

Dòng điện xoay chiều

Vật lý · Lớp 12

Giáo viên: Phúc Hảo

- ▶ Nêu được cấu tạo của **mạch RLC nối tiếp** và ý nghĩa các đại lượng.
- ▶ Vẽ và đọc được **giản đồ vectơ Fre-nen** cho mạch RLC.
- ▶ Viết được công thức tính **tổng trở, độ lệch pha** và định luật Ohm cho mạch xoay chiều.
- ▶ Vận dụng giải bài tập tính I , U , φ trong mạch RLC nối tiếp.

Ý chính: Vì sao khi bật quạt hay đèn huỳnh quang, dòng điện lại "trễ" hoặc "vượt" so với điện áp?

Ở nhà, ổ điện cấp cho ta điện áp xoay chiều $u = U_0 \cos(\omega t)$. Nhưng thiết bị điện không chỉ có **điện trở** (bếp, bàn là) — nhiều thiết bị còn có **cuộn dây** (quạt, biến áp) và **tụ điện**.

Liên hệ thực tế

Cuộn dây và tụ điện khiến dòng điện **không đồng pha** với điện áp. Hiểu điều này giúp ta giải thích công tơ điện, hệ số công suất và cách nhà máy "bù công suất". Bài học hôm nay sẽ giải mã hiện tượng đó qua **mạch RLC nối tiếp**.

1

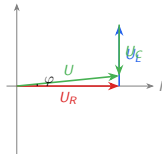
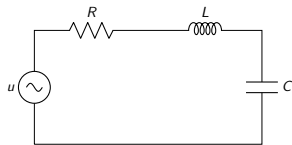
Cấu tạo mạch RLC nối tiếp

Mạch RLC nối tiếp là gì?

Định nghĩa

Mạch RLC nối tiếp gồm một điện trở thuần R , một cuộn cảm thuần L và một tụ điện C mắc **nối tiếp**, đặt vào hai đầu một điện áp xoay chiều.

- ▶ Dòng điện qua các phần tử là **như nhau**: $i = I_0 \cos(\omega t)$.
- ▶ Điện áp hai đầu mạch:
 $u = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$.



- ▶ **Điện trở** R : cản trở dòng điện, u_R **cùng pha** với i .
- ▶ **Cuộn cảm** L : cản trở bằng **cảm kháng** $Z_L = \omega L$, u_L **sớm pha** $\frac{\pi}{2}$ so với i .
- ▶ **Tụ điện** C : cản trở bằng **dung kháng** $Z_C = \frac{1}{\omega C}$, u_C **trễ pha** $\frac{\pi}{2}$ so với i .

Ghi nhớ

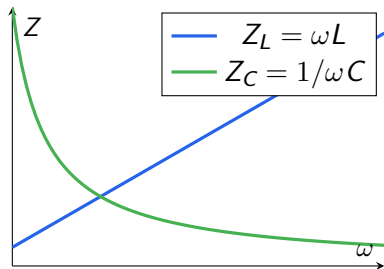
Mẹo nhớ pha: " **L sớm, C trễ**". Với cuộn cảm điện áp đi trước dòng điện; với tụ điện điện áp đi sau. Còn điện trở thì luôn "đồng hành" cùng dòng điện.

Cảm kháng và dung kháng phụ thuộc tần số

- ▶ Cảm kháng $Z_L = \omega L$ **tăng** theo tần số.
- ▶ Dung kháng $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ **giảm** khi tần số tăng.

Liên hệ thực tế

Ở tần số cao, tụ "dễ cho qua" còn cuộn dây "chặn mạnh" — đó là nguyên lý của mạch lọc âm loa (loa trầm nối cuộn cảm, loa cao nối tụ).



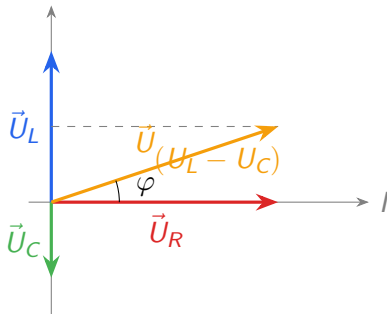
2

Giải đồ vectơ và tổng trở

Biểu diễn mỗi điện áp bằng một **vector quay**:

- ▶ $\vec{U}_R$ cùng chiều $\vec{I}$ (trục ngang).
- ▶ $\vec{U}_L$ hướng **lên** (sớm pha 90°).
- ▶ $\vec{U}_C$ hướng **xuống** (trễ pha 90°).

Cộng vectơ $\Rightarrow \vec{U}$ là điện áp hai đầu mạch, hợp với $\vec{I}$ góc φ .



Tổng trở của mạch

Từ giản đồ vectơ, áp dụng định lý Pytago cho tam giác điện áp:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

Chia hai vế cho I (vì $U_R = IR$, $U_L = IZ_L$, $U_C = IZ_C$), ta được **tổng trở**:

Tổng trở Z

$$Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Định luật Ohm cho mạch xoay chiều

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{hay} \quad I_0 = \frac{U_0}{Z}.$$

Ý chính: Góc φ cho biết dòng điện "trễ" hay "vượt" so với điện áp.

$$\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{Z_L - Z_C}{R}.$$

- ▶ Nếu $Z_L > Z_C$: $\varphi > 0$ — mạch có **tính cảm kháng**, u sớm pha hơn i .
- ▶ Nếu $Z_L < Z_C$: $\varphi < 0$ — mạch có **tính dung kháng**, u trễ pha hơn i .
- ▶ Nếu $Z_L = Z_C$: $\varphi = 0$ — xảy ra **cộng hưởng điện**.

Hiện tượng cộng hưởng điện

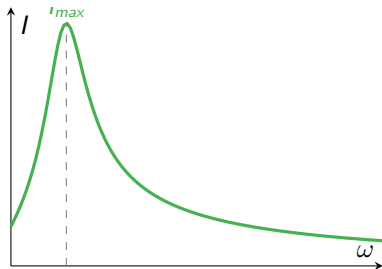
Cộng hưởng

Khi $Z_L = Z_C$, tức $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, tổng trở đạt **giá trị nhỏ nhất** $Z = R$, nên dòng điện đạt **cực đại** $I_{max} = \frac{U}{R}$.

Điều kiện: $\omega^2 LC = 1 \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Liên hệ thực tế

Cộng hưởng chính là cách radio "bắt" đúng đài: chỉnh C để tần số riêng trùng tần số sóng cần thu.

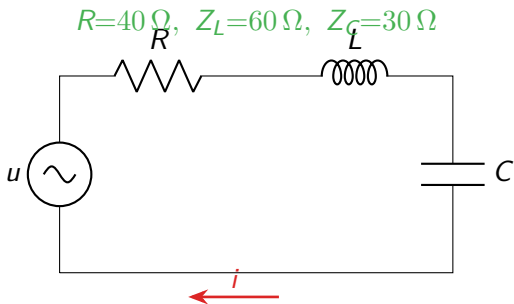


3

Ví dụ vận dụng

Ví dụ 1 — Sơ đồ mạch

Cho mạch RLC nối tiếp: $R = 40 \Omega$, $Z_L = 60 \Omega$, $Z_C = 30 \Omega$, điện áp hiệu dụng $U = 100 \text{ V}$. Tính Z , I và độ lệch pha φ .



Bước 1. Tính tổng trở (dùng công thức tổng trở):

$$Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} = \sqrt{40^2 + (60 - 30)^2} = \sqrt{1600 + 900} = 50 \, \Omega.$$

Bước 2. Tính cường độ dòng điện hiệu dụng (định luật Ohm):

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{50} = 2 \, \text{A}.$$

Bước 3. Tính độ lệch pha (vì $Z_L > Z_C$ nên mạch có tính cảm kháng, $\varphi > 0$):

$$\tan \varphi = \frac{Z_L - Z_C}{R} = \frac{30}{40} = 0,75 \Rightarrow \varphi \approx 36,9^\circ.$$

Kết luận

$Z = 50 \, \Omega$, $I = 2 \, \text{A}$, điện áp **sớm pha** $\varphi \approx 37^\circ$ so với dòng điện.

Đặt điện áp $u = 200 \cos(100\pi t)$ (V) vào mạch RLC nối tiếp có $R = 100 \Omega$, $L = \frac{1}{\pi}$ H, $C = \frac{10^{-4}}{\pi}$ F.

Yêu cầu

- a) Tính cảm kháng Z_L và dung kháng Z_C .
- b) Tính tổng trở Z và cường độ dòng điện cực đại I_0 .
- c) Nhận xét về pha giữa u và i .

Lưu ý — lỗi thường gặp

Đề cho $u = U_0 \cos(\dots)$ nên $U_0 = 200$ V là **giá trị cực đại**, không phải hiệu dụng.
Tần số góc $\omega = 100\pi$ rad/s.

Bước 1. Tính Z_L , Z_C (dùng $Z_L = \omega L$, $Z_C = 1/(\omega C)$):

$$Z_L = 100\pi \cdot \frac{1}{\pi} = 100 \Omega, \quad Z_C = \frac{1}{100\pi \cdot \frac{10^{-4}}{\pi}} = 100 \Omega.$$

Bước 2. Vì $Z_L = Z_C$ nên xảy ra **cộng hưởng**, tổng trở nhỏ nhất:

$$Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} = R = 100 \Omega.$$

Bước 3. Tính dòng điện cực đại và pha:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{200}{100} = 2 \text{ A}, \quad \tan \varphi = \frac{Z_L - Z_C}{R} = 0 \Rightarrow \varphi = 0.$$

Kết luận

Mạch cộng hưởng: $I_0 = 2 \text{ A}$ đạt cực đại, u và i cùng pha.

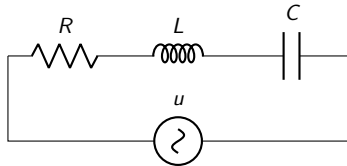
Luyện tập nhanh · Nhận biết

Trong mạch RLC nối tiếp, tổng trở Z được tính bằng công thức nào?

- A. $Z = R + Z_L + Z_C$
- B. $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$
- C. $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L + Z_C)^2}$
- D. $Z = R^2 + (Z_L - Z_C)^2$

Đáp án đúng: B. $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$.

Vì R , Z_L , Z_C không cùng pha nên KHÔNG cộng đại số (A sai). Bấy: dấu là $Z_L - Z_C$ chứ không phải cộng (C sai vì Z_L , Z_C ngược pha). D quên căn bậc hai.



Luyện tập nhanh · Nhận biết

Mạch điện như hình vẽ là loại mạch gì?

- A. RLC song song
- B. RLC nối tiếp
- C. Chỉ có R và L
- D. Chỉ có L và C

Đáp án đúng: B. RLC nối tiếp.

Ba phần tử mắc nối đuôi nhau trên một nhánh nên cùng dòng điện chạy qua. Bấy A: song song thì các phần tử phải chung hai đầu. C, D bỏ sót phần tử có trong sơ đồ.

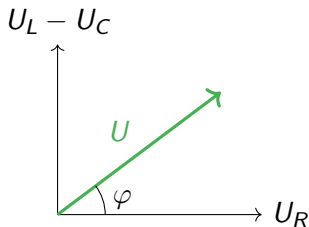
Luyện tập nhanh · Nhận biết

Khi xảy ra cộng hưởng điện trong mạch RLC nối tiếp thì:

- A. $Z_L = Z_C$ và tổng trở đạt cực đại
- B. $Z_L = Z_C$ và cường độ dòng điện đạt cực đại
- C. $Z_L > Z_C$ và mạch có tính cảm kháng
- D. $Z_L = 0$ và $Z_C = 0$

Đáp án đúng: B. $Z_L = Z_C \Rightarrow Z = R$ nhỏ nhất nên $I = U/R$ cực đại.

Bẫy A: nhầm cực đại/cực tiểu — cộng hưởng làm Z nhỏ nhất. C mô tả trạng thái chưa cộng hưởng. D hiểu sai: cộng hưởng là $Z_L = Z_C$ chứ không phải bằng 0.



Luyện tập nhanh · Thông hiểu

Từ giản đồ vectơ, độ lệch pha φ giữa u và i được xác định bởi:

A. $\tan \varphi = \frac{U_R}{U_L - U_C}$

B. $\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R}$

C. $\cos \varphi = \frac{U_L - U_C}{U}$

D. $\tan \varphi = \frac{U_C - U_L}{U_R}$

Đáp án đúng: B. $\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{Z_L - Z_C}{R}.$

Bây A: đảo tử/mẫu. C nhầm $\cos \varphi = U_R/U$ chứ không phải $(U_L - U_C)/U$. D sai dấu — giả sử cho $U_L > U_C$ nên $\varphi > 0$ (mạch có tính cảm kháng).

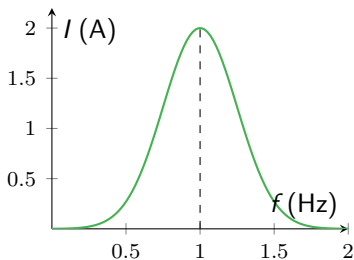
Luyện tập nhanh · Thông hiểu

Mạch RLC có $R = 40 \Omega$, $Z_L = 60 \Omega$, $Z_C = 30 \Omega$. Tổng trở của mạch là:

- A. 130Ω
- B. 50Ω
- C. 70Ω
- D. 90Ω

Đáp án đúng: B. $Z = \sqrt{40^2 + (60 - 30)^2} = \sqrt{1600 + 900} = 50 \Omega$.

Bẫy A: cộng thẳng $40 + 60 + 30$. C: quên trừ Z_C ($\sqrt{40^2 + 60^2}$ kiểu sai). D: nhầm $Z_L - Z_C$ thành $Z_L + Z_C - \dots$



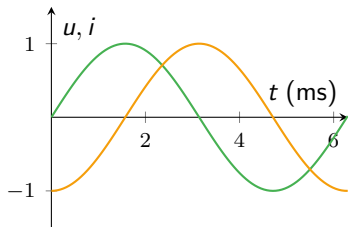
Luyện tập nhanh · Thông hiểu

Đồ thị I theo tần số f như hình. Tại đỉnh của đồ thị, mạch đang:

- A. Có tính cảm kháng
- B. Xảy ra cộng hưởng điện
- C. Có tính dung kháng
- D. Bị hở mạch

Đáp án đúng: B. I cực đại tại đỉnh $\Rightarrow$ cộng hưởng ($Z_L = Z_C$, $Z = R$).

Bấy A, C: hai bên đỉnh mới có tính cảm/dung kháng, tại đỉnh thì cân bằng. D: hở mạch thì $I = 0$, trái với đồ thị.



Luyện tập nhanh · Vận dụng

Đồ thị u (xanh đậm) và i (đường còn lại). i trễ pha $\pi/2$ so với u . Mạch này có đặc điểm:

- A. Chỉ chứa R
- B. Có tính cảm kháng ($Z_L > Z_C$)
- C. Có tính dung kháng ($Z_C > Z_L$)
- D. Đang cộng hưởng

Đáp án đúng: B. i trễ pha hơn $u \Rightarrow \varphi > 0 \Rightarrow Z_L > Z_C$: tính cảm kháng.

Bẫy C: nhầm chiều lệch pha — nếu i sớm pha mới là dung kháng. A, D ứng với $\varphi = 0$ (u, i cùng pha), khác với hình.

Luyện tập nhanh · Vận dụng

Mạch RLC nối tiếp: $u = 200 \cos(100\pi t)$ V, $R = 50 \Omega$, $Z_L = 80 \Omega$, $Z_C = 40 \Omega$. Công suất tiêu thụ của mạch là:

- A. 400 W
- B. 200 W
- C. 244 W
- D. 160 W

Đáp án đúng: C. $Z = \sqrt{50^2 + (80 - 40)^2} = \sqrt{4100} \approx 64 \Omega$; $U = U_0/\sqrt{2} \approx 141 \text{ V}$;
 $I = U/Z \approx 2.21 \text{ A}$; $P = I^2 R \approx 2.21^2 \cdot 50 \approx 244 \text{ W}$.

Bẫy A: dùng $P = U^2/R$ (coi $Z = R$, bỏ phần kháng) cho $141^2/50 \approx 400 \text{ W}$. B: làm tròn $I \approx 2 \text{ A}$ rồi $P = I^2 R = 2^2 \cdot 50 = 200 \text{ W}$. D: giá trị nhiều.

1. Mạch RLC nối tiếp có $R = 30 \Omega$, $Z_L = 40 \Omega$, $Z_C = 80 \Omega$, $U = 100 \text{ V}$. Tính Z , I và $\cos \varphi$.
2. Cho $L = 0.2 \text{ H}$, $C = 50 \mu\text{F}$. Tìm tần số để mạch xảy ra cộng hưởng điện.
3. Vẽ giản đồ vectơ và xác định mạch có tính cảm kháng hay dung kháng khi $Z_L = 100 \Omega$, $Z_C = 60 \Omega$.

Gợi ý

Bài 1: $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$, $\cos \varphi = R/Z$. Bài 2: cộng hưởng khi $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$.

Bài 3: so sánh Z_L với Z_C để kết luận dấu φ .

1. Mạch RLC: $R = 60\ \Omega$, $Z_L = 100\ \Omega$, $Z_C = 20\ \Omega$, $U = 120\text{ V}$. Tính I , φ , P .
2. Chứng minh khi cộng hưởng thì $U_L = U_C$ và $U = U_R$.
3. Cho C thay đổi được, tìm điều kiện để U_C đạt cực đại.
4. Một mạch có $\cos \varphi = 0,8$, $P = 160\text{ W}$, $U = 100\text{ V}$. Tìm I và R .
5. Giải thích vì sao cộng hưởng điện được ứng dụng trong mạch dò sóng radio.

Đọc trước: Bài "Công suất của dòng điện xoay chiều và hệ số công suất".

Bảng tóm tắt công thức mạch RLC nối tiếp

Đại lượng	Công thức
Cảm kháng	$Z_L = \omega L = 2\pi fL$
Dung kháng	$Z_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
Tổng trở	$Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$
Định luật Ohm	$I = \frac{U}{Z}$
Độ lệch pha	$\tan \varphi = \frac{Z_L - Z_C}{R}$
Hệ số công suất	$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$
Công suất	$P = UI \cos \varphi = I^2 R$

Điều kiện	Tính chất	Pha của i so với u
$Z_L > Z_C$	Cảm kháng	i trễ pha, $\varphi > 0$
$Z_L < Z_C$	Dung kháng	i sớm pha, $\varphi < 0$
$Z_L = Z_C$	Cộng hưởng	i cùng pha, $\varphi = 0$

Ghi nhớ

Khi cộng hưởng: $Z_{\min} = R$, $I_{\max} = U/R$, $P_{\max} = U^2/R$, $\cos \varphi = 1$.

- ▶ Tổng trở mạch RLC nối tiếp: $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$ — luôn nhớ dấu *trừ* và *căn bậc hai*.
- ▶ Độ lệch pha $\tan \varphi = \frac{Z_L - Z_C}{R}$ cho biết mạch có tính cảm kháng, dung kháng hay cộng hưởng.
- ▶ Cộng hưởng điện ($Z_L = Z_C$) làm tổng trở nhỏ nhất, dòng điện và công suất cực đại.
- ▶ Công suất chỉ tiêu thụ trên R : $P = UI \cos \varphi = I^2 R$; hệ số công suất $\cos \varphi = R/Z$.

Liên hệ: Hiện tượng cộng hưởng chính là nguyên lí giúp máy thu thanh chọn đúng đài phát mà ta mong muốn.

Cảm ơn các em đã lắng nghe!

Bài giảng biên soạn với EduFlow · agentra.io.vn
