

I. Máy biến áp

1. Định nghĩa và công dụng

Máy biến áp (hay máy biến thế) là thiết bị điện hoạt động dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp của dòng điện xoay chiều mà không làm thay đổi tần số của nó.

- **Công dụng chính:** Tăng hoặc giảm điện áp xoay chiều. Máy biến áp đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong việc truyền tải và phân phối điện năng.

2. Cấu tạo

Máy biến áp có cấu tạo gồm ba bộ phận chính:

1. **Lõi biến áp (Mạch từ):** Thường làm bằng các lá thép kỹ thuật điện (có pha silic) mỏng, được sơn cách điện và ghép lại với nhau thành một khối. Việc ghép từ các lá thép mỏng giúp giảm hao phí năng lượng do dòng điện Fu-cô gây ra.
2. **Dây quấn (Cuộn dây):** Thường được làm bằng đồng, có hai cuộn dây được quấn quanh lõi thép:
 - **Cuộn sơ cấp (N_1):** Nối với nguồn điện xoay chiều cần biến đổi. Có N_1 vòng dây.
 - **Cuộn thứ cấp (N_2):** Nối với tải tiêu thụ, là nơi lấy điện áp sau khi biến đổi. Có N_2 vòng dây.

3. **Vỏ máy:** Dùng để bảo vệ các bộ phận bên trong.

3. Nguyên tắc hoạt động

Nguyên tắc hoạt động của máy biến áp dựa trên **hiện tượng cảm ứng điện từ**.

- Khi đặt một điện áp xoay chiều U_1 vào cuộn sơ cấp (N_1), nó sẽ tạo ra trong cuộn dây một dòng điện xoay chiều I_1 .
- Dòng điện xoay chiều này sinh ra một từ thông biến thiên trong lõi sắt.
- Từ thông biến thiên này xuyên qua cuộn thứ cấp (N_2), gây ra một suất điện động cảm ứng xoay chiều, tạo ra điện áp xoay chiều U_2 ở hai đầu cuộn thứ cấp.

4. Khảo sát máy biến áp lí tưởng

Máy biến áp lí tưởng là máy biến áp mà trong đó không có sự hao phí năng lượng (hiệu suất 100%). Công suất đầu vào bằng công suất đầu ra ($P_1 = P_2$).

a. Công thức máy biến áp lí tưởng

Đối với máy biến áp lí tưởng, ta có mối liên hệ giữa điện áp, số vòng dây và cường độ dòng điện:

$$U_1/U_2 = N_1/N_2 = I_2/I_1$$

Trong đó:

- **U_1 :** Điện áp hiệu dụng ở cuộn sơ cấp (V)
- **U_2 :** Điện áp hiệu dụng ở cuộn thứ cấp (V)
- **N_1 :** Số vòng dây của cuộn sơ cấp
- **N_2 :** Số vòng dây của cuộn thứ cấp

- **I₁**: Cường độ dòng điện hiệu dụng ở cuộn sơ cấp (A)
- **I₂**: Cường độ dòng điện hiệu dụng ở cuộn thứ cấp (A)

b. Phân loại

- **Máy tăng áp**: Khi cần tăng điện áp ($U_2 > U_1$). Điều này xảy ra khi số vòng dây cuộn thứ cấp lớn hơn số vòng dây cuộn sơ cấp ($N_2 > N_1$).
- **Máy hạ áp**: Khi cần giảm điện áp ($U_2 < U_1$). Điều này xảy ra khi số vòng dây cuộn thứ cấp nhỏ hơn số vòng dây cuộn sơ cấp ($N_2 < N_1$).

c. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Một máy biến áp lí tưởng có cuộn sơ cấp gồm 1100 vòng được mắc vào mạng điện xoay chiều 220V. Cuộn thứ cấp có 100 vòng. Tính điện áp hiệu dụng ở hai đầu cuộn thứ cấp.

Giải:

Áp dụng công thức máy biến áp lí tưởng: $U_1/U_2 = N_1/N_2$

$$\Rightarrow U_2 = U_1 * (N_2/N_1) = 220 * (100/1100) = 20 \text{ V.}$$

Đây là một máy hạ áp.

Ví dụ 2: Một máy biến áp lí tưởng dùng để hạ điện áp từ 220V xuống 12V. Cuộn sơ cấp có 4400 vòng. Nếu công suất tiêu thụ ở cuộn thứ cấp là 24W, hãy tính số vòng dây cuộn thứ cấp và cường độ dòng điện ở cuộn sơ cấp.

Giải:

- Tính số vòng dây cuộn thứ cấp (N_2):

$$\text{Ta có: } U_1/U_2 = N_1/N_2 \Rightarrow N_2 = N_1 * (U_2/U_1) = 4400 * (12/220) = 240 \text{ vòng.}$$

- Tính cường độ dòng điện ở cuộn thứ cấp (I_2):

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = P_2 / U_2 = 24 / 12 = 2 \text{ A.}$$

- Tính cường độ dòng điện ở cuộn sơ cấp (I_1):

$$\text{Ta có: } N_1/N_2 = I_2/I_1 \Rightarrow I_1 = I_2 \cdot (N_2/N_1) = 2 \cdot (240/4400) \approx 0.109 \text{ A.}$$

5. Máy biến áp thực tế và hiệu suất

Trong thực tế, luôn có sự hao phí năng lượng trong máy biến áp do các nguyên nhân như: tỏa nhiệt trên các cuộn dây, dòng điện Fu-cô trong lõi sắt, từ trễ... Do đó, công suất ở cuộn thứ cấp luôn nhỏ hơn công suất ở cuộn sơ cấp ($P_2 < P_1$).

Hiệu suất của máy biến áp được định nghĩa là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào:

$$H = P_2/P_1 = (U_2 I_2 \cos \varphi_2) / (U_1 I_1 \cos \varphi_1) \cdot 100\%$$

Với máy biến áp lí tưởng, $H = 100\%$.

II. Truyền tải điện năng đi xa

1. Nguyên nhân gây hao phí điện năng

Khi truyền tải điện năng đi xa bằng dây dẫn, một phần điện năng bị hao phí do **hiện tượng tỏa nhiệt Joule-Lenz** trên đường dây. Dòng điện chạy qua dây dẫn có điện trở R sẽ làm dây dẫn nóng lên và tỏa nhiệt ra môi trường, gây ra công suất hao phí ΔP .

2. Công thức tính công suất hao phí

Giả sử cần truyền đi một công suất điện P từ nhà máy phát điện bằng một đường dây có điện trở tổng cộng là R . Điện áp truyền đi là U và hệ số công suất của mạch là $\cos\varphi$.

- Cường độ dòng điện trên dây tải: **$I = P / (U\cos\varphi)$**
- Công suất hao phí do tỏa nhiệt trên đường dây:

$$\Delta P = I^2 R = (P^2 R) / (U^2 \cos^2 \varphi)$$

Trong đó:

- **ΔP** : Công suất hao phí trên đường dây (W)
- **P** : Công suất truyền đi từ nhà máy (W)
- **R** : Điện trở tổng cộng của đường dây tải điện (Ω)
- **U** : Điện áp hiệu dụng tại nơi phát (V)
- **$\cos\varphi$** : Hệ số công suất của mạch điện

3. Biện pháp giảm hao phí

Từ công thức tính công suất hao phí, ta thấy có hai phương pháp chính để giảm ΔP :

1. **Giảm điện trở R của dây dẫn**: Theo công thức $R = \rho(l/S)$, để giảm R , ta phải tăng tiết diện S của dây dẫn (dùng dây to hơn). Tuy nhiên, phương pháp này rất tốn kém về vật liệu (kim loại), làm tăng trọng lượng của dây và đòi hỏi hệ thống cột điện phải chắc chắn hơn. Do đó, phương pháp này không kinh tế và không khả thi cho việc truyền tải điện đi xa.

2. **Tăng điện áp truyền tải U:** Công suất hao phí ΔP tỉ lệ nghịch với bình phương điện áp ($\Delta P \sim 1/U^2$). Nếu tăng điện áp U lên n lần thì công suất hao phí sẽ giảm đi n^2 lần. Đây là phương pháp hiệu quả và kinh tế nhất, được áp dụng rộng rãi trong thực tế.

Phương pháp	Ưu điểm	Nhược điểm	Kết luận
Giảm R	Đơn giản về nguyên lý	Tốn kém vật liệu, tăng trọng lượng dây, khó thi công	Không hiệu quả kinh tế
Tăng U	Giảm hao phí rất hiệu quả (giảm n^2 lần)	Đòi hỏi thiết bị tăng/hạ áp, cách điện phức tạp	Phương pháp tối ưu

Ví dụ minh họa

Ví dụ: Người ta cần truyền tải một công suất điện $P = 2 \text{ MW}$ ($2 \cdot 10^6 \text{ W}$) từ nhà máy điện đến nơi tiêu thụ. Điện trở đường dây là $R = 40 \text{ }\Omega$. Hệ số công suất coi như bằng 1. Hãy tính công suất hao phí khi truyền đi với điện áp:

- a) $U = 10 \text{ kV}$ (10^4 V)
- b) $U = 200 \text{ kV}$ ($2 \cdot 10^5 \text{ V}$)

Giải:

Áp dụng công thức: $\Delta P = P^2R / U^2$

a) Với $U = 10 \text{ kV}$:

$$\Delta P = ((2 \cdot 10^6)^2 \cdot 40) / ((10^4)^2) = (4 \cdot 10^{12} \cdot 40) / (10^8) = 1.600.000 \text{ W} = 1,6 \text{ MW}.$$

Hao phí chiếm $1,6/2 = 80\%$ công suất truyền đi, rất lớn.

b) Với $U = 200 \text{ kV}$:

$$\Delta P = ((2 \cdot 10^6)^2 \cdot 40) / ((2 \cdot 10^5)^2) = (4 \cdot 10^{12} \cdot 40) / (4 \cdot 10^{10}) = 4000 \text{ W} = 4 \text{ kW}.$$

Hao phí chỉ chiếm $4000 / 2.000.000 = 0,2\%$, rất nhỏ.

Nhận xét: Khi tăng điện áp từ 10 kV lên 200 kV (tăng 20 lần), công suất hao phí đã giảm $20^2 = 400$ lần.

4. Sơ đồ truyền tải điện năng

Để thực hiện việc tăng điện áp ở nơi phát và giảm điện áp ở nơi tiêu thụ, người ta sử dụng các máy biến áp. Sơ đồ khối của hệ thống truyền tải điện năng như sau:

Nhà máy điện → Máy tăng áp → Đường dây tải điện cao thế → Máy hạ áp → Nơi tiêu thụ

1. **Tại nhà máy điện:** Máy phát điện tạo ra dòng điện xoay chiều (thường có điện áp khoảng 10-25 kV).
2. **Máy tăng áp:** Điện áp từ máy phát được đưa đến một máy biến áp tăng áp để nâng lên các mức điện áp rất cao (ví dụ: 110 kV, 220 kV, 500 kV) trước khi truyền đi xa.
3. **Đường dây tải điện cao thế:** Hệ thống dây dẫn trên các cột điện cao thế để truyền tải điện năng đi xa, giảm thiểu hao phí.

4. **Máy hạ áp:** Tại nơi tiêu thụ (thành phố, khu công nghiệp), các trạm biến áp hạ áp sẽ hạ điện áp cao thế xuống các mức thấp hơn phù hợp với nhu cầu sử dụng (ví dụ: 35 kV, 22 kV, sau đó hạ tiếp xuống 220V/380V cho sinh hoạt và sản xuất).

5. Hiệu suất truyền tải điện

Hiệu suất truyền tải điện là tỉ số giữa công suất nơi tiêu thụ và công suất nơi phát.

- Công suất nơi tiêu thụ: **$P_{\text{tiêu_thụ}} = P - \Delta P$**
- Hiệu suất truyền tải:

$$H = P_{\text{tiêu_thụ}} / P = (P - \Delta P) / P = 1 - (\Delta P / P)$$

Để tăng hiệu suất H, ta cần giảm tỉ lệ $\Delta P / P$, tức là phải giảm công suất hao phí ΔP .