

I. Các đại lượng đặc trưng của mạch RLC nối tiếp

Mạch RLC nối tiếp là mạch điện gồm một điện trở thuần R , một cuộn cảm thuần có độ tự cảm L và một tụ điện có điện dung C mắc nối tiếp với nhau và đặt vào hai đầu một hiệu điện thế xoay chiều $u = U_0 \cos(\omega t + \varphi_u)$.

1. Điện trở thuần (R)

- **Công thức:** Điện trở R có giá trị không phụ thuộc vào tần số dòng điện.
- **Giải thích:** Điện trở R là đại lượng cản trở dòng điện, gây ra sự tiêu hao năng lượng dưới dạng nhiệt. Hiệu điện thế hai đầu điện trở u_r luôn cùng pha với cường độ dòng điện i .
- **Ví dụ:** Một điện trở 50Ω được mắc vào mạch điện. Dù tần số dòng điện là 50 Hz hay 60 Hz , giá trị điện trở vẫn là 50Ω .

2. Cảm kháng (Z_L)

- **Công thức:** $Z_L = \omega L = 2\pi fL$
- **Giải thích:** Cảm kháng là đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện xoay chiều của cuộn cảm. Z_L tỉ lệ thuận với tần số f của dòng điện. Trong mạch chỉ có cuộn cảm thuần, hiệu điện thế u_L sớm pha hơn cường độ dòng điện i một góc $\pi/2$.
- **Ví dụ 1:** Một cuộn cảm thuần có độ tự cảm $L = 1/\pi \text{ (H)}$ được mắc vào mạch điện xoay chiều có tần số $f = 50 \text{ Hz}$. Cảm kháng của cuộn cảm là: $Z_L = 2\pi fL = 2\pi * 50 * (1/\pi) = 100 \Omega$.

- **Ví dụ 2:** Nếu tăng tần số lên $f = 100 \text{ Hz}$, cảm kháng mới sẽ là: $Z_L' = 2\pi f'L = 2\pi * 100 * (1/\pi) = 200 \Omega$.

3. Dung kháng (Z_C)

- **Công thức:** $Z_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi fC)$
- **Giải thích:** Dung kháng là đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện xoay chiều của tụ điện. Z_C tỉ lệ nghịch với tần số f của dòng điện. Trong mạch chỉ có tụ điện, hiệu điện thế u_C trễ pha hơn cường độ dòng điện i một góc $\pi/2$.
- **Ví dụ 1:** Một tụ điện có điện dung $C = 10^{-4}/\pi \text{ (F)}$ được mắc vào mạch điện xoay chiều có tần số $f = 50 \text{ Hz}$. Dung kháng của tụ điện là: $Z_C = 1/(2\pi fC) = 1 / (2\pi * 50 * (10^{-4}/\pi)) = 100 \Omega$.
- **Ví dụ 2:** Nếu tăng tần số lên $f = 100 \text{ Hz}$, dung kháng mới sẽ là: $Z_C' = 1 / (2\pi * 100 * (10^{-4}/\pi)) = 50 \Omega$.

4. Tổng trở (Z)

- **Công thức:** $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$
- **Giải thích:** Tổng trở là đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện của toàn mạch RLC, có đơn vị là Ohm (Ω). Tổng trở phụ thuộc vào R , L , C và tần số f của dòng điện.
- **Ví dụ:** Cho mạch RLC nối tiếp có $R = 30 \Omega$, $L = 0.4/\pi \text{ H}$, $C = 10^{-3}/(4\pi) \text{ F}$ và tần số $f = 50 \text{ Hz}$.
 1. Tính cảm kháng: $Z_L = 2\pi fL = 2\pi * 50 * (0.4/\pi) = 40 \Omega$.
 2. Tính dung kháng: $Z_C = 1/(2\pi fC) = 1 / (2\pi * 50 * (10^{-3}/(4\pi))) = 40 \Omega$.

3. Tính tổng trở: $Z = \sqrt{(R^2 + (Z_L - Z_C)^2)} = \sqrt{(30^2 + (40 - 40)^2)} = \sqrt{30^2} = 30 \Omega$.

(Trường hợp này xảy ra cộng hưởng).

4. Nếu $R = 30 \Omega$, $Z_L = 70 \Omega$, $Z_C = 30 \Omega$ thì tổng trở là: $Z = \sqrt{(30^2 + (70 - 30)^2)} = \sqrt{(900 + 1600)} = \sqrt{2500} = 50 \Omega$.

II. Định luật Ôm và Độ lệch pha

1. Định luật Ôm cho đoạn mạch RLC

- **Công thức:**

- Quan hệ giá trị hiệu dụng: $I = U / Z$
- Quan hệ giá trị cực đại: $I_0 = U_0 / Z$

- **Giải thích:** Cường độ dòng điện hiệu dụng trong mạch tỉ lệ thuận với hiệu điện thế hiệu dụng và tỉ lệ nghịch với tổng trở của mạch.

- **Ví dụ:** Đặt một hiệu điện thế xoay chiều $u = 200\sqrt{2} \cos(100\pi t)$ V vào hai đầu đoạn mạch RLC nối tiếp có $R = 100 \Omega$, $Z_L = 200 \Omega$, $Z_C = 100 \Omega$.

1. Tổng trở: $Z = \sqrt{(100^2 + (200 - 100)^2)} = \sqrt{(10000 + 10000)} = 100\sqrt{2} \Omega$.

2. Hiệu điện thế hiệu dụng: $U = U_0/\sqrt{2} = 200\sqrt{2}/\sqrt{2} = 200$ V.

3. Cường độ dòng điện hiệu dụng: $I = U/Z = 200 / (100\sqrt{2}) = \sqrt{2}$ A.

2. Độ lệch pha φ giữa u và i

- **Công thức:** $\tan(\varphi) = (Z_L - Z_C) / R$

- **Giải thích:** φ là độ lệch pha của hiệu điện thế u so với cường độ dòng điện i ($\varphi = \varphi_u - \varphi_i$). Dấu của φ cho biết sự sớm pha hay trễ pha của u so với i .

Trường hợp	Điều kiện	Độ lệch pha	Tính chất mạch
Cảm kháng > Dung kháng	$Z_L > Z_C$	$\tan(\varphi) > 0 \rightarrow 0 < \varphi < \pi/2$	Mạch có tính cảm kháng, u sớm pha hơn i .
Cảm kháng < Dung kháng	$Z_L < Z_C$	$\tan(\varphi) < 0 \rightarrow -\pi/2 < \varphi < 0$	Mạch có tính dung kháng, u trễ pha hơn i .
Cộng hưởng	$Z_L = Z_C$	$\tan(\varphi) = 0 \rightarrow \varphi = 0$	Mạch có tính trở kháng, u cùng pha với i .

- **Ví dụ:** Cho mạch RLC có $R = 50 \Omega$, $Z_L = 100 \Omega$, $Z_C = 50 \Omega$.

1. Tính $\tan(\varphi)$: $\tan(\varphi) = (100 - 50) / 50 = 1$.
2. Suy ra độ lệch pha: $\varphi = \pi/4$ (rad). Vậy hiệu điện thế u sớm pha hơn cường độ dòng điện i một góc $\pi/4$.
3. Nếu biểu thức dòng điện là $i = 2\cos(100\pi t)$ A, thì biểu thức hiệu điện thế là $u = U_0\cos(100\pi t + \pi/4)$ V.

III. Hiện tượng cộng hưởng điện

Đây là trường hợp đặc biệt và rất quan trọng của mạch RLC nối tiếp.

1. Điều kiện xảy ra cộng hưởng

- **Công thức:** $Z_L = Z_C \Leftrightarrow \omega L = 1/(\omega C) \Leftrightarrow \omega^2 LC = 1$
- **Giải thích:** Cộng hưởng điện xảy ra khi cảm kháng và dung kháng của mạch bằng nhau. Điều này có thể đạt được bằng cách thay đổi tần số f , độ tự cảm L , hoặc điện dung C . Tần số để xảy ra cộng hưởng được gọi là tần số cộng hưởng f_0 .
- **Tần số cộng hưởng:** $f_0 = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$

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: $I_{\max} = U / R$.
- Hiệu điện thế u cùng pha với cường độ dòng điện i : $\varphi = 0$.
- Hiệu điện thế hiệu dụng giữa hai đầu cuộn cảm và tụ điện bằng nhau: $U_L = U_C$.
- Công suất tiêu thụ của mạch đạt giá trị cực đại: $P_{\max} = U^2/R = I_{\max}^2 R$.

3. Ví dụ minh họa

Cho mạch RLC nối tiếp có $R = 40 \Omega$, $L = 1/\pi \text{ H}$, $C = 10^{-4}/(2\pi) \text{ F}$. Hiệu điện thế hai đầu mạch là $u = 120\sqrt{2} \cos(\omega t) \text{ V}$. Tìm ω để trong mạch xảy ra cộng hưởng và tính cường độ dòng điện cực đại khi đó.

1. **Điều kiện cộng hưởng:** $\omega^2 LC = 1 \rightarrow \omega = 1/\sqrt{LC} = 1 / \sqrt{(1/\pi) * (10^{-4}/(2\pi))} = 1 / \sqrt{10^{-4}/(2\pi^2)} = 100\sqrt{2}\pi \text{ rad/s}$. (Lưu ý: Ví dụ này cho ω không tròn, trong thực tế thường cho số đẹp hơn).

2. Giả sử tần số góc là $\omega = 100\pi$ rad/s. Ta kiểm tra:

- $Z_L = \omega L = 100\pi * (1/\pi) = 100 \Omega$.
- $Z_C = 1/(\omega C) = 1 / (100\pi * 10^{-4}/(2\pi)) = 1 / (10^{-2}/2) = 200 \Omega$.
- Mạch chưa cộng hưởng.

3. **Ví dụ khác (với số liệu phù hợp):** Cho $R = 20 \Omega$, $L = 0.2/\pi$ H, $C = 10^{-3}/(2\pi)$ F, $u = 80\cos(100\pi t)$ V.

- $Z_L = 100\pi * (0.2/\pi) = 20 \Omega$.
- $Z_C = 1 / (100\pi * 10^{-3}/(2\pi)) = 1 / (0.05) = 20 \Omega$.
- Vì $Z_L = Z_C$, mạch xảy ra cộng hưởng.
- Tổng trở: $Z = R = 20 \Omega$.
- Cường độ dòng điện hiệu dụng cực đại: $I_{\max} = U/R = (80/\sqrt{2}) / 20 = 2\sqrt{2}$ A.

IV. Công suất của mạch điện xoay chiều

1. Công suất tiêu thụ (P)

• **Công thức:** $P = UI\cos(\varphi) = I^2R$

• **Giải thích:** Công suất tiêu thụ (hay công suất tỏa nhiệt) là công suất thực tế mà mạch tiêu thụ để chuyển hóa thành các dạng năng lượng khác (chủ yếu là nhiệt). Trong mạch RLC, chỉ có điện trở R tiêu thụ công suất này. Cuộn cảm thuần và tụ điện không tiêu thụ công suất (chúng chỉ trao đổi năng lượng với mạch). Đơn vị của công suất là Watt (W).

• **Ví dụ:** Mạch RLC có $U = 100$ V, $I = 2$ A, và độ lệch pha giữa u và i là $\varphi = \pi/3$.

1. Công suất tiêu thụ: $P = UI\cos(\varphi) = 100 * 2 * \cos(\pi/3) = 200 * 0.5 = 100 \text{ W}$.

2. Nếu biết $R = 25 \Omega$, ta cũng có thể tính $P = I^2R = 2^2 * 25 = 4 * 25 = 100 \text{ W}$.

2. Hệ số công suất ($\cos \varphi$)

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

- **Giải thích:** Hệ số công suất cho biết tỉ lệ giữa công suất tiêu thụ (công suất có ích) và công suất toàn phần ($S = UI$). Giá trị của $\cos(\varphi)$ nằm trong khoảng từ 0 đến 1.

- $\cos(\varphi)$ gần bằng 1: Mạch tiêu thụ điện hiệu quả, phần lớn năng lượng được chuyển thành công có ích.
- $\cos(\varphi)$ gần bằng 0: Mạch tiêu thụ điện không hiệu quả.

Trong thực tế, người ta luôn tìm cách nâng cao hệ số công suất (đưa về gần 1) để giảm hao phí điện năng trên đường dây truyền tải.

- **Ví dụ:** Mạch điện có $R = 60 \Omega$, $Z_L = 120 \Omega$, $Z_C = 40 \Omega$.

1. Tính tổng trở: $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} = \sqrt{60^2 + (120 - 40)^2} = \sqrt{3600 + 6400} = \sqrt{10000} = 100 \Omega$.

2. Tính hệ số công suất: $\cos(\varphi) = R/Z = 60/100 = 0.6$.