua cả hai cuộn dây, và có đường sức chỉ khép mạch qua một, hai vòng dây, kết quả là từ thông qua mỗi vòng dây là khác nhau. Tuy nhiên, khi chỉ quan tâm tới sức điện động hay điện áp trên hai đầu của một cuộn dây người ta phân từ thông trong máy biến áp ra làm hai thành phần. Từ thông chính hay từ thông hổ cảm và từ thông tản, hay từ thông tự cảm.

Từ thông chính tạo bởi các đường sức khép kín trong mạch từ, móc vòng qua tất cả các vòng dây của hai cuộn, sơ cấp và thứ cấp. Từ thông tự cảm tạo bởi các đường sức móc vòng qua tất cả các vòng dây của một trong hai cuộn và khép mạch một phần qua không khí, thành phần này càng nhỏ nếu độ dẫn từ càng cao. Theo lý thuyết mạch, sức từ động tạo nên từ thông hổ cảm là:

$$F = w_1 I_1 - w_2 I_2 = \Phi \cdot R_M \quad (2.8)$$

Trong đó R_M là từ trở của mạch từ.

Từ thông tự cảm sơ cấp do dòng sơ cấp tạo nên và bằng:

$$\psi_{11} = \frac{w_1 i_1}{R_{L1}} \quad (2.9)$$

Và từ thông tự cảm thứ cấp do dòng thứ cấp tạo nên và bằng:

$$\psi_{12} = \frac{w_2 i_2}{R_{L2}} \quad (2.10)$$

Trong đó R_{L1} và R_{L2} – từ trở của mạch từ tự cảm, mạch từ này có đoạn mạch không khí nên được coi là mạch tuyến tính.

Mạch từ có từ thông hổ cảm là mạch phi tuyến. Do hai loại mạch từ trên có độ dẫn từ rất khác nhau nên thường giá trị của Φ rất lớn so với ψ_{11} và ψ_{12} .

Với mạch tuyến tính có thể viết công thức:

$$w_1 \psi_{11} = L_1 i_1 \quad (2.11)$$

$$w_2 \psi_{12} = L_2 i_2 \quad (2.12)$$

Những từ thông trên biến thiên theo thời gian nên cảm ứng những sức điện động trong cuộn sơ cấp và thứ cấp:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad ; \quad e_{11} = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (2.13)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} ; \quad e_{12} = -L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (2.14)$$

Trong đó: $e_1 + e_{11}$ – sức điện động trong cuộn sơ cấp;

$e_2 + e_{12}$ – sức điện động trong cuộn thứ cấp.

Phương trình điện áp trong mạch sơ cấp và thứ cấp viết theo định luật Kiết hốp có dạng:

$$U_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1 \quad (2.15)$$

$$e_2 = i_2 r_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + U_2 \quad (2.16)$$

Những phương trình (2.15) và (2.16) bao hàm ý sau: đối với nguồn thì máy biến áp là máy thu năng lượng, đối với tải máy biến áp lại là nguồn phát năng lượng. Suất điện động e_1, e_2 đặc trưng cho công suất điện từ được biến đổi và truyền từ phía nguồn sang phía tải. Hai đại lượng đó liên hệ với từ thông hồ cảm theo công thức (2.7). Để thuận tiện cho việc mô tả bằng mô hình mạch người ta thường thay đại lượng $\Phi.R_M$ trong công thức 2.8 bằng một lượng $w_1 i_m$ (i_m là đại lượng dùng trong tính toán, được gọi là dòng từ hoá), nó không có ý nghĩa vật lý. Do đó phương trình (2.8) có dạng

$$w_1 i_1 - w_2 i_2 = w_1 i_m \quad (2.17)$$

Hệ ba phương trình (2.15), (2.16), (2.17) mô tả đầy đủ các quá trình năng lượng cơ bản của máy biến áp. Hệ phương trình này được gọi là mô hình toán của máy biến áp. Dựa vào mô hình này ta có thể phân tích máy biến áp bằng giải tích. Trong thực tế người ta chỉ dùng mô hình này khi phân tích máy biến áp ở chế độ quá độ. Khi các đại lượng dòng áp biến thiên theo thời gian không ổn định, cần sử dụng các phương trình vi phân để xét. Ở chế độ cân bằng xác lập, các đại lượng dòng áp là đại lượng hình sin. Để nghiên cứu máy biến áp ở chế độ xác lập người ta thường dùng mô hình toán ở dạng phức hoặc dùng đồ thị vectơ.

Quan hệ phi tuyến chỉ xuất hiện khi mạch từ bão hòa. Mô hình toán của máy biến áp khi đó được viết dựa trên định luật Kiết hốp cho các đại lượng phức có dạng:

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + j\dot{I}_1 X_1 - \dot{E}_1 \quad (2.18)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + R_2 \dot{I}_2 + j\dot{I}_2 X_2 \quad (2.19)$$

$$\dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_m w_1 \quad (2.20)$$

Dấu (-) ở công thức 2.20 do \dot{I}_1 và \dot{I}_2 ngược pha.

Để gọn hơn ta thay: $Z_1 = R_1 + j\omega L_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở phức dây quấn sơ cấp; $Z_2 = R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jX_2$ là tổng trở phức dây quấn thứ cấp.

Thay vào (2.18), (2.19) và (2.20) sẽ có dạng:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1 \quad (2.21)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.22)$$

$$\dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_m w_1 \quad (2.23)$$

Mô hình toán mô tả các quá trình dòng áp của mạch sơ cấp và thứ cấp máy biến áp. Quá trình năng lượng ở hai mạch do quan hệ với nhau thông qua mạch từ, đặc trưng bởi phương trình cân bằng sức từ động.

2.6. MÔ HÌNH MẠCH Ở CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

Các phương trình trong mô hình toán phản ánh đầy đủ các quá trình năng lượng trong máy biến áp. Việc xây dựng mô hình mạch là tìm một mạch điện mô tả đúng các quá trình năng lượng đó, công việc đó có thể xuất phát từ các phương trình (2.21), (2.22) và (2.23). Xét phương trình (2.22), phương trình này ứng với một mạch điện hình 2.7, trong đó mỗi phần tử mạch phản ánh một quá trình năng lượng như đã xét ở cơ sở lý thuyết mạch.

Công suất toàn phần trong hình đó là:

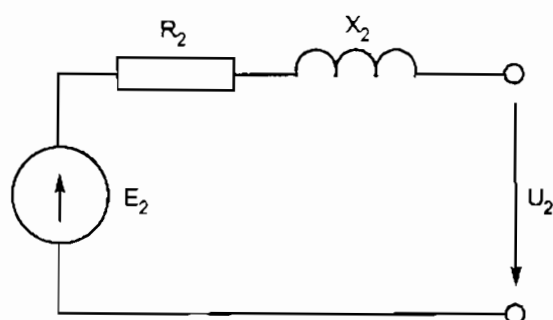
$$S_2 = E_2 I_2 \quad (2.24)$$

Quá trình năng lượng đó sẽ không thay đổi nếu thay E_2 bằng:

$$E_2' = k \cdot E_2 \quad (2.25)$$

Và dòng I_2 bằng:

$$I_2' = \frac{I_2}{k} \quad (2.26)$$



Hình 2.7. Mô hình mạch

Với k là một số hữu hạn lớn hơn 0. Để xây dựng mô hình mạch cho máy biến áp người ta chọn $k = \frac{w_1}{w_2}$.

Thay những giá trị theo công thức (2.25), (2.26) vào phương trình (2.22) ta được:

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + Z'_2 \dot{I}'_2 \quad (2.27)$$

Để tìm Z'_2 và U'_2 có thể trở lại phương trình (2.22). Nhân hai vế phương trình với k ta được:

$$k \dot{E}_2 = k \cdot \dot{U}_2 + k Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.28)$$

Tiếp theo, lấy số hạng thứ hai của vế phải nhân và chia cho k sẽ được:

$$k \dot{E}_2 = k \cdot \dot{U}_2 + k^2 Z_2 \frac{\dot{I}_2}{k} \quad (2.29)$$

So sánh (2.29) với (2.27) trong điều kiện có (2.25) và (2.26) ta tìm thấy:

$$Z'_2 = k^2 \cdot Z_2; \quad R'_2 = k^2 \cdot R_2; \quad X'_2 = k^2 \cdot X_2; \quad U'_2 = k \cdot U_2$$

Chia hai vế của (2.23) cho w_1 ta sẽ được phương trình tương đương:

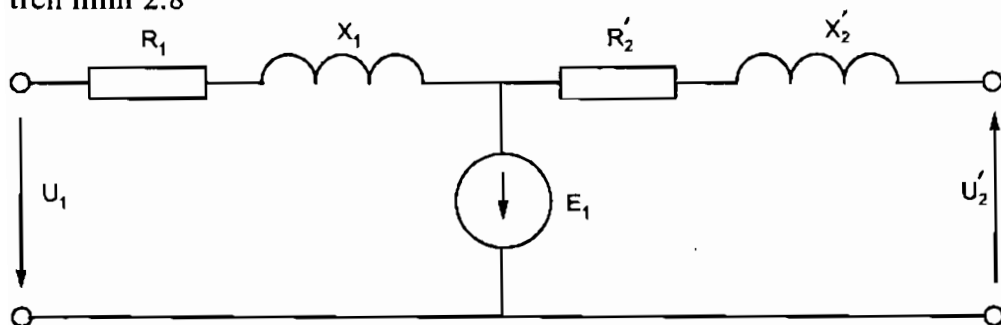
$$\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}_m \quad (\text{với } k = \frac{w_1}{w_2})$$

Đặt $\frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}'_2$, ta có: $\dot{I}_1 - \dot{I}'_2 = \dot{I}_m$ (2.30)

Ta được hệ mới tương đương với mô hình toán của máy biến áp:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1 \\ \dot{E}_1 = \dot{E}'_2 = \dot{I}'_2 Z'_2 + \dot{U}'_2 \\ \dot{I}_m = \dot{I}_1 - \dot{I}'_2 \end{cases} \quad (I)$$

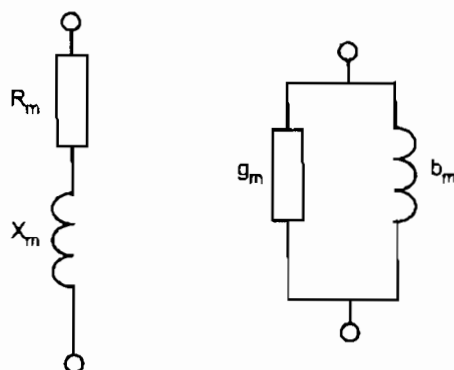
Hệ phương trình (I) ứng với một mạch điện, đó chính là mô hình mạch của máy biến áp. Mô hình mạch của máy biến áp được biểu diễn trên hình 2.8



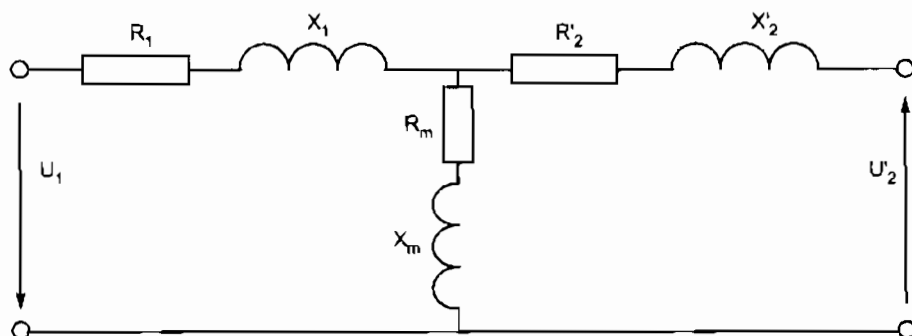
Hình 2.8. Mô hình mạch tương đương của máy biến áp

Quan hệ giữa E_1 và i_m là quan hệ giữa sức điện động và dòng điện kích từ của một cuộn dây lõi thép. Theo lý thuyết mạch, cuộn dây lõi thép có mô hình mạch như hình vẽ 2.9.

Hình 2.9. Mô hình mạch của cuộn dây lõi thép



Như vậy ta có thể mô tả máy biến áp bằng mạch điện hình 2.10. Trong đó mỗi phần tử mạch mô tả một hiện tượng năng lượng của máy biến áp.



Hình 2.10. Mô hình mạch tương đương của máy biến áp khi thay nguồn E_1

Dễ dàng nhận thấy rằng nhánh $R_m - X_m$ là nhánh phi tuyến. Hai nhánh $R_1 - X_1$ và $R'_2 - X'_2$ trong những điều kiện bình thường có thể coi là tuyến tính.

Từ mô hình mạch có thể thấy rõ những mối quan hệ giữa các đại lượng trong máy. Khi mà $E_1 \approx U_1$ thì có thể coi giá trị R_m và X_m không thay đổi trong quá trình làm việc của máy với điều kiện điện áp lưới không thay đổi. Với giả thiết đó mô hình mạch của máy biến áp được coi là tuyến tính.

2.7. CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

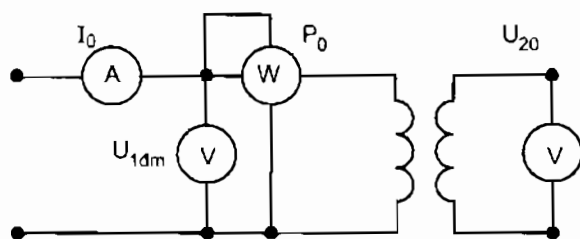
Máy biến áp thường làm việc ở trạng thái có tải, có trường hợp non tải hoặc không tải. Ngoài ra, chúng ta tìm hiểu thêm trạng thái ngắn mạch của máy biến áp.

2.7.1. Trạng thái làm việc không tải

Trạng thái làm việc không tải là trạng thái mà phía sơ cấp nối với nguồn, phía thứ cấp hở mạch.

Trong phần nguyên lý làm việc của máy biến áp ta đã xét khi phía thứ cấp hở mạch, dòng điện không tải $I_0 = (3 \div 10)\%I_{dm}$. Mặc dù ở phía thứ cấp không tiêu thụ công suất, nhưng máy vẫn tiêu hao công suất bằng tổn hao sắt từ. Tổn hao sắt từ được xác định như thí nghiệm hình 2.11.

Công suất do máy tiêu thụ lúc không tải P_0 gồm tổn hao trong lõi thép p_{fe} và tổn hao đồng trên điện trở dây quấn sơ cấp p_{cu1} . Khi không tải tổn hao đồng là rất nhỏ so với tổn hao thép. Tổn hao đồng trên sơ cấp có thể bỏ qua vì dòng từ hoá rất nhỏ. Vì vậy, tổn hao không tải là tổn hao sắt từ.



Hình 2.11. Sơ đồ thí nghiệm không tải máy biến áp

2.7.2. Trạng thái làm việc ngắn mạch

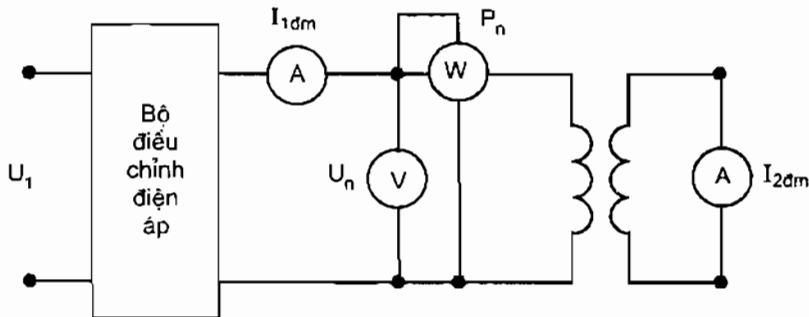
a) Trạng thái ngắn mạch lúc vận hành

Trong vận hành, do nhiều nguyên nhân có thể làm cho máy biến áp bị ngắn mạch. Ví dụ: Hai dây dẫn điện ở phía thứ cấp chạm vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng tổng trở rất nhỏ. Đặc điểm của chế độ ngắn mạch là dòng điện ngắn mạch qua máy biến áp rất lớn $(10 \div 20)I_{dm}$ nên có thể làm cháy dây quấn. Ngắn mạch dạng này là ngắn mạch sự cố có thể làm hỏng MBA.

Để bảo vệ máy khi bị ngắn mạch, người ta sử dụng rơle có tác dụng cắt dòng điện ở cuộn sơ cấp khi thứ cấp bị ngắn mạch (thời gian cắt rất nhanh, khoảng 5% giây).

b) Ngắn mạch thí nghiệm

Trong khai thác sử dụng để đo tổn hao đồng của máy biến áp ta tiến hành thí nghiệm ngắn mạch. Chủ động chập cuộn dây thứ cấp lại bằng 1 ampe kế. Đưa vào sơ cấp một điện áp vừa đủ để cho dòng điện qua hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp đều là dòng điện định mức, điện áp này là điện áp ngắn mạch của máy ($U_{nm} = 3\% \div 8\% U_{dm}$). Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp như hình 2.12.



Hình 2.12. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp

Đo tổn hao đồng như thí nghiệm trên hình 2.12. Oát kế chỉ thị tổn hao đồng ở máy biến áp khi dòng định mức. Vì dây quấn thứ cấp ngắn mạch, điện áp sơ cấp lúc này rất nhỏ so với điện áp định mức. Do vậy, từ thông cần thiết để tạo nên sức điện động là nhỏ và dòng điện tạo nên từ thông này là rất nhỏ. Khi giá trị điện áp $U_n = 10\% U_{dm}$ thì dòng điện xoáy giảm 10% dòng định mức, lúc này tổn hao do dòng điện xoáy bằng 1% so với bình thường. Vì lý do đó, công suất đo được là công suất của tổn hao đồng. Giá trị của điện áp ngắn mạch là đặc trưng đánh giá tổn hao đồng của MBA.

Tổn hao đồng cũng có thể được xác định bằng phương pháp đo điện trở dây quấn, tỷ số điện áp và tỷ số dòng điện. Tại tần số công nghiệp, sự ảnh hưởng này là không đáng kể. Do đó, việc đo điện trở và tỷ số dòng điện có thể được xác định để đo điện trở của dây quấn.

2.7.3. Trạng thái làm việc có tải

Là trạng thái làm việc bình thường của máy khi máy mang tải, điện áp thứ cấp U_2 nhỏ hơn điện áp lúc không tải ($U_2 < U_{20}$). Độ biến thiên điện áp ΔU lớn hay nhỏ phụ thuộc vào phụ tải và điện áp ngắn mạch của

$$\text{máy: } \Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100 \quad (2.31)$$

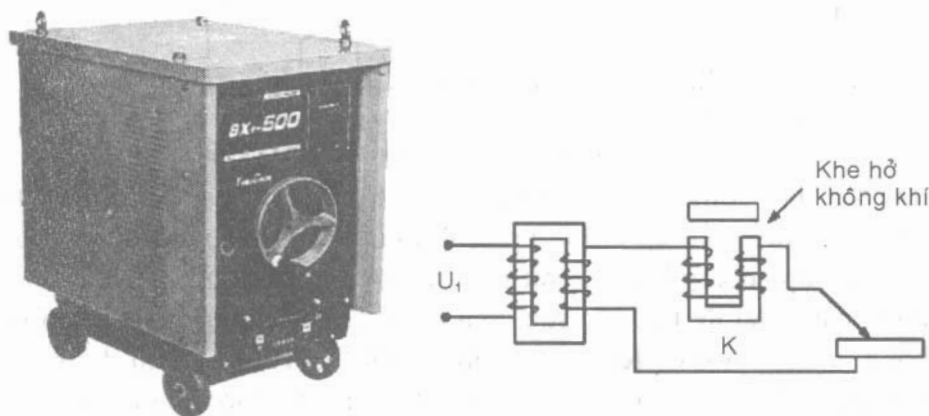
Độ lệch ΔU còn phụ thuộc vào tính chất của tải (điện cảm hay điện dung).

Khi phụ tải càng lớn thì ΔU càng tăng nghĩa là điện áp thứ cấp càng giảm.

Khi máy biến áp làm việc quá tải, không những máy bị nóng mà điện áp thứ cấp đặt lên phụ tải giảm nhiều, chất lượng điện kém đi, để điều chỉnh được điện áp khi phụ tải thay đổi người ta chế tạo máy biến áp có thể thay đổi số vòng dây.

2.8. MỘT SỐ LOẠI MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

2.8.1. Máy biến áp hàn hồ quang



Hình 2.13. Máy biến áp hàn hồ quang

Chế độ ngắn mạch là chế độ làm việc đặc trưng của biến áp hàn. Các máy biến áp hàn hồ quang được chế tạo sao cho có đặc tính ngoài $U_2 = f(I_2)$ rất dốc để hạn chế được dòng ngắn mạch và đảm bảo cho hồ quang được ổn định. Muốn điều chỉnh dòng điện hàn cần phải có thêm một cuộn cảm phụ có điện kháng thay đổi được bằng cách thay đổi khe hở không khí δ của lõi thép của cuộn cảm (xem hình 2.13).

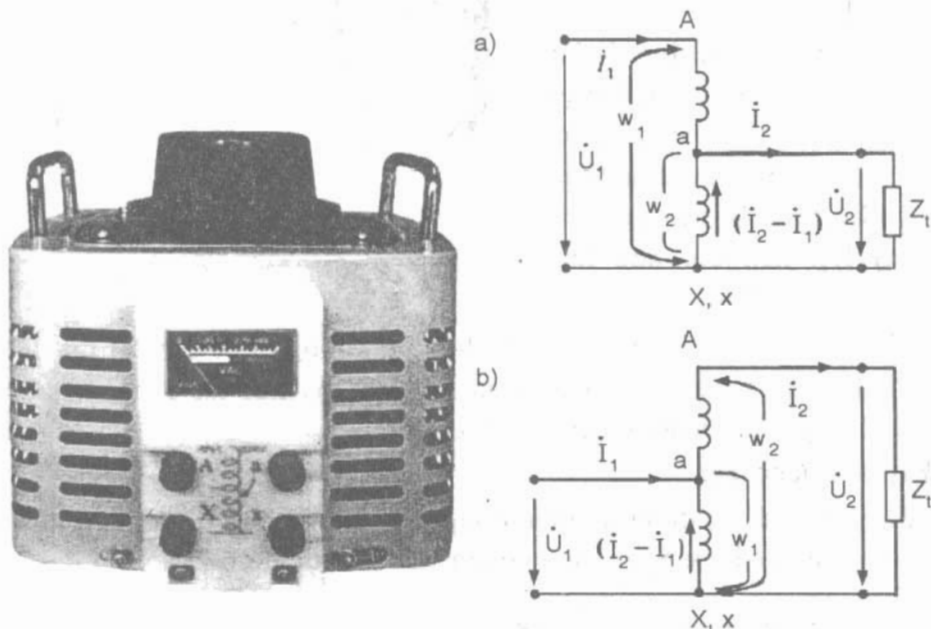
Máy biến áp hàn hồ quang thường có điện áp không tải bằng $60 \div 70 \text{ V}$ và điện áp ở tải định mức bằng 30 V .

2.8.2. Máy biến áp tự ngẫu

Trong trường hợp điện áp của các lưới điện sơ cấp và thứ cấp khác nhau không nhiều, nghĩa là tỷ số biến đổi điện áp nhỏ, để được kinh tế

hơn về chế tạo và vận hành người ta dùng máy biến áp tự ngẫu thay cho máy biến áp hai dây quấn.

Về cấu tạo và nguyên lý làm việc, máy biến áp tự ngẫu chỉ khác máy biến áp hai dây quấn ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Trong máy biến áp tự ngẫu giảm áp, dây quấn thứ cấp là bộ phận của dây quấn sơ cấp (hình 2.14a). Trong máy biến áp tự ngẫu tăng áp, dây quấn sơ cấp là bộ phận của dây quấn thứ cấp (hình 2.14b).



Hình 2.14. Máy biến áp tự ngẫu

Từ sơ đồ cho thấy, sự truyền tải năng lượng trong máy biến áp tự ngẫu gồm hai lượng công suất là công suất truyền tải trực tiếp và công suất hồ cảm. Vì thế máy biến áp tự ngẫu có ưu điểm hơn máy biến áp hai dây quấn, với cùng kích thước máy biến áp tự ngẫu truyền qua công suất nhiều hơn, hiệu suất cao hơn, sụt áp ít hơn. Tuy nhiên, khi U_1 và U_2 chênh nhau nhiều thì ưu điểm này không đáng kể, nên máy biến áp tự ngẫu chỉ dùng khi tỷ số biến áp nhỏ hơn 3 : 1.

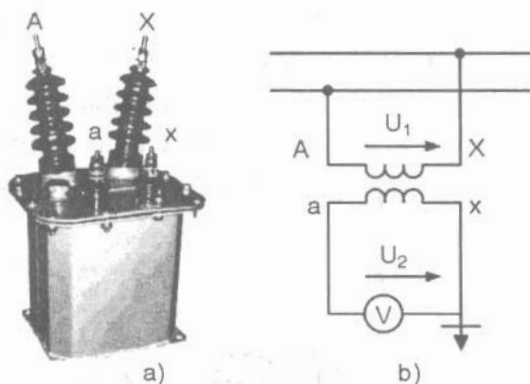
Khuyết điểm của máy biến áp tự ngẫu là cuộn sơ cấp và thứ cấp không được cách ly về điện, nên độ an toàn thấp. Ngoài ra, do điện áp ngắn mạch U_n nhỏ nên dòng ngắn mạch I_n tương đối lớn. Khi vận hành với lưới điện trung tính, máy biến áp tự ngẫu phải nối đất để đảm bảo an toàn.

2.8.3. Máy biến áp đo lường

a) Máy biến điện áp

Máy biến điện áp (hình 2.15) dùng để biến điện áp cao thành điện áp thấp, sử dụng đo lường và điều khiển. Công suất máy biến điện áp từ $25 \div 1000\text{VA}$.

Máy biến điện áp có dây quấn sơ cấp nối với lưới điện và dây quấn thứ cấp nối với Vôn mét, cuộn dây của Watt kế,... Các thiết bị này có tổng trở rất lớn nên coi như làm việc ở chế độ không tải.

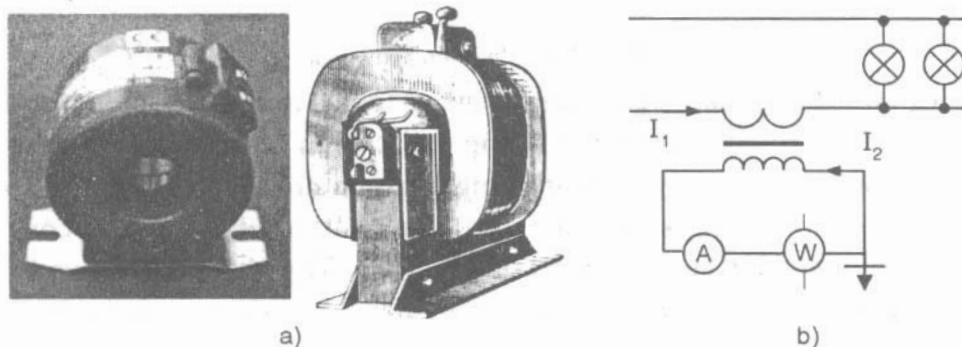


Hình 2.15. Máy biến điện áp

Chú ý : Khi sử dụng máy biến điện áp không được nối tắt mạch thứ cấp, khi nối tắt mạch thứ cấp tương đương mà nối tắt ở mạch sơ cấp nghĩa là gây sự cố ngắn mạch ở lưới điện.

b) Máy biến dòng điện

Máy biến dòng dùng để biến dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường bằng các dụng cụ tiêu chuẩn và các mục đích khác.



Hình 2.16. Máy biến dòng

Máy biến dòng điện (hình 2.16) có dây quấn sơ cấp gồm ít vòng dây mắc nối tiếp với mạch cần đo dòng và dây quấn thứ cấp gồm nhiều vòng dây nối với Ampe mét, cuộn dây dòng của Oát mét, cuộn dây của các

role bảo vệ,... Các thiết bị này có tổng trở nhỏ nên máy biến dòng làm việc ở trạng thái ngắn mạch.

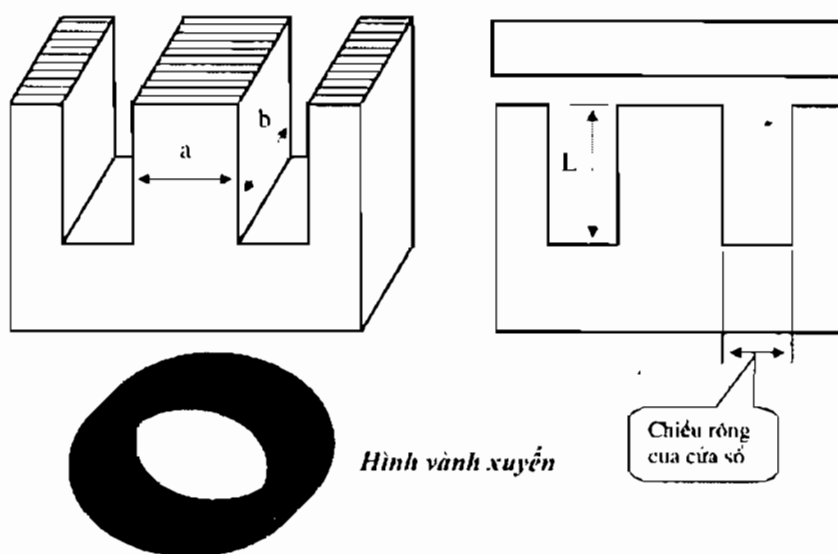
Chú ý : Khi sử dụng máy biến dòng không để dây quấn thứ cấp hở mạch vì như vậy dòng từ hoá rất lớn và lõi thép bão hoà nghiêm trọng sẽ nóng lên làm cháy dây quấn, hơn nữa khi bão hoà, từ thông ban đầu sẽ sinh sức điện động nhọn đầu, do đó ở đầu dây thứ cấp có thể xuất hiện điện áp cao hàng nghìn vôn.

2.8.4. Máy biến áp cách ly

Máy biến áp cách ly có tỷ số vòng dây 1 : 1. Mục đích sử dụng máy biến áp cách điện là cách điện nguồn phía sơ cấp khỏi mạch được nối với dây quấn thứ cấp của máy biến áp cách điện, nhưng mục đích chính của chúng là biến mức điện áp hoặc tạo nên một tổng trở tương đương.

Máy biến áp cách điện được dùng để cách điện mạch thứ cấp với đất trong hệ thống điện sơ cấp. Loại cách điện này là cần thiết vì sự an toàn của người vận hành.

2.9 TÍNH TOÁN SỐ LIỆU DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA



Hình 2.17. Kích thước cơ bản lõi thép

Tính toán, thiết kế máy biến áp trong hai trường hợp:

- Chưa có lõi thép;
- Có lõi thép.

Để tính toán, thiết kế máy biến áp cần phải có các thông số cho trước như:

- Công suất máy biến áp: P (VA) hoặc tiết diện lõi thép;
- Điện áp vào U_1 (V);
- Điện áp ra U_2 (V);
- Mật độ dòng điện cho phép: J (A/mm²);
- Hệ số cosφ;
- Tần số : f(Hz);
- Độ từ thẩm của lõi thép B (T).

2.9.1 Tính toán máy biến áp khi chưa biết lõi thép máy biến áp

Bước 1: Xác định tiết diện của lõi sắt (S)

Khi tính toán máy biến áp thì chúng ta phải biết: P; U_1 ; U_2 ; cosφ...

$$S = 1,2 \cdot \sqrt{P} \quad (\text{cm}^2)$$

Mà: $S = a \cdot b \quad (\text{cm}^2)$

Trong đó : a – chiều rộng của lõi thép.

b – chiều dài của lõi thép.

Bước 2: Tính số vòng dây sơ cấp (w_1) và thứ cấp (w_2)

Từ công thức $U = 4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \cdot w \cdot \cos\phi \cdot 10^{-8} \quad (\text{V})$

Ta có: Số vòng cuộn sơ cấp $w_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \cdot \cos\phi \cdot 10^{-4}} \quad (\text{vòng/vôn})$

Số vòng cuộn thứ cấp $w_2 = \frac{U_2}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \cdot \cos\phi \cdot 10^{-4}} \quad (\text{vòng/vôn})$

Bước 3: Tính dòng điện sơ cấp (I_1) và thứ cấp (I_2)

$$I_2 = \frac{P}{U_2 \cdot \cos\phi} \quad \text{nên} \quad I_1 = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1}$$

Bước 4: Tính tiết diện dây dẫn sơ cấp (S_1) và thứ cấp (S_2)

Tiết diện dây sơ cấp: $S_1 = \frac{I_1}{J} \quad (\text{mm}^2)$

Tiết diện dây thứ cấp: $S_2 = \frac{I_2}{J} \quad (\text{mm}^2)$

Đường kính dây sơ cấp và thứ cấp : $d_1 = 1,13 \sqrt{S_1} \quad (\text{mm})$
 $d_2 = 1,13 \sqrt{S_2}$

Khi tính tiết diện dây, nên căn cứ vào điều kiện làm việc của máy biến áp mà chọn mật độ dòng điện J cho phù hợp để khi máy biến áp vận hành định mức, dây dẫn không phát nhiệt lớn hơn 80°C .

Bảng 2.1 cho phép chọn mật độ dòng J khi thời gian làm việc của máy biến áp liên tục 24/24 giờ.

Bảng 2.1.

P(VA)	0 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1000
J(A/mm ²)	4	3,5	3	2,5	2

Chọn J theo bảng 2.2 nếu máy biến áp làm việc ngắn hạn 3 ÷ 5 giờ, thông gió tốt, vật liệu cách điện cấp A.

Bảng 2.2.

P(VA)	0 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1000
J(A/mm ²)	5 ÷ 6	4,5 ÷ 5,5	4 ÷ 5	3,5 ÷ 4,5	3 ÷ 4

Bước 5: Kiểm tra lại khoảng trống chứa dây

Trước hết, xác định cách bố trí cuộn dây sơ cấp, thứ cấp quấn chồng lên nhau hoặc quấn hai cuộn rời ra và sau khi tính được tiết diện lõi thép ta tạm chọn chiều rộng a , chiều dày b (chiều cao L thường bằng $1,5a$, chiều rộng cửa sổ bằng $0,5a$)

– Số vòng dây của 1 lớp dây của cuộn sơ cấp:

$$w_{1\text{lớp}} = \frac{L}{d_{1\text{cd}}} - 1$$

Trong đó : L chiều cao của lõi thép.

$d_{1\text{cd}}$: đường kính dây sơ cấp kể cả lớp men cách điện: $d_{1\text{cd}} = d_1 + e_{\text{cd}}$

Với dây tráng ê - may: $e_{\text{cd}} = 0,03 \div 0,08 \text{ mm}$

Với dây bọc cotton: $e_{\text{cd}} = 0,15 \div 0,4 \text{ mm}$

+ Số lớp dây ở cuộn sơ cấp: $N_{1\text{lớp}} = \frac{w_1}{w_{1\text{lớp}}}$

+ Bề dày của cuộn sơ cấp w_1 : $\varepsilon_1 = (d_{1\text{cd}} \cdot N_{1\text{lớp}}) + e_{\text{cd}}(N_{1\text{lớp}} - 1)$

– Bề dày của cuộn thứ cấp w_2 :

Cũng tính tương tự như trên, ta có: $\varepsilon_2 = (d_{2\text{cd}} \cdot N_{2\text{lớp}}) + e_{\text{cd}}(N_{2\text{lớp}} - 1)$

– Bề dày của cả bộ dây:

Mỗi 1 lớp dây đều phải lót 1 lớp cách điện và quấn hết lớp sơ cấp ta phải lót một lớp cách điện dày, sau đó mới quấn phần dây thứ cấp. Quấn

xong phần thứ cấp, ta phải lót một lớp cách điện ngoài cùng dày hơn để bảo vệ bộ dây. Vậy bề dày của cả bộ dây là: $\epsilon_1 = \epsilon_1 + \epsilon_2$

So sánh bề dày của bộ dây ϵ_1 với chiều rộng cửa sổ. Nếu nhỏ hơn thì thỏa mãn điều kiện cho phép tiến hành quấn dây. Nếu lớn hơn ta phải chọn lại các thông số a, b, L và tính toán lại bề dày như trên.

Chú ý: Để thuận tiện cho quá trình tính toán người ta dùng công thức kinh nghiệm sau:

Số vòng dây của 1 vôn là: $w = \frac{K}{S}$ (vòng /vôn)

Trong đó: S là tiết diện của lõi thép (cm²);

K là hệ số thép phụ thuộc vào độ từ cảm B (Wb/m²).

Bảng 2.3. Chọn hệ số K theo mật độ từ B

Mật độ từ B (Wb/mm ²)	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Hệ số K	64	56	50	45	41	37,5	34,5	32,4	30

Hoặc chọn:

- Nếu tôn tốt: $K = 45 \div 50$
- Nếu tôn trung bình: $K = 50 \div 55$
- Nếu tôn xấu: $K = 55 \div 60$

Sau đó tính số vòng dây cuộn sơ cấp: $w_1 = w.U$

Số vòng dây cuộn thứ cấp: $w_2 = w.(U_2 + \Delta U_2\%)$

Bảng 2.4. Độ dự trữ điện áp ΔU_2 theo công suất

P(V.A)	100	200	300	500	750	1000	1200	1500	>1500
ΔU_2 (%)	4,5	4	3,9	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0

2.9.2 Tính toán máy biến áp khi đã biết lõi thép

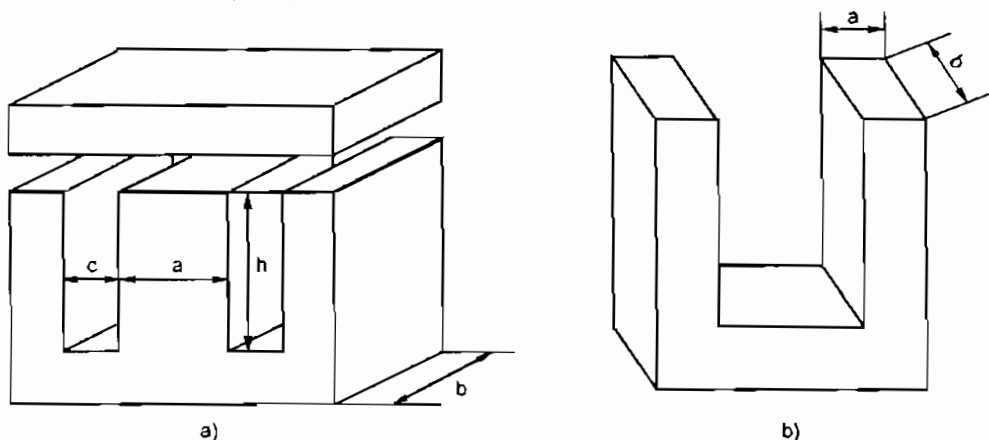
Bước 1: Xác định tiết diện thực của lõi sắt

Căn cứ vào kích thước lõi sắt a, b (hình 2.18) xác định tiết diện lõi sắt nơi quấn dây. Sau đó trừ đi phần lớp cách điện, oxit trên bề mặt lá sắt để còn lại tiết diện thực của lõi sắt bằng công thức:

$S_0 = (0,9 \div 0,93)S \text{ (cm}^2\text{)}$

Chọn $K = 0,9$ nếu bề dày lá sắt $e_{fe} = 0,35$ mm;
 $K = 0,93$ nếu bề dày lá sắt $e_{fe} = 0,50$ mm;
 $K = 0,8 \div 0,85$ nếu lá sắt bị gỉ, sét, lõi lõm.

Với $S = a.b$ (cm²)



Hình 2.18. Xác định kích thước lõi thép

Kiểm tra công suất dự tính P_{dt} đối với kích thước mạch từ S_0 . Ta có:

$$P_{dt} = U_2 \cdot I_2 \quad (V.A) \quad (2.32)$$

$$P_{cp} = \left(\frac{S_0}{1,2} \right)^2 \quad (V.A) \quad (2.33)$$

So sánh (2.32) và (2.33), nếu P_{dt} lớn hơn P_{dm} không quá 10%, thì mạch từ coi như tương ứng với công suất dự tính P_{dt} .

Bước 2: Tính số vòng dây mỗi vôn

Từ công thức $E = 4,44.f.B.S_0.w$, với $E = 1$ vôn, $f = 50$ Hz

$$\text{Ta có: } w = \frac{E.10^4}{4,44.f.B.S_0} = \frac{10^4}{4,44.50.B.S_0} \quad (\text{vòng /vôn})$$

$$\text{Rút gọn lại ta có: } w = \frac{K}{S_0} \quad (\text{vòng /vôn})$$

Trong đó: K – hằng số phụ thuộc theo B (Wb/m²);

S_0 – tiết diện thực lõi sắt (cm²).

Bước 3: Tính số vòng dây của cuộn sơ cấp w_1

$$w_1 = w.U_1$$

Bước 4: Tính số vòng dây của cuộn thứ cấp w_2

Khi tính số vòng dây của cuộn thứ cấp, cần phải dự trừ tăng thêm 1 số vòng dây, để bù trừ sự sụt áp do trở kháng cuộn thứ cấp:

$$w_2 = w_1.(U_2 + \Delta U_2)$$

Bước 5: Ước lượng hiệu suất η của máy biến áp, xác định dòng điện phía sơ cấp

Hiệu suất được chọn theo bảng sau:

Bảng 2.5. Theo Robert Kuhn

$P_2(\text{VA})$	3	10	25	50	100	1000
$\eta \%$	60	70	80	85	90	>90

Bảng 2.6. Theo Walter Kehse

$P_2(\text{VA})$	10	20	30	50	100	150	300	500
$\eta \%$	80	80	85	90	91	92	92	92,5

Bảng 2.7. Theo Newnes

$P_2(\text{VA})$	100	150	200	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3500	5000
$\eta \%$	83,5	89,3	90,5	91,2	92,5	93,5	94,1	95	95,4	95,7	95,9	98,2

Căn cứ theo các bảng số trên chọn $\eta \%$ cho máy biến áp, từ đó xác định dòng điện qua phía sơ cấp.

$$I_1 = \frac{S_2}{\eta \cdot U_1} \quad (2.34)$$

Bước 6: Tính tiết diện dây sơ cấp và thứ cấp

Khi tính tiết diện dây nên căn cứ vào điều kiện làm việc của máy biến áp, công suất, ... mà chọn mật độ dòng điện J cho phù hợp để khi máy biến áp vận hành định mức, dây dẫn không phát nhiệt quá 80°C . Chọn mật độ dòng điện J để xác định đường kính dây quấn phụ thuộc:

- Cấp cách điện vật liệu;
- Điều kiện toả nhiệt dây quấn;
- Chế độ vận hành liên tục hay ngắn hạn.

Tiết diện sơ cấp được xác định theo mật độ dòng J

$$S_1 = \frac{P_2}{\eta \cdot U_1 \cdot J} \quad (\text{mm}^2) \quad (2.35)$$

Với : η – hiệu suất của máy biến áp;

U_1 – điện áp nguồn;

Tiết diện dây thứ cấp: $S_2 = \frac{I_2}{J} \text{ mm}^2$

Căn cứ theo các số liệu tham khảo trên, chọn J và suy ra đường kính dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Gọi d_1 và d_2 là đường kính dây dẫn tròn (không tính lớp cách điện bọc quanh dây), ta có :

$$\begin{aligned} d_1 &= 1,13\sqrt{S_1} \\ d_2 &= 1,13\sqrt{S_2} \end{aligned} \quad (2.36)$$

Bước 7 : Kiểm tra lại khoảng trống chứa dây

Trước hết xác định cách bố trí cuộn dây sơ cấp và thứ cấp quấn chồng lên nhau hoặc hai cuộn rời ra. Trên cơ sở đó chọn chiều dài L của cuộn sơ cấp, thứ cấp quấn trên khuôn cách điện.

Bề dày cuộn sơ cấp

– Số vòng dây sơ cấp cho 1 lớp dây với $d_{1cd} = d_1 + e_{cd}$

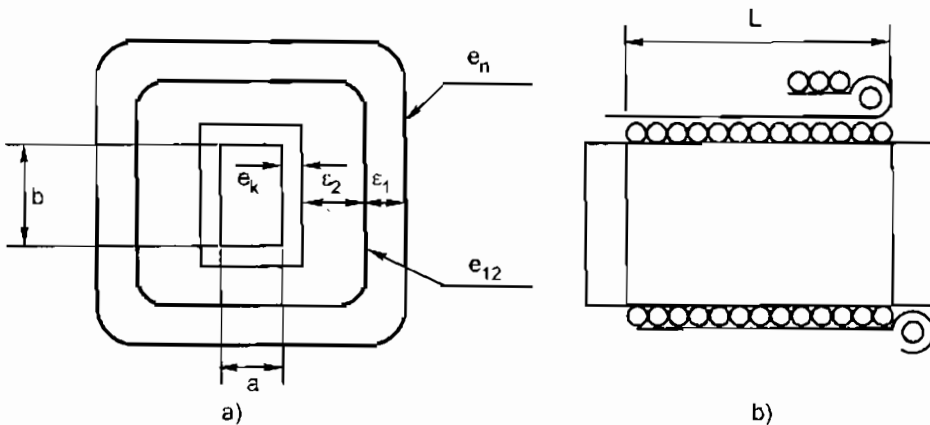
$$w_{1\text{lớp}} = \frac{L}{d_{1cd}} - 1$$

Với: – Dây tráng ê - may: $e_{cd} = 0,03 \div 0,08 \text{ mm}$

– Dây bọc cotton: $e_{cd} = 0,15 \div 0,4 \text{ mm}$

– Số lớp dây ở cuộn sơ cấp: $N_{1\text{lớp}} = \frac{w_1}{w_{1\text{lớp}}}$

– Bề dày của cuộn sơ cấp w_1 : $\varepsilon_1 = (d_{1cd} \cdot N_{1\text{lớp}}) + e_{cd}(N_{1\text{lớp}} - 1)$



Hình 2.19. Xác định kích thước khoảng chứa dây

Bề dày cuộn thứ cấp w_2 :

Tương tự như ở trên, ta có: $\varepsilon_2 = (d_{2cd} \cdot N_{2\text{lớp}}) + e_{cd}(N_{2\text{lớp}} - 1)$

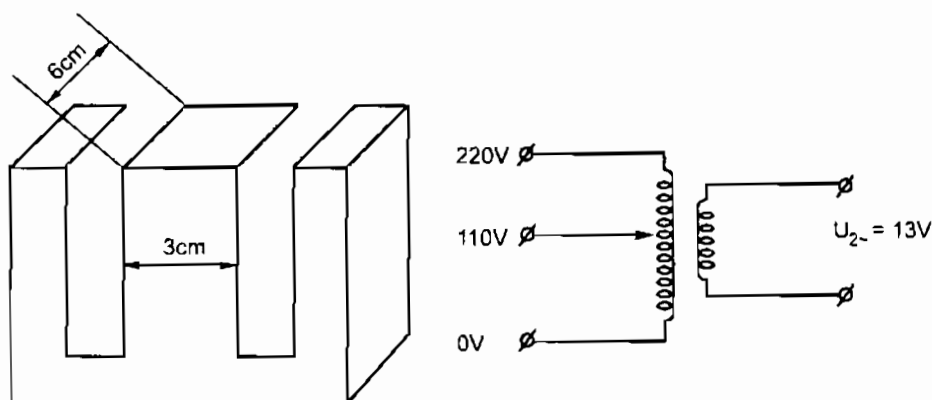
Bề dày toàn bộ của cả cuộn dây quấn:

Tùy theo bố trí cuộn dây sơ cấp và thứ cấp mà tính bề dày cuộn dây. Theo hình 2.19 ta có bề dày toàn bộ cuộn dây là:

$$\varepsilon_i = (1,1 \div 1,25)(e_k + \varepsilon_1 + e_{12} + \varepsilon_2 + e_n)$$

So sánh bề dày cuộn dây ε_i với bề rộng cửa sổ nếu $\varepsilon_i < C$ thì thỏa mãn điều kiện.

Ví dụ 2.4. Tính toán dây quấn máy biến áp sử dụng với nguồn điện 110/220V – 50Hz, phần thứ cấp có $U_2 = 13V$, $I_2 = 10A$. Kích thước mạch từ như hình vẽ 2.20, có bề dày lá sắt $e_{fc} = 0,35mm$, $B = 1,2Wb/m^2$, hiệu suất $\eta = 0,85$, chọn dây đồng tráng ê-may. Bề rộng khoảng chứa dây $C = 15mm$.



Hình 2.20. Kích thước mạch từ

Lời giải:

1. Xác định tiết diện thực S_0 của lõi mạch từ

Với lá sắt mỏng $e_{fc} = 0,35mm$, chọn $K = 0,9$, ta có:

$$S_0 = 0,9(3.6) = 16,2 \text{ cm}^2$$

Kiểm tra mạch từ có phù hợp với công suất dự tính hay không, ta có:

$$P_{dt} = U_2 \cdot I_2 = 13 \cdot 10 = 130 \text{ VA} \quad (1)$$

$$\text{Mà } P_{cp} = (S_0/1,2)^2 = (16,2/1,2)^2 = 182 \text{ VA} \quad (2)$$

So sánh (1) và (2) ta thấy: $P_{dt} < P_{cp} = 182$ thỏa mãn điều kiện

2. Tính số vòng dây mỗi vôn

Với $B = 1,2 \text{ Wb/m}^2$, theo bảng 2.3 chọn $K = 37,5$, ta có:

$$w = \frac{37,5}{S_0} = \frac{37,5}{16,2} = 2,3 \text{ (vòng/vôn)}$$

3. Số vòng dây cuộn sơ cấp:

$$w_{ab} = 2,3.110 = 253 \text{ vòng}$$

$$w_{bc} = 2,3.(220 - 110) = 253 \text{ vòng}$$

4. Số vòng dây cuộn thứ cấp:

Theo bảng 2.4 chọn $\Delta U_2 = 4,5\%$ nên có:

$$\Delta U_2 = (13.4,5/100) = 0,58V$$

$$w_2 = 2,3.(13 + 0,58) \approx 31 \text{ vòng}$$

5. Tiết diện dây sơ cấp và thứ cấp

Với hiệu suất $\eta = 0,85$ và chọn $J = 3,5A/mm^2$, ta có:

$$S_{ab} = \frac{P_2}{\eta \cdot U_1 \cdot J} = \frac{120}{0,85.110.3,5} = 0,366 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$d_{ab} = 1,13 \sqrt{S_{ab}} = 1,13 \cdot \sqrt{0,366} = \varnothing 0,68 \text{ (mm)}$$

$$S_{bc} = \frac{P_2}{\eta \cdot U_1 \cdot J} = \frac{120}{0,85.220.3,5} = 0,183 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$d_{bc} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{ab}} = 1,13 \cdot \sqrt{0,183} = \varnothing 0,48 \text{ (mm)}$$

$$S_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{10}{3,5} = 2,8(\text{mm}^2) = 1,13 \cdot \sqrt{S_2} = 1,13 \cdot \sqrt{2,8} = \varnothing 1,89\text{mm}$$

6. Kiểm tra bề dày cuộn dây:

– Bề dày cuộn dây w_{ab} , với $L = 45 \text{ mm}$ (thường chọn $L = 1,5.a$),
 $d'_{ab} = d_{ab} + e_{cd} = 0,068 + 0,06 = \varnothing 0,74\text{mm}$ (với dây tráng ê - may thì khoảng $e_{cd} = 0,03 \div 0,08$, chọn $e_{cd} = 0,06$).

$$w_{ablớp} = \frac{L}{d'_{ab}} - 1 = \frac{50}{0,74} - 1 = 66 \text{ (vòng)}$$

$$N_{ablớp} = 253/66 = 3,83 \text{ chọn 4 lớp}$$

$$e_{ab} = 0,74.4 + 0,1.(4 - 1) = 3,26 \text{ mm}$$

– Bề dày cuộn dây w_{bc} , với $L = 45 \text{ mm}$ (thường chọn $L = 1,5.a$),
 $d'_{bc} = d_{bc} + e_{cd} = 0,48 + 0,06 = \varnothing 0,54 \text{ mm}$

$$w_{bclớp} = \frac{L}{d'_{bc}} - 1 = \frac{50}{0,54} - 1 = 91 \text{ (vòng)}$$

$$N_{bclớp} = 253/91 = 2,78 \text{ chọn 3 lớp}$$

$$e_{bc} = 0,54.3 + 0,1.(3 - 1) = 1,82 \text{ (mm)}$$

– Bề dày cuộn dây thứ cấp w_2 , với $L = 45 \text{ mm}$, $d'_2 = \varnothing 1,93 \text{ (mm)}$

$$w_{2\text{lớp}} = \frac{L}{d'_2} - 1 = \frac{50}{1,93} - 1 = 25 \text{ (vòng)}$$

$$N_{2\text{lớp}} = 31/25 = 1,24 \text{ lớp chọn 2 lớp}$$

$$\varepsilon_2 = 1,93 \cdot 2 + 0,1 \cdot (2 - 1) = 3,96 \text{ (mm)}$$

– Bề dày toàn bộ cuộn dây, chọn $\varepsilon_k = 1$, $\varepsilon_{l2} = 0,3$, $\varepsilon_n = 0,3$

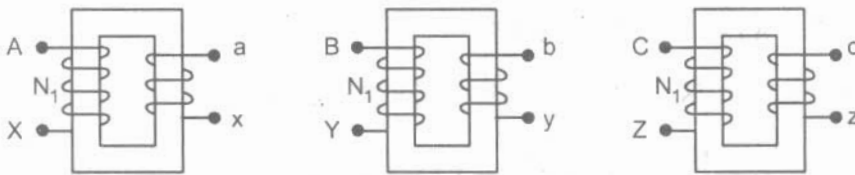
$$\varepsilon_t = 1,2(\varepsilon_k + \varepsilon_{ab} + \varepsilon_{bc} + \varepsilon_{l2} + \varepsilon_2 + \varepsilon_n)$$

$$= 1,2(1 + 3,3 + 1,9 + 0,3 + 4 + 0,3) = 13 \text{ (mm)}$$

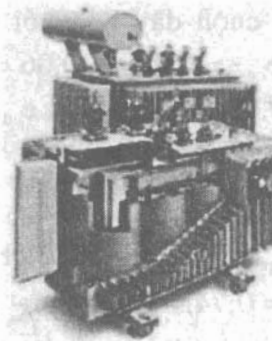
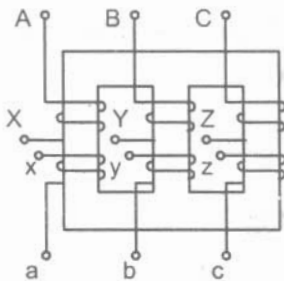
So sánh $\varepsilon_t = 13 \text{ mm}$ với bề rộng khoảng chứa dây $C = 15 \text{ mm}$ (thường chiều rộng của sổ bằng $0,5 \cdot a$) thì thỏa mãn điều kiện.

2.10. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

2.10.1. Cấu tạo



Hình 2.21a. Sơ đồ nguyên lý ba máy biến áp 1 pha



Hình 2.21b. Máy biến áp ba pha

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp một pha (hình 2.21a) hoặc dùng một máy biến áp ba pha (hình 2.21b). Về cấu tạo, lõi thép của máy biến áp ba pha gồm ba trụ. Dây quấn sơ cấp ký hiệu bằng các chữ in hoa: Pha A ký hiệu là AX, pha

B ký hiệu là BY, pha C là CZ. Dây quấn thứ cấp ký hiệu bằng các chữ thường: pha a là ax, pha b là by, pha c là cz. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác. Nếu nối hình sao thì số vòng dây và cách điện mỗi pha được tính theo điện áp pha, tiết diện dây dẫn được tính theo dòng điện dây. Nếu nối hình Δ thì ngược lại, dây quấn được tính toán theo điện áp dây và dòng điện pha. Vì vậy khi điện áp càng cao thì nối hình sao lợi hơn hình tam giác. Nếu ở các máy biến áp ba pha công suất lớn, dây quấn ba pha đều nối hình Y/ Δ , dây quấn thấp áp trong trường hợp này không yêu cầu dây trung tính, hoặc nối Δ /Y. Ở các máy biến áp công suất nhỏ và trung bình (dưới 1800 kVA) thì dây quấn ba pha phía sơ cấp và thứ cấp đều nối hình Y, phía thứ cấp thường có dây trung tính (Y/Y_0).

2.10.2. Nguyên lý làm việc và hệ số biến áp của máy biến áp ba pha

Nguyên lý làm việc của máy biến áp ba pha giống như máy biến áp một pha. Khi nghiên cứu sự làm việc của máy biến áp ba pha có phụ tải đối xứng, chúng ta chỉ cần nghiên cứu cho một pha. Tuy nhiên khi sử dụng máy biến áp ba pha ta cần chú ý một số điểm sau: Hệ số biến áp (tỷ số giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp) và phụ thuộc vào cách nối dây quấn.

Ví dụ: Nếu dây quấn máy biến áp ba pha nối Y/Y, thì hệ số biến áp:

$$k = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$$

Nhưng nếu dây quấn nối Y/ Δ thì:

$$k = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{w_1}{w_2}$$

2.10.3. Tổ đấu dây của máy biến áp ba pha

Tổ nối dây MBA được hình thành do sự phối hợp kiểu dây quấn sơ cấp so với kiểu dây quấn thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa sức điện động (sđđ) dây của dây quấn sơ cấp và sđđ dây của dây quấn thứ cấp và góc lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố sau :

- + Chiều quấn dây;
- + Cách ký hiệu các đầu dây ra;
- + Kiểu đấu dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Xét MBA một pha có hai dây quấn (hình 2.22) : sơ cấp – AX ; thứ cấp – ax.

Các trường hợp xảy ra như sau :

a) Hai dây quấn cùng chiều và ký hiệu tương ứng (hình 2.22a).

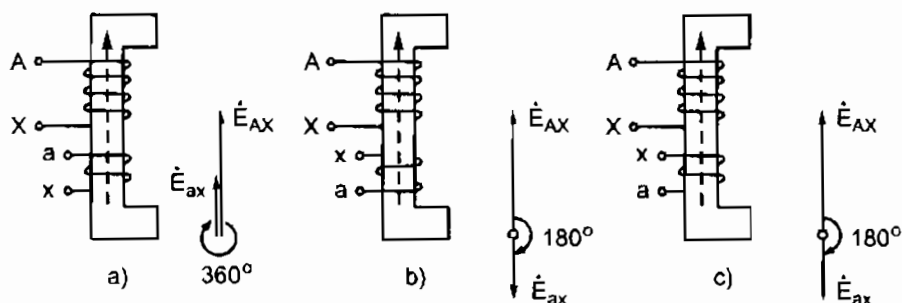
b) Hai dây quấn ngược chiều (hình 2.22b)

c) Đổi chiều ký hiệu một trong hai dây quấn (hình 2.22c)

Tổ nối dây của MBA một pha : tính từ vectơ sdd sơ cấp đến vectơ sdd thứ cấp theo chiều kim đồng hồ :

+ Trường hợp a : trùng pha 360° .

+ Trường hợp b, c : lệch pha 180° .



Hình 2.22. Sự lệch pha của máy biến áp một pha

Tổ nối dây MBA ba pha : Ở MBA ba pha, do nối Y & Δ với những thứ tự khác nhau mà góc lệch pha giữa sdd dây sơ cấp và sdd dây thứ cấp là 30° , 60° , 90° , ..., 360° .

Thực tế không dùng độ để chỉ góc lệch pha mà dùng kim đồng hồ (hình 2.23) để biểu thị và gọi tên tổ nối dây MBA, cách biểu thị như sau: + Kim dài cố định ở con số 12, chỉ sdd sơ cấp.

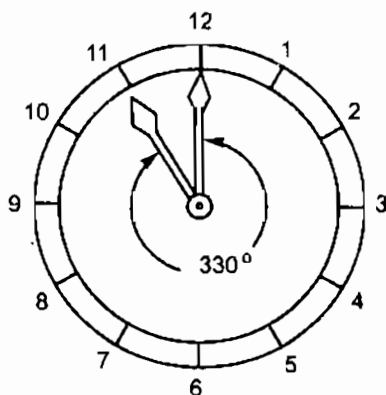
+ Kim ngắn chỉ 1, 2, ..., 12 ứng với 30° , 60° , ..., 360° chỉ sdd thứ cấp.

Trường hợp MBA một pha :

+ Trường hợp a : Y/Y – 12;

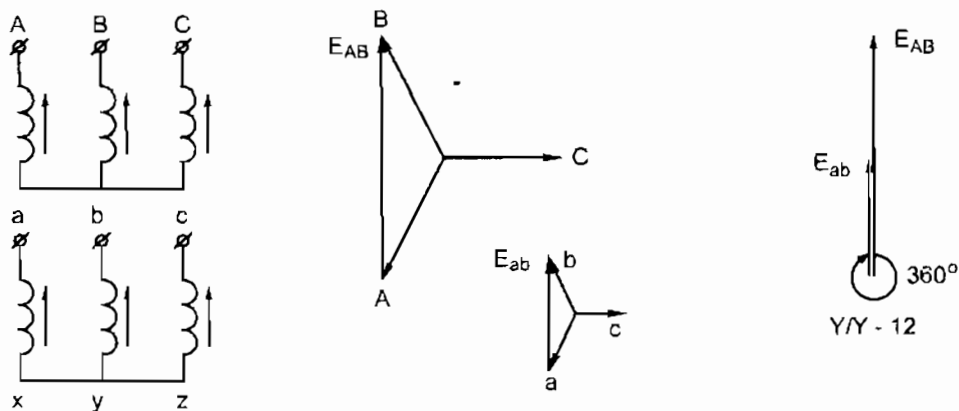
+ Trường hợp b, c : Y/Y – 6.

Trường hợp MBA ba pha :



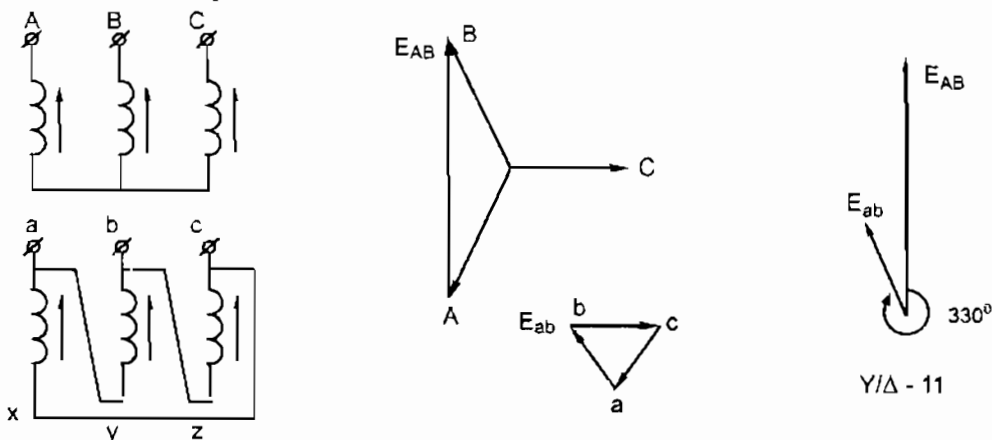
Hình 2.23. Biểu thị góc lệch pha

+ MBA ba pha nối Y/Y: Ví dụ một MBA ba pha có dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp nối hình sao, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu các đầu dây (hình 2.24) thì véc tơ sdd pha giữa hai dây quấn hoàn toàn trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng 360° hay 0° . Ta nói MBA thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12 hay Y/Y-0. Để nguyên dây quấn sơ cấp, dịch ký hiệu dây quấn thứ cấp $a \rightarrow b$, $b \rightarrow c$, $c \rightarrow a$ ta có tổ đấu dây Y/Y-4, dịch tiếp một lần nữa ta có tổ đấu dây Y/Y-8. Nếu đổi chiều dây quấn thứ cấp ta có tổ đấu dây Y/Y-6, 10, 2. Như vậy, MBA khi nối Y/Y, ta có tổ nối dây là số chẵn.



Hình 2.24. Tìm tổ nối dây Y/Y

+ MBA ba pha nối Y/ Δ :



Hình 2.25. Tìm tổ nối dây Y/ Δ

Ví dụ cũng MBA ba pha có dây quấn sơ cấp nối hình sao và dây quấn thứ cấp nối hình tam giác, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu các đầu dây (hình 2.25) thì véc tơ sdd pha giữa hai dây quấn hoàn toàn

trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng 330° . Ta nói MBA thuộc tổ nối dây 11 và ký hiệu là $Y/\Delta - 11$. Để nguyên dây quấn sơ cấp, dịch ký hiệu dây quấn thứ cấp $a \rightarrow b, b \rightarrow c, c \rightarrow a$ thì ta có tổ đấu dây $Y/\Delta - 3$, dịch tiếp một lần nữa ta có tổ đấu dây $Y/\Delta - 7$. Nếu đổi chiều dây quấn thứ cấp ta có tổ đấu dây $Y/\Delta - 5, 9, 1$. Như vậy MBA khi nối Y/Δ , ta có tổ nối dây là số lẻ.

2.10.4. Máy biến áp làm việc song song

Trong các trạm biến áp, để đảm bảo các điều kiện kinh tế và kỹ thuật như tổn hao vận hành tối thiểu, liên tục truyền tải công suất khi xảy ra sự cố hay khi phải sửa chữa máy biến áp, người ta thường cho hai hoặc nhiều máy biến áp làm việc song song.

Máy biến áp làm việc song song tốt nhất nếu điện áp thứ cấp của chúng bằng nhau về trị số và trùng nhau về góc pha và nếu tải được phân phối theo tỷ lệ công suất máy giống nhau. Muốn vậy, phải có các điều kiện cùng tổ nối dây, hệ số biến đổi điện áp k và điện áp ngắn mạch U_n như nhau.

a) Điều kiện cùng tổ nối dây

Ví dụ không cho phép hai máy có tổ nối dây $Y/\Delta - 11$ và $Y/Y - 12$ làm việc song song với nhau vì điện áp thứ cấp của 2 máy này không trùng pha nhau và lệch nhau một góc 30° . Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai máy biến áp sẽ xuất hiện một sức điện động:

$$\Delta E = 2E_2 \sin 15^\circ = 0.518E_2$$

Kết quả là ngay khi không tải trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của các máy biến áp sẽ có dòng điện: $I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}}$

$$\text{Giả sử } Z_{nI} = Z_{nII} = 0,05 \text{ thì } I_{cb} = \frac{0,518}{0,05 + 0,05} = 5,18$$

Trị số dòng điện gấp hơn năm lần dòng điện định mức sẽ làm nóng máy biến áp.

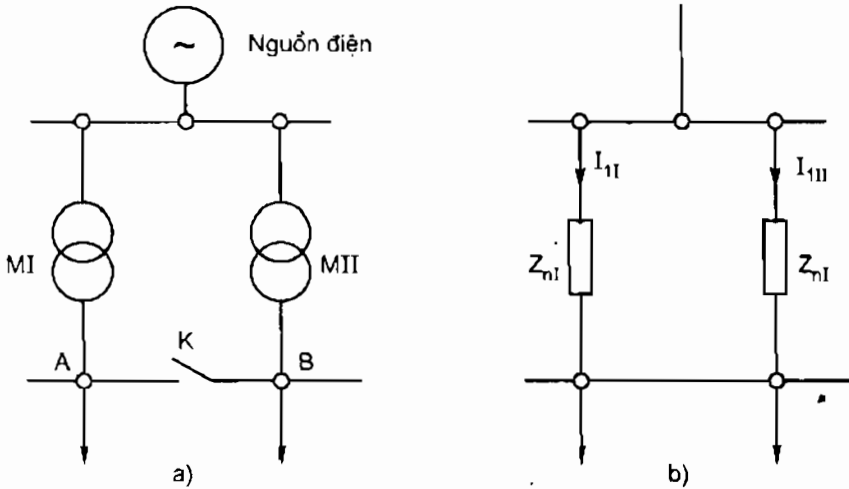
b) Điều kiện tỷ số biến đổi bằng nhau

Điện áp thứ cấp định mức của các máy phải bằng nhau. Điều kiện này bảo đảm cho trong các máy biến áp làm việc song song không có dòng điện chạy quán.

Giả sử tỷ số biến đổi K khác nhau thì $E_{2I} \neq E_{2II}$, ngay khi không tải

trong dây quán thứ cấp của các máy biến áp đã có dòng cân bằng I_{cb} sinh ra bởi điện áp $\Delta E = E_{2I} - E_{2II}$.

Dòng điện đó sẽ chạy trong dây quán của các máy biến áp theo chiều ngược nhau. Khi có tải, dòng điện cân bằng sẽ cộng với dòng điện tải làm cho hệ số tải đáng lẽ phải bằng nhau lại trở thành khác nhau, ảnh hưởng xấu tới việc lợi dụng công suất các máy.



Hình 2.26. Hai máy biến áp làm việc song song

c) Điều kiện trị số điện áp ngắn mạch bằng nhau

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

Trong đó điện áp ngắn mạch phần trăm của các máy cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bổ trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

Giả sử $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ thì khi máy I nhận tải định mức, máy II còn non tải. Thật vậy, ở trường hợp này, dòng điện máy I đạt định mức I_{ldm} , điện áp rơi trong máy I là $I_{ldm}Z_{nI}$, dòng điện máy II là I_{II} , điện áp rơi trong máy hai là $I_{II}Z_{nII}$. Vì hai máy làm việc song song, điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau, ta có:

$$I_{ldm}Z_{nI} = I_{II}Z_{nII} \quad (2.37)$$

Ở đây Z_{nI} , Z_{nII} là tổng trở ngắn mạch máy I và II. Vì ta giả sử $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ do đó:

$$I_{ldm}Z_{nI} < I_{ldm}Z_{nII} \quad (2.38)$$

So sánh (2.37) và (2.38) ta có: $I_{II}Z_{nII} < I_{ldm}Z_{nII}$ hoặc $I_{II} < I_{ldm}$

Dòng điện máy II nhỏ hơn định mức, vậy máy II đang non tải, trong khi máy I đã định mức. Nếu máy II tải định mức thì máy I sẽ quá tải.

2.11. CÁC SỰ CỐ THƯỜNG XẢY RA TRONG MÁY BIẾN ÁP

TT	Hiện tượng	Nguyên nhân	Phương pháp sửa chữa
1	Chạm vỏ.	<ul style="list-style-type: none"> – Do cách điện của lõi khuôn giữa cuộn dây với lõi thép bị hỏng. – Do chạm đầu dây với vỏ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Tháo lõi thép ra, kiểm tra cách điện của lõi khuôn, nếu hỏng cách điện thì quấn lại. – Dùng đồng hồ kiểm tra xác định và sửa lại vị trí chạm vỏ.
2	Máy biến áp vẫn vận hành bình thường mà gây sự giật nhẹ.	<ul style="list-style-type: none"> – Do máy biến áp bị ẩm, điện trở cách điện bị suy giảm. 	<ul style="list-style-type: none"> – Bỏ ra sơn sấy lại sau đó kiểm tra cách điện bằng Mê - gôm kế, nếu Mê - gôm kế chỉ trị số cách điện $> 0,5 \text{ M}\Omega$ thì đạt. Nếu Mê - gôm kế chỉ trị số cách điện $< 0,5 \text{ M}\Omega$ thì lớp cách điện bị lão hoá cần phải quấn lại toàn bộ.
3	Máy biến áp bị nóng quá nhiệt độ cho phép. Máy biến áp làm việc bị rung phát ra tiếng kêu ngay cả khi làm việc không tải.	<ul style="list-style-type: none"> – Do cách điện giữa các vòng dây giảm. – Do bị chập nội tại một đến hai vòng dây dẫn đến có dòng điện quấn chạy trong máy. 	<ul style="list-style-type: none"> – Dùng đồng hồ ôm mét kiểm tra – Nếu bị chập nội tại thì bỏ ra quấn lại.
4	Cấp điện vào máy biến áp thấy lõi thép bị rung nhẹ nhưng đo điện áp thứ cấp bằng không.	<ul style="list-style-type: none"> – Do cuộn dây thứ cấp máy biến áp bị đứt dẫn đến hở mạch bên trong cuộn dây. – Do tiếp xúc ở cọc nối dây ra hoặc ở công tắc chuyển mạch. 	<ul style="list-style-type: none"> – Dùng đồng hồ ôm mét kiểm tra, nếu bị đứt ở bên trong cuộn dây thì phải bỏ ra quấn lại. – Nếu do tiếp xúc ở cọc nối dây ra hoặc ở công tắc chuyển mạch thì tiến hành sửa chữa, trường hợp không khắc phục được thì thay thế cọc đấu hoặc công tắc chuyển mạch khác.
5	Máy biến áp vận hành lúc được, lúc không.	<ul style="list-style-type: none"> – Do tiếp xúc xấu. 	<ul style="list-style-type: none"> – Kiểm tra lại từ nguồn điện cung cấp đến máy biến áp và từ máy biến áp đến mạch tiêu thụ.

6	Không tăng được điện áp ra đến điện áp định mức.	<ul style="list-style-type: none"> – Do điện áp nguồn xuống quá thấp ngoài khoảng cho phép của máy biến áp. – Do máy biến áp bị quá tải. 	<ul style="list-style-type: none"> – Kiểm tra lại điện áp nguồn, nếu điện áp nguồn giảm quá điện áp cho phép thì dừng không cho máy biến áp làm việc nữa. – Trường hợp máy biến áp bị quá tải thì cắt bớt tải cho phù hợp với công suất của máy biến áp.
---	--	--	--

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 2

2.1. Nêu cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy biến áp.

2.2. Ý nghĩa chế độ không tải và thí nghiệm ngắn mạch.

2.3. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp như thế nào?

2.4. Nêu ý nghĩa của việc xác định tổ nối dây.

2.5. Xác định số vòng dây bên phía thứ cấp với điện áp 40V, nếu bên sơ cấp có 600 vòng ở 240 V.

ĐS: 100 vòng

2.6. Xét máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không). Cuộn dây sơ cấp có 400 vòng, cuộn dây thứ cấp có 800 vòng. Tiết diện lõi thép 40cm^2 . Nếu cuộn dây sơ cấp được đấu vào nguồn 600V, 60Hz, hãy tính:

a) Từ cảm cực đại trong lõi?

b) Điện áp thứ cấp?

Đáp số: a) $B = 1,4\text{ T}$.

b) $U_2 = 1200\text{V}$.

2.7. Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 20kVA, 1200V/120V.

a) Tính dòng định mức sơ cấp và thứ cấp?

b) Nếu máy này cấp cho tải 12 kV có hệ số công suất $\cos\varphi = 0,8$, tính dòng sơ và thứ cấp?

Đáp số: a) $I_1 = 16,7\text{A}$; $I_2 = 167\text{A}$.

b) $I_1 = 12,5\text{A}$; $I_2 = 125\text{ A}$.

2.8. Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có tỷ số vòng dây 4 : 1. Điện áp thứ cấp là $120 \angle 0^\circ \text{ V}$. Người ta đấu một tải $Z_L = 10 \angle 30^\circ \Omega$ vào thứ cấp. Hãy tính:

a) Điện áp sơ cấp, dòng điện sơ cấp và thứ cấp?

b) Tổng trở tải quy về sơ cấp?

Đáp số: a) $U = 480 \angle 0^\circ \text{ V}$, $I_1 = 3 \angle 30^\circ \text{ A}$, $I_2 = 12 \angle 30^\circ$;

b) $Z_{L'} = 160 \angle 30^\circ \Omega$.

2.9. Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 50kVA, 400/200V cung cấp cho tải 40kVA có hệ số công suất = 0,8 (tải R – L), tính:

a) Tổng trở tải?

b) Tổng trở tải quy về sơ cấp.

Đáp số: a) $Z_L = 100 \angle 36,87^\circ \Omega$; b) $Z_{L'} = 4 \angle 36,87^\circ \Omega$.

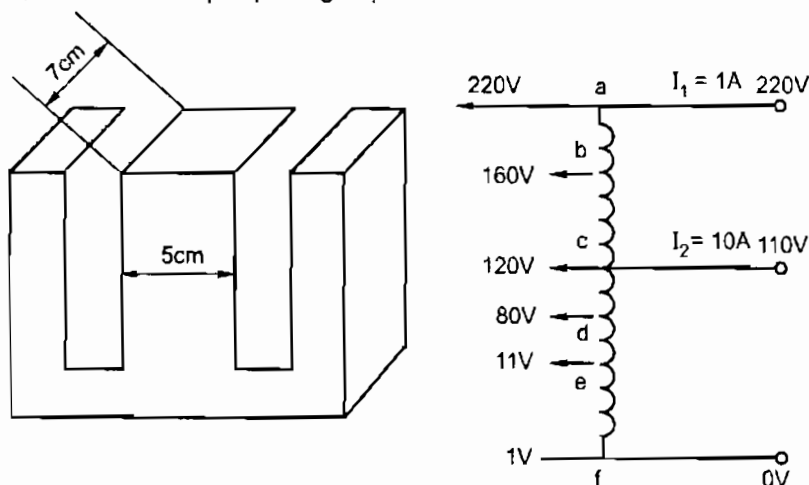
2.10. Tính số liệu dây quấn của máy biến áp gia dụng theo yêu cầu kỹ thuật sau:

$U_1 = 80\text{V}, 120\text{V}, 160\text{V}, 220\text{V}$;

$U_2 = 110\text{V} - 220\text{V}$; $I_2 = 10\text{A} - 5\text{A}$.

Điều kiện tăng giảm: 11bậc – 5V/ bậc.

Kích thước mạch từ (xem hình 2.27), bề dày lá sắt $e_{Fe} = 0,35\text{mm}$, chọn $B = 0,9\text{Wb}/\text{m}^2$ và mật độ dòng điện $J = 5\text{A}/\text{mm}^2$.



Hình 2.27. Kích thước lõi thép và sơ đồ điện