

13

CÁC MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU

Trong bài này ta nghiên cứu dòng điện xoay chiều xuất hiện trong một mạch điện khi giữa hai đầu của mạch điện có tác dụng một điện áp xoay chiều (H.13.1).

Thực nghiệm và lí thuyết chứng tỏ rằng nếu cường độ dòng điện xoay chiều trong đoạn mạch điện có dạng :

$$i = I_0 \cos \omega t = I\sqrt{2} \cos \omega t \quad (13.1)$$

thì điện áp xoay chiều ở hai đầu mạch điện có cùng tần số ω , nghĩa là có thể viết dưới dạng :

$$u = U_0 \cos(\omega t + \varphi) = U\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi) \quad (13.2)$$

Đại lượng φ trong (13.2) được gọi là *độ lệch pha* giữa u và i .

Nếu $\varphi > 0$ thì ta nói u *sớm pha* φ so với i ;

Nếu $\varphi < 0$ thì ta nói u *trễ pha* $|\varphi|$ so với i ;

Nếu $\varphi = 0$ thì ta nói u *cùng pha* với i .

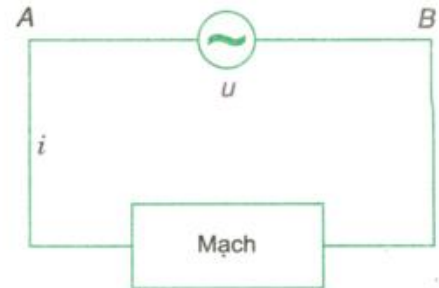
I - MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CHỈ CÓ ĐIỆN TRỞ

Nối hai đầu của mạch chỉ có điện trở R vào điện áp xoay chiều $u = U\sqrt{2} \cos \omega t$ (H.13.2). Tuy là dòng điện xoay chiều, nhưng tại một thời điểm, dòng điện i chạy theo một chiều xác định. Vì đây là dòng điện trong kim loại nên theo định luật Ôm i và u tỉ lệ với nhau :

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U}{R} \sqrt{2} \cos \omega t$$

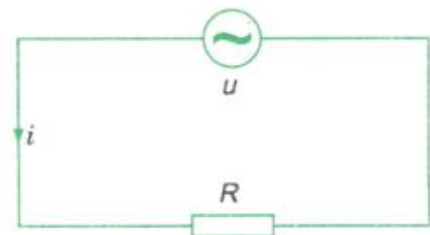
Nếu ta đặt : $I = \frac{U}{R}$ (13.3)

thì : $i = I\sqrt{2} \cos \omega t$ (13.4)



Hình 13.1

Chú ý : Trong sơ đồ vẽ trên Hình 13.1, u và i là các đại lượng đại số. Ta quy ước rằng khi điện thế tại A cao hơn điện thế tại B thì $u > 0$; còn $u < 0$ trong trường hợp ngược lại. Còn nếu chiều dòng điện đi qua mạch từ A đến B thì $i > 0$ và $i < 0$ trong trường hợp ngược lại.




Hình 13.2

📌 Hãy nhắc lại các định nghĩa của u , U_0 và U .

Từ (13.3) và (13.4) có thể rút ra những kết luận sau :

1. Cường độ hiệu dụng trong mạch điện xoay chiều chỉ có điện trở có giá trị bằng thương số giữa điện áp hiệu dụng và điện trở của mạch. Phát biểu này gọi là định luật Ôm đối với mạch điện xoay chiều thuần điện trở.

2. Cường độ tức thời trong mạch cùng pha với điện áp tức thời hai đầu mạch.

 Phát biểu định luật Ôm đối với dòng điện một chiều qua một dây dẫn.



II - MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CHỈ CÓ TỤ ĐIỆN

1. Thí nghiệm

Trên Hình 13.3a, mạch điện của nguồn một chiều có mắc xen vào một tụ điện C : ampe kế ⁽¹⁾ không chỉ dòng điện nào cả.

Trên Hình 13.3b, mạch điện của nguồn xoay chiều có mắc xen vào một tụ điện C : ampe kế chỉ một dòng điện có cường độ (hiệu dụng) $I \neq 0$.

Kết luận : Dòng điện xoay chiều có thể tồn tại trong những mạch điện có chứa tụ điện.

2. Khảo sát mạch điện xoay chiều chỉ có tụ điện

a) Ta hãy nối một tụ điện C vào một nguồn điện xoay chiều tạo nên điện áp u giữa hai tấm của tụ điện.

$$u = U_0 \cos \omega t = U\sqrt{2} \cos \omega t$$


Điện tích tấm bên trái của tụ điện :

$$q = Cu = CU\sqrt{2} \cos \omega t \quad (13.5)$$

thay đổi theo thời gian t . Điều này chứng tỏ sự tồn tại của dòng điện trong mạch. Độ biến thiên điện tích q cho phép ta tính cường độ dòng điện trong mạch.



Hình 13.3

 Dòng điện trên Hình 13.4 có "chạy qua" hai tấm của tụ điện không ? Cơ chế của dòng điện ấy như thế nào ?

(1) Ampe kế này thuộc loại ampe kế nhiệt, đo được cường độ của dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều.

Giả sử tại một thời điểm t , dòng điện chạy theo chiều mũi tên (H.13.4) và tấm bên trái đang tích điện dương, nhờ đó điện tích tụ điện tăng lên. Sau một khoảng thời gian Δt , lượng điện tích của tụ điện từ giá trị q tăng lên thành $q + \Delta q$, nghĩa là đã tăng thêm Δq . Cường độ dòng điện tại thời điểm t được tính bằng tỉ số giữa Δq và Δt :

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (13.6)$$

Khi Δt và Δq là những đại lượng vô cùng nhỏ thì vế phải của (13.6) là đạo hàm của q theo t :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (13.6')$$

Theo (13.6'), ta tính được :

$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega CU\sqrt{2} \sin\omega t$$

hay
$$i = U\omega C\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (13.7)$$

b) Từ (13.7) có thể rút ra kết luận sau :

Nếu đặt $I = U\omega C$

thì ta có
$$i = I\sqrt{2}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (13.8)$$

và
$$u = U\sqrt{2}\cos\omega t \quad (13.9)$$

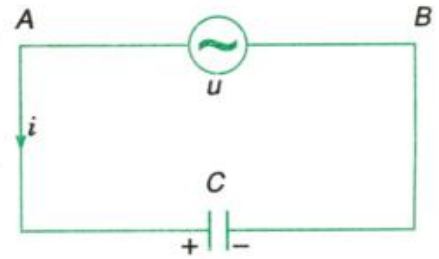
I là cường độ hiệu dụng trong mạch.

Nếu đổi gốc tính thời gian sao cho pha ban đầu của dòng điện bằng 0 thì ta sẽ có

$$i = I\sqrt{2}\cos\omega t \quad (13.8')$$

và
$$u = U\sqrt{2}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (13.9')$$

Ta có thể viết :
$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}}$$



Hình 13.4

Ghi chú : Chọn chiều dương của i như Hình 13.4. Gọi q là điện tích tấm bên trái của tụ điện. Cường độ dòng điện $i = \frac{dq}{dt}$ sẽ dương khi q tăng và âm khi q giảm.

và nếu đặt : $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ (13.10)

thì : $I = \frac{U}{Z_C}$ (13.11)

So sánh (13.11) với định luật Ôm (13.3) ta thấy Z_C là một đại lượng có vai trò tương tự như điện trở R trong mạch chứa điện trở. Đại lượng $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ được gọi là *dung kháng* của mạch (và được đo bằng ôm). Hệ thức (13.11) được phát biểu : *Cường độ hiệu dụng trong mạch chỉ chứa tụ điện có giá trị bằng thương số của điện áp hiệu dụng giữa hai đầu mạch và dung kháng của mạch.*

Phát biểu trên đây được gọi là định luật Ôm đối với mạch chứa tụ điện.

C4 Chứng minh rằng đại lượng $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ có đơn vị là ôm (đơn vị của điện trở).

C4

c) So sánh pha dao động của u và i

Dựa vào các biểu thức :

$$u = U\sqrt{2} \cos \omega t \text{ và } i = I\sqrt{2} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}), \text{ ta kết luận :}$$

Trong mạch chỉ chứa tụ điện, cường độ dòng điện qua tụ điện sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp hai đầu tụ điện (hoặc điện áp ở hai đầu tụ điện trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với cường độ dòng điện).

Nói cách khác : Trong mạch điện xoay chiều, tụ điện là phần tử có tác dụng làm cho cường độ dòng điện tức thời sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp tức thời.

3. Ý nghĩa của dung kháng

Tương tự như điện trở, dung kháng $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ là đại lượng biểu hiện sự cản trở dòng điện xoay chiều của tụ điện.

Nếu C càng lớn thì Z_C càng nhỏ và dòng điện xoay chiều bị cản trở ít.

Ví dụ : Cho

$$u = 220\sqrt{2} \cos 100\pi t \text{ (V) ;}$$

$$C = \frac{1}{1000\pi} \text{ F}$$

Khi đó :

$$Z_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1000\pi}{100\pi} = 10 \text{ } \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z_C} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}$$

và cuối cùng :

$$i = 22\sqrt{2} \cos(100\pi t + \frac{\pi}{2}) \text{ (A)}$$

Nếu tần số góc càng lớn thì Z_C càng nhỏ, dòng điện xoay chiều bị cản trở ít. Nói cách khác, dòng điện xoay chiều tần số cao (cao tần) chuyển qua mạch có tụ điện dễ dàng hơn dòng điện xoay chiều tần số thấp. Ngoài ra dung kháng cũng có tác dụng làm cho i sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với u .

III - MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CHỈ CÓ CUỘN CẢM THUẦN

Cuộn cảm thuần là cuộn cảm có điện trở không đáng kể, khi dòng điện xoay chiều chạy qua cuộn cảm sẽ xảy ra hiện tượng tự cảm.

1. Hiện tượng tự cảm trong mạch điện xoay chiều

Khi có dòng điện cường độ i chạy qua một cuộn cảm (cuộn dây dẫn nhiều vòng, ống dây hình trụ thẳng dài, hoặc hình xuyên,...) thì từ thông tự cảm có biểu thức :

$$\Phi = Li$$

với L là độ tự cảm của cuộn cảm.

Trường hợp i là một dòng điện xoay chiều thì từ thông Φ biến thiên tuần hoàn theo t , do đó trong cuộn cảm xuất hiện suất điện động tự cảm :

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Khi $\Delta t \rightarrow 0$, thì $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ là đạo hàm của i theo t và suất điện động tự cảm có biểu thức :

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad (13.12)$$

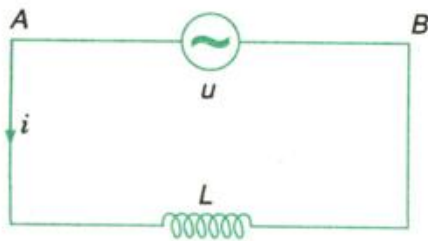


CS Chứng minh hệ thức sau đây giữa điện áp u ở hai đầu cuộn cảm và dòng điện i chạy qua cuộn cảm đó (H.13.5).

$$u_{AB} = ri + L \frac{di}{dt}$$



Hình 13.5



Hình 13.6

2. Khảo sát mạch điện xoay chiều chỉ có cuộn cảm thuần

Đặt vào hai đầu của một cuộn cảm thuần (có độ tự cảm L và có điện trở r bằng không) một điện áp xoay chiều, tần số góc ω , giá trị hiệu dụng U (H.13.6). Giả sử cường độ tức thời trong mạch có biểu thức :

$$i = I\sqrt{2}\cos\omega t$$

Theo kết quả đã nêu ở C5, điện áp tức thời ở hai đầu cuộn cảm thuần ($r = 0$) cho bởi :

$$u = L \frac{di}{dt} = -\omega LI\sqrt{2} \sin\omega t$$

hay
$$u = \omega LI\sqrt{2} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

a) Kết quả này chứng tỏ rằng điện áp hiệu dụng ở hai đầu cuộn cảm là :

$$U = \omega LI$$

Suy ra :
$$I = \frac{U}{\omega L} \quad (13.13)$$

Đặt :
$$Z_L = \omega L \quad (13.14)$$

ta có :
$$I = \frac{U}{Z_L} \quad (13.15)$$

Z_L (có đơn vị của điện trở) gọi là *cảm kháng* của mạch. Và (13.15) có thể phát biểu :

Trong mạch điện xoay chiều chỉ có cuộn cảm thuần, cường độ hiệu dụng có giá trị bằng thương số của điện áp hiệu dụng và cảm kháng của mạch.

Phát biểu này được gọi là định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ có một cuộn cảm thuần.

C6 Chứng minh rằng $Z_L = \omega L$ có đơn vị của điện trở.

C6

b) Từ các phương trình :

$$u = U\sqrt{2} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$i = I\sqrt{2} \cos \omega t$$

Suy ra rằng i trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với u .

Kết luận : Trong mạch điện xoay chiều có một cuộn cảm thuần, cường độ dòng điện trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp, hoặc điện áp sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với cường độ dòng điện.

3. Ý nghĩa của cảm kháng

Cảm kháng có vai trò tương tự như điện trở R , đặc trưng cho tính cản trở dòng điện xoay chiều của cuộn cảm. Ta thấy khi L lớn và khi ω lớn thì Z_L lớn. Vậy cuộn cảm có L lớn sẽ cản trở nhiều đối với dòng điện xoay chiều, nhất là dòng điện xoay chiều cao tần. Ngoài ra cảm kháng thuần có tác dụng làm cho i trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với u .

Chú ý rằng, cơ chế tác dụng cản trở dòng điện xoay chiều của R và của L khác hẳn nhau. Trong khi điện trở làm yếu dòng điện do hiệu ứng Jun thì cuộn cảm làm yếu dòng điện do định luật Len-xơ về cảm ứng điện từ.

Ví dụ : Cho $u = 300\sqrt{2} \cos 100\pi t$ (V),

$$L = \frac{0,2}{\pi} \text{ H}, r = 0.$$

Khi đó $Z_L = \omega L = 20 \Omega$

$$\text{và } I = \frac{U}{Z_L} = \frac{300}{20} = 15 \text{ A ;}$$

$$i = 15\sqrt{2} \cos(100\pi t - \frac{\pi}{2}) \text{ (A)}$$

Mạch chỉ có một tụ điện

$$i = I\sqrt{2}\cos\omega t$$

$$u = U\sqrt{2}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Z_C = \frac{1}{\omega C}$$

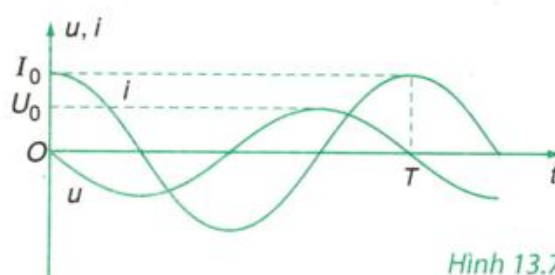
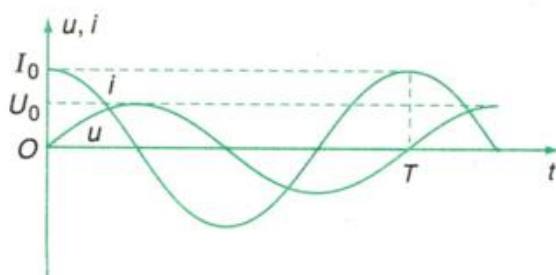
$$I = \frac{U}{Z_C}$$

Mạch chỉ có một cuộn cảm thuần

$$u = U\sqrt{2}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Z_L = \omega L$$

$$I = \frac{U}{Z_L}$$



Hình 13.7

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP



1. Phát biểu định luật Ôm cho mạch điện xoay chiều chỉ có
 - a) một tụ điện ;
 - b) một cuộn cảm thuần.
2. Dựa vào định luật Ôm, hãy so sánh tác dụng cản trở dòng điện xoay chiều thể hiện trong
 - a) Z_C ; b) Z_L .
7. Một đoạn mạch chứa một số tụ điện có điện dung tương đương C , đặt vào hai đầu đoạn mạch điện áp tức thời $u = U_0 \cos \omega t$ (V). Cường độ hiệu dụng trong mạch là bao nhiêu ?
 - A. $\frac{U_0}{C\omega}$; B. $\frac{U_0}{\sqrt{2}C\omega}$;
 - C. $U_0 C\omega$; D. $\frac{U_0}{\sqrt{2}} C\omega$.



3. Điện áp giữa hai đầu của một tụ điện :

$$u = 100\sqrt{2}\cos 100\pi t \text{ (V)}$$
 Cường độ hiệu dụng trong mạch $I = 5$ A.
 - a) Xác định C . b) Viết biểu thức của i .
4. Điện áp giữa hai đầu của một cuộn cảm thuần :

$$u = 100\sqrt{2}\cos 100\pi t \text{ (V)}$$
 Cường độ hiệu dụng trong mạch $I = 5$ A.
 - a) Xác định L . b) Viết biểu thức của i .
5. Chứng minh rằng, khi hai cuộn cảm thuần L_1 và L_2 mắc nối tiếp trong một mạch điện xoay chiều thì cuộn cảm tương đương có cảm kháng cho bởi :

$$Z_L = (L_1 + L_2)\omega$$

6. Chứng minh rằng, khi hai tụ điện C_1 và C_2 mắc nối tiếp thì điện dung tương đương có dung kháng :

$$Z_C = \frac{1}{C\omega} \quad \text{và} \quad \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C_1\omega} + \frac{1}{C_2\omega}$$

8. Đoạn mạch chứa một cuộn cảm thuần L ; đặt vào hai đầu đoạn mạch điện áp tức thời $u = U_0 \cos \omega t$ (V) thì cường độ hiệu dụng trong mạch là bao nhiêu ?
 - A. $\frac{U_0}{L\omega}$; B. $\frac{U_0}{\sqrt{2}L\omega}$;
 - C. $U_0 L\omega$; D. $\frac{U_0}{\sqrt{2}} L\omega$.
9. Điện áp $u = 200\sqrt{2} \cos \omega t$ (V) đặt vào hai đầu một cuộn cảm thuần thì tạo ra dòng điện có cường độ hiệu dụng $I = 2$ A. Cảm kháng có giá trị là bao nhiêu ?
 - A. 100Ω ; B. 200Ω ;
 - C. $100\sqrt{2} \Omega$; D. $200\sqrt{2} \Omega$.