

28

MẠCH CÓ R, L, C MẮC NỐI TIẾP CỘNG HƯỚNG ĐIỆN

Đoạn mạch điện xoay chiều có cả ba loại phẩn tử (điện trở, cuộn cảm, tụ điện) mắc nối tiếp có một số đặc tính khác với đoạn mạch điện xoay chiều chỉ có một loại phẩn tử. Khi ta tăng dần một thông số nào đó của mạch, chẳng hạn như điện dung của tụ điện, cường độ hiệu dụng của dòng điện có thể tăng rồi lại giảm. Bài này dùng phương pháp giàn đồ Fre-nen để nghiên cứu đoạn mạch đó.

1. Các giá trị tức thời

Xét đoạn mạch vẽ ở Hình 28.1, 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. Ta gọi đó là đoạn mạch có R, L, C mắc nối tiếp hoặc gọi tắt là đoạn mạch RLC nối tiếp.

Đặt vào hai đầu A, B của đoạn mạch trên một điện áp xoay chiều u có tần số góc ω . Trong mạch có dao động điện cưỡng bức với tần số góc bằng tần số góc của điện áp.

Giả sử cường độ dòng điện trong đoạn mạch có biểu thức $i = I_0 \cos \omega t$. Dựa vào tính chất của các đoạn mạch chỉ chứa một loại phẩn tử đã học, ta viết được biểu thức của các điện áp tức thời :

$$u_R = u_{AM} = I_0 R \cos \omega t = U_{0R} \cos \omega t$$

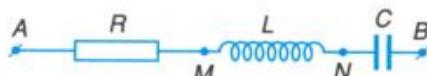
$$u_L = u_{MN} = \omega L I_0 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$= U_{0L} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$u_C = u_{NB} = \frac{I_0}{\omega C} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$= U_{0C} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

C1 Các phẩn tử mắc với nhau như thế nào thì gọi là mắc nối tiếp ? Viết các công thức về hiệu điện thế và cường độ dòng điện trong đoạn mạch một chiều gồm các điện trở mắc nối tiếp.



Hình 28.1 Sơ đồ đoạn mạch có R, L, C mắc nối tiếp.

Nếu nối hai đầu đoạn mạch AB bằng một dây dẫn, ta có một mạch dao động với tần số dao động riêng là ω_0 . Tần số này chỉ phụ thuộc vào đặc tính của đoạn mạch và nói chung khác với tần số ω của điện áp bên ngoài.

Vì các phân tử trong đoạn mạch AB mắc nối tiếp
nên điện áp tức thời giữa hai đầu A, B là :

$$u = u_R + u_L + u_C \quad (28.1)$$

Vì u là tổng của các điện áp biến thiên điều hoà
cùng tần số góc ω nên u cũng là một điện áp biến
thiên điều hoà với tần số góc ω .

2. Giản đồ Fre-nen. Quan hệ giữa cường độ dòng điện và điện áp

a) Giản đồ Fre-nen

Để tìm biểu thức của u , ta có thể dùng phương
pháp giản đồ Fre-nen. Nếu biểu diễn các điện áp
xoay chiều bằng các vectơ quay tương ứng :

$u \leftrightarrow \vec{U}$, $u_R \leftrightarrow \vec{U}_R$, $u_L \leftrightarrow \vec{U}_L$, $u_C \leftrightarrow \vec{U}_C$
thì ta có :

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C \quad (28.2)$$

Góc hợp bởi các vectơ $\vec{U}_R, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ với trục Ox

vào thời điểm $t = 0$ lần lượt là : $0 ; \frac{\pi}{2} ; -\frac{\pi}{2}$.

Việc tổng hợp các vectơ quay có thể tiến hành theo
quy tắc hình bình hành (Hình 28.2) hoặc theo quy
tắc đa giác (Hình 28.3). Các giản đồ ở các hình này
vẽ cho trường hợp $U_L > U_C$.

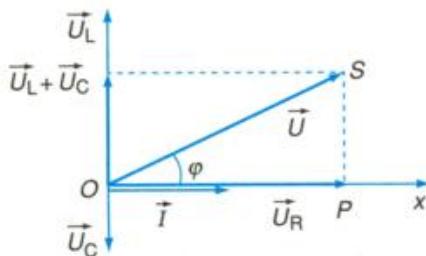
b) Định luật Ôm cho đoạn mạch RLC nối tiếp. Tổng trở

Xét tam giác vuông OPS trên giản đồ vectơ, ta có :

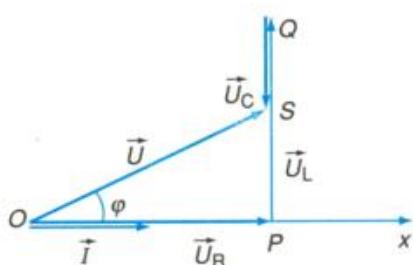
$$\cdot \overline{OS} = U ; \overline{OP} = U_R ; \overline{PS} = U_L - U_C$$

$$\overline{OS} = \sqrt{\overline{OP}^2 + \overline{PS}^2}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (28.3)$$



Hình 28.2 Tổng hợp các vectơ theo
quy tắc hình bình hành.



Hình 28.3 Tổng hợp các vectơ theo
quy tắc đa giác.

C2 Điện áp hiệu dụng giữa hai
đầu một phần tử trong đoạn
mạch RLC nối tiếp có thể lớn
hơn điện áp hiệu dụng giữa hai
đầu đoạn mạch được không?
Hãy cho một ví dụ.

C3 Làm thí nghiệm đo điện áp
hiệu dụng giữa hai đầu các
phần tử R, L, C rồi so sánh với
điện áp hiệu dụng giữa hai đầu
đoạn mạch.

Thay $U_R = IR$; $U_L = I\omega L$; $U_C = \frac{I}{\omega C}$ vào công thức (28.3), ta tìm được cường độ dòng điện hiệu dụng :

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Nếu đặt :

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (28.4)$$

thì

$$I = \frac{U}{Z} \quad (28.5)$$

Đó là công thức của định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều có R, L, C mắc nối tiếp. Đối với dòng điện xoay chiều tần số góc ω , đại lượng Z đóng vai trò tương tự như điện trở đối với dòng điện không đổi và được gọi là *tổng trở* của đoạn mạch.

c) Độ lệch pha của điện áp so với cường độ dòng điện

Xét tam giác vuông OPS trên giản đồ, ta có :

$$\tan \varphi = \frac{\overline{PS}}{\overline{OP}} = \frac{U_L - U_C}{U_R}$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (28.6)$$

với φ là *độ lệch pha* của u so với i .

Nếu đoạn mạch có tính cảm kháng tức là cảm kháng lớn hơn dung kháng $\left(\omega L > \frac{1}{\omega C}\right)$ thì $\varphi > 0$, cường độ dòng điện trễ pha so với điện áp giữa hai đầu đoạn mạch. Nếu đoạn mạch có tính dung kháng, tức là dung kháng lớn hơn cảm kháng $\left(\frac{1}{\omega C} > L\omega\right)$ thì $\varphi < 0$, cường độ dòng điện sớm pha so với điện áp giữa hai đầu đoạn mạch.

Trong trường hợp $U_L < U_C$ thì $\overline{PS} = U_L - U_C < 0$, tam giác OSP vẽ tương tự như ở Hình 28.3 nhưng có điểm S nằm dưới trục Ox , các công thức vẫn đúng.

Khi tính tổng trở, nếu các đại lượng R, L, C, ω tương ứng đo bằng các đơn vị $\Omega, H, F, \text{rad/s}$ thì tổng trở có đơn vị là Ω .

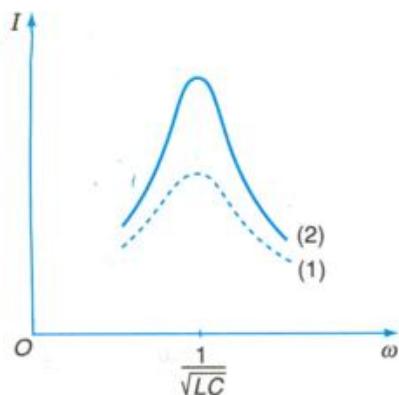
Vì cường độ dòng điện biến đổi đồng pha với điện áp giữa hai đầu điện trở nên độ lệch pha của điện áp u giữa hai đầu đoạn mạch so với cường độ dòng điện được xác định bằng góc φ giữa hai vectơ \vec{U} và \vec{U}_R .

Nếu $u = U_0 \sin(\omega t + \varphi_1)$ thì :

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi_1 - \varphi)$$

với φ xác định bởi công thức (28.6).

Các đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện xoay chiều còn có tên chung là *trở kháng*.



Hình 28.4 Các đường biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ dòng điện I trong đoạn mạch RLC nối tiếp vào tần số góc.

Đường (1) ứng với điện trở R lớn.

Đường (2) ứng với điện trở R nhỏ hơn.

Nếu điện trở R của đoạn mạch nhỏ, điểm cực đại của đường cong ở cao hơn, hiện tượng cộng hưởng xảy ra rõ hơn, ta nói khi đó có *cộng hưởng nhọn* hơn.

C4 Trong trường hợp nào thì khi tăng dần điện dung C của tụ điện trong đoạn mạch RLC nối tiếp, cường độ dòng điện hiệu dụng tăng rồi lại giảm?

3. Cộng hưởng điện

Nếu giữ nguyên giá trị của điện áp hiệu dụng U giữa hai đầu đoạn mạch và thay đổi tần số góc ω đến giá trị sao cho $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ thì có hiện tượng đặc biệt xảy ra trong đoạn mạch, gọi là hiện tượng *cộng hưởng điện*. Khi đó :

- Tổng trở của đoạn mạch đạt giá trị cực tiểu : $Z_{\min} = R$.

- Cường độ hiệu dụng của dòng điện trong đoạn mạch đạt giá trị cực đại : $I_{\max} = \frac{U}{R}$.

- Các điện áp tức thời giữa hai bản tụ điện và hai đầu cuộn cảm có biên độ bằng nhau nhưng ngược pha nên triệt tiêu lẫn nhau. Điện áp giữa hai đầu điện trở R bằng điện áp giữa hai đầu đoạn mạch.

- Cường độ dòng điện biến đổi đồng pha với điện áp giữa hai đầu đoạn mạch.

Điều kiện để xảy ra hiện tượng cộng hưởng điện trong đoạn mạch xoay chiều RLC nối tiếp là :

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

hay

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (28.7)$$

Tiến hành thí nghiệm, người ta vẽ được đường biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện I trong đoạn mạch RLC nối tiếp vào tần số góc (Hình 28.4). Đó là đường cong cộng hưởng điện.

CÂU HỎI

1. Viết công thức tính tổng trở của các đoạn mạch chỉ có hai trong ba loại phần tử : R , L , C mắc nối tiếp.
2. Cho f là tần số dòng điện. Hãy tính tổng trở của :

- đoạn mạch chỉ có hai cuộn cảm thuần có độ tự cảm là L_1, L_2 mắc nối tiếp.
 - đoạn mạch chỉ có hai tụ điện có điện dung là C_1, C_2 mắc nối tiếp.
3. Nêu điều kiện và đặc điểm của hiện tượng cộng hưởng điện đối với đoạn mạch RLC nối tiếp.



BÀI TẬP

- Dung kháng của một đoạn mạch RLC nối tiếp đang có giá trị nhỏ hơn cảm kháng. Ta làm thay đổi chỉ một trong các thông số của đoạn mạch bằng các cách nêu sau đây, cách nào có thể làm cho hiện tượng cộng hưởng điện xảy ra ?
 - Tăng điện dung của tụ điện.
 - Tăng hệ số tự cảm của cuộn dây.
 - Giảm điện trở thuần của đoạn mạch.
 - Giảm tần số dòng điện.
- Điện áp giữa hai đầu một đoạn mạch RLC nối tiếp sớm pha $\frac{\pi}{4}$ so với cường độ dòng điện. Phát biểu nào sau đây đúng đắn với đoạn mạch này ?
 - Tần số dòng điện trong đoạn mạch nhỏ hơn giá trị cần để xảy ra cộng hưởng.
 - Tổng trở của đoạn mạch bằng hai lần điện trở thuần của mạch.
 - Hiệu số giữa cảm kháng và dung kháng bằng điện trở thuần của đoạn mạch.
 - Điện áp giữa hai đầu điện trở thuần sớm pha $\frac{\pi}{4}$ so với điện áp giữa hai bản tụ điện.
- Cho đoạn mạch RLC nối tiếp có $R = 50 \Omega$; $L = 159 \text{ mH}$, $C = 31,8 \mu\text{F}$. Điện áp giữa hai đầu đoạn mạch có biểu thức $u = 120\cos 100\pi t$ (V). Tính tổng trở của đoạn mạch và viết biểu thức của cường độ dòng điện tức thời qua đoạn mạch.
- Trong một đoạn mạch xoay chiều RLC nối tiếp, hệ số tự cảm của cuộn dây là $L = 0,1 \text{ H}$; tụ điện có điện dung $C = 1 \mu\text{F}$; tần số dòng điện là $f = 50 \text{ Hz}$.
 - Hỏi cường độ dòng điện trong đoạn mạch biến thiên sớm pha hay trễ pha so với điện áp ở hai đầu đoạn mạch ?
 - Cần phải thay tụ điện nói trên bởi một tụ có điện dung C' bằng bao nhiêu để trên đoạn mạch xảy ra hiện tượng cộng hưởng điện ?