

Tổng hợp kiến thức Dòng điện xoay chiều (Mạch RLC nối tiếp)

1. Các phần tử cơ bản của mạch điện xoay chiều

1.1. Đoạn mạch chỉ có điện trở thuần (R)

- **Công thức:** Mối liên hệ giữa điện áp tức thời và cường độ dòng điện tức thời là $u_R = i.R$. Định luật Ôm: $I = U_R / R$.
- **Giải thích:** Trong đoạn mạch chỉ có điện trở thuần, cường độ dòng điện i luôn cùng pha với điện áp u_R .
- **Ví dụ:** Đặt vào hai đầu điện trở $R = 100 \Omega$ một điện áp xoay chiều $u = 200\cos(100\pi t)$ V. Cường độ dòng điện hiệu dụng qua điện trở là $I = U/R = (200/\sqrt{2}) / 100 = \sqrt{2}$ A. Biểu thức cường độ dòng điện là $i = 2\cos(100\pi t)$ A.

1.2. Đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần (L)

- **Công thức:** Cảm kháng của cuộn cảm là $Z_L = \omega L$, với ω là tần số góc (rad/s) và L là độ tự cảm (H).
- **Giải thích:** Cảm kháng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện xoay chiều của cuộn cảm. Điện áp hai đầu cuộn cảm u_L sớm pha hơn cường độ dòng điện i một góc $\pi/2$.
- **Ví dụ 1:** Một cuộn cảm thuần có $L = 1/\pi$ H được mắc vào dòng điện có tần số $f = 50$ Hz. Cảm kháng là $Z_L = \omega L = 2\pi fL = 2\pi.50.(1/\pi) = 100 \Omega$.

- **Ví dụ 2:** Cho dòng điện $i = 2\cos(100\pi t)$ A qua cuộn cảm trên. Điện áp hiệu dụng hai đầu cuộn cảm là $U_L = I \cdot Z_L = (2/\sqrt{2}) \cdot 100 = 100\sqrt{2}$ V. Biểu thức điện áp là $u_L = 200\cos(100\pi t + \pi/2)$ V.

1.3. Đoạn mạch chỉ có tụ điện (C)

- **Công thức:** Dung kháng của tụ điện là $Z_C = 1 / (\omega C)$, với C là điện dung của tụ (F).
- **Giải thích:** Dung kháng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện xoay chiều của tụ điện. Điện áp hai đầu tụ điện u_C trễ pha hơn cường độ dòng điện i một góc $\pi/2$.
- **Ví dụ 1:** Một tụ điện có $C = 10^{-4}/(2\pi)$ F được mắc vào dòng điện có tần số $f = 50$ Hz. Dung kháng là $Z_C = 1/(\omega C) = 1 / (2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-4}/(2\pi)) = 100 \Omega$.
- **Ví dụ 2:** Cho dòng điện $i = 3\cos(100\pi t)$ A qua tụ điện trên. Điện áp hiệu dụng hai đầu tụ là $U_C = I \cdot Z_C = (3/\sqrt{2}) \cdot 100 = 150\sqrt{2}$ V. Biểu thức điện áp là $u_C = 300\cos(100\pi t - \pi/2)$ V.

2. Mạch RLC nối tiếp

Đây là mạch điện gồm ba phần tử điện trở thuần R, cuộn cảm thuần L và tụ điện C mắc nối tiếp.

2.1. Tổng trở của mạch

- **Công thức:** Tổng trở của mạch RLC nối tiếp được tính bằng công thức: $Z = \sqrt{[R^2 + (Z_L - Z_C)^2]}$.

- **Giải thích:** Tổng trở Z là đại lượng đặc trưng cho mức độ cản trở dòng điện xoay chiều của toàn mạch, đơn vị là Ôm (Ω).
- **Ví dụ:** Một mạch điện gồm $R = 30 \Omega$, cuộn cảm có $Z_L = 60 \Omega$ và tụ điện có $Z_C = 20 \Omega$ mắc nối tiếp. Tổng trở của mạch là $Z = \sqrt{30^2 + (60 - 20)^2} = \sqrt{900 + 40^2} = \sqrt{900 + 1600} = \sqrt{2500} = 50 \Omega$.

2.2. Định luật Ôm cho đoạn mạch RLC

- **Công thức:**

- Cường độ dòng điện hiệu dụng: $I = U / Z$
- Cường độ dòng điện cực đại: $I_0 = U_0 / Z$
- Điện áp hiệu dụng trên từng phần tử: $U_R = I \cdot R$; $U_L = I \cdot Z_L$; $U_C = I \cdot Z_C$
- Mối liên hệ giữa các điện áp hiệu dụng: $U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$

- **Giải thích:** Định luật Ôm cho thấy mối quan hệ tỉ lệ giữa điện áp, cường độ dòng điện và tổng trở trong mạch xoay chiều.
- **Ví dụ:** Đặt điện áp $u = 100\sqrt{2}\cos(100\pi t)$ V vào hai đầu đoạn mạch RLC có $R=50\Omega$, $L=1/\pi$ H, $C=10^{-4}/(2\pi)$ F. Ta có: $Z_L = 100\pi(1/\pi) = 100 \Omega$; $Z_C = 1/(100\pi \cdot 10^{-4}/(2\pi)) = 200 \Omega$. Tổng trở $Z = \sqrt{50^2 + (100 - 200)^2} = \sqrt{2500 + (-100)^2} = \sqrt{12500} = 50\sqrt{5} \Omega$. Cường độ dòng điện hiệu dụng $I = U/Z = 100 / (50\sqrt{5}) = 2/\sqrt{5}$ A.

2.3. Độ lệch pha giữa điện áp và cường độ dòng điện

- **Công thức:** Độ lệch pha φ của điện áp u so với cường độ dòng điện i được tính bởi: $\tan(\varphi) = (Z_L - Z_C) / R$.

• **Giải thích:**

- Nếu $\varphi > 0$ ($Z_L > Z_C$): u sớm pha hơn i. Mạch có tính cảm kháng.
- Nếu $\varphi < 0$ ($Z_L < Z_C$): u trễ pha hơn i. Mạch có tính dung kháng.
- Nếu $\varphi = 0$ ($Z_L = Z_C$): u cùng pha với i. Mạch xảy ra cộng hưởng điện.

Trường hợp	Đặc điểm	Độ lệch pha φ	Ví dụ
$Z_L > Z_C$	Mạch có tính cảm kháng	$0 < \varphi < \pi/2$ (u sớm pha hơn i)	$R=100\Omega, Z_L=200\Omega, Z_C=100\Omega \rightarrow \tan(\varphi) = (200-100)/100 = 1 \rightarrow \varphi = \pi/4.$
$Z_L < Z_C$	Mạch có tính dung kháng	$-\pi/2 < \varphi < 0$ (u trễ pha hơn i)	$R=100\Omega, Z_L=100\Omega, Z_C=200\Omega \rightarrow \tan(\varphi) = (100-200)/100 = -1 \rightarrow \varphi = -\pi/4.$
$Z_L = Z_C$	Mạch cộng hưởng	$\varphi = 0$ (u cùng pha với i)	$R=100\Omega, Z_L=100\Omega, Z_C=100\Omega \rightarrow \tan(\varphi) = (100-100)/100 = 0 \rightarrow \varphi = 0.$

3. Hiện tượng cộng hưởng điện

3.1. Điều kiện và tần số cộng hưởng

- **Điều kiện:** Hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi cảm kháng bằng dung kháng:
 $Z_L = Z_C.$

- **Công thức tần số:** Từ điều kiện trên, ta có tần số góc cộng hưởng $\omega = 1 / \sqrt{LC}$, và tần số cộng hưởng $f = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$.
- **Ví dụ:** Mạch có $L = 1/\pi$ H và $C = 10^{-4}/\pi$ F. Tần số cộng hưởng là $f = 1 / (2\pi\sqrt{(1/\pi)(10^{-4}/\pi)}) = 1 / (2\pi \cdot 10^{-2}/\pi) = 50$ Hz.

3.2. Đặc điểm của mạch khi có cộng hưởng

- Tổng trở của mạch đạt giá trị nhỏ nhất: $Z_{\min} = R$.
- Cường độ dòng điện trong mạch đạt giá trị lớn nhất: $I_{\max} = U / R$.
- Điện áp hai đầu mạch cùng pha với cường độ dòng điện ($\varphi = 0$).
- Điện áp hiệu dụng giữa hai đầu cuộn cảm bằng điện áp hiệu dụng giữa hai đầu tụ điện: $U_L = U_C$.
- Công suất tiêu thụ của mạch đạt giá trị cực đại: $P_{\max} = U^2/R$.
- **Ví dụ:** Cho mạch RLC có $R=50\Omega$, $L=1/\pi$ H, $C=10^{-4}/\pi$ F, mắc vào điện áp $U=100V$. Khi xảy ra cộng hưởng (tại $f=50Hz$), ta có: $Z_{\min} = R = 50\Omega$. Cường độ dòng điện cực đại $I_{\max} = 100/50 = 2$ A. Công suất cực đại $P_{\max} = 100^2/50 = 200$ W.

4. Công suất và hệ số công suất

4.1. Công suất tiêu thụ của mạch

- **Công thức:** Công suất tiêu thụ trung bình trên cả mạch là: $P = U.I.\cos(\varphi) = I^2R$
- **Giải thích:** Công suất này là công suất tỏa nhiệt trên điện trở R. Cuộn cảm thuần và tụ điện không tiêu thụ công suất điện. Đơn vị công suất là Watt (W).

- **Ví dụ:** Một mạch RLC nối tiếp có $U = 200V$, $I = 2A$ và độ lệch pha giữa u và i là $\varphi = \pi/3$. Công suất tiêu thụ của mạch là $P = 200 \cdot 2 \cdot \cos(\pi/3) = 400 \cdot 0.5 = 200 \text{ W}$. Nếu mạch có $R = 50\Omega$, công suất cũng có thể tính là $P = I^2 R = 2^2 \cdot 50 = 200 \text{ W}$.

4.2. Hệ số công suất

- **Công thức:** $\cos(\varphi) = R / Z$

- **Giải thích:**

- Hệ số công suất cho biết tỉ lệ giữa công suất thực tế (tỏa nhiệt) và công suất biểu kiến (toàn phần).
- $\cos(\varphi)$ có giá trị từ 0 đến 1.
- Trong thực tế, người ta luôn tìm cách nâng cao hệ số công suất (tiến gần đến 1) để giảm hao phí điện năng trên đường dây truyền tải. Điều này thường được thực hiện bằng cách mắc thêm tụ điện để bù lại tính cảm kháng của các thiết bị điện.

- **Ví dụ:** Một mạch điện có $R = 60 \Omega$, $Z_L = 120 \Omega$, $Z_C = 40 \Omega$. Tổng trở $Z = \sqrt{60^2 + (120 - 40)^2} = \sqrt{3600 + 80^2} = 100 \Omega$. Hệ số công suất của mạch là $\cos(\varphi) = R/Z = 60/100 = 0.6$.