

27

MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CHỈ CÓ TỤ ĐIỆN, CUỘN CẢM

Trong mạch điện xoay chiều, ngoài điện trở thuần, ta còn gặp hai loại phần tử khác là tụ điện và cuộn cảm. Chúng có tác dụng gì đối với mạch điện này ?

1. Đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện

a) Thí nghiệm

Mắc mạch điện như ở Hình 27.1. Sau khi đóng khoá K , ta thấy đèn D sáng. Vậy tụ điện đã cho dòng điện xoay chiều “đi qua”.

Nếu thay tụ điện bằng một dây dẫn thì đèn sáng hơn hoặc thay đổi điện dung của tụ điện thì độ sáng của đèn thay đổi.

Thí nghiệm chứng tỏ tụ điện có tác dụng cản trở dòng điện xoay chiều. Tác dụng cản trở này phụ thuộc vào điện dung của tụ điện.

b) Giá trị tức thời của cường độ dòng điện và điện áp

Giả sử giữa hai bản tụ điện M và N (Hình 27.2) có điện áp xoay chiều :

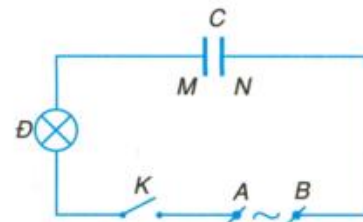
$$u = U_0 \sin \omega t \quad (27.1)$$

Điện tích trên bản M ở thời điểm t là :

$$q = Cu = CU_0 \sin \omega t$$

Quy ước chiều dương của dòng điện là chiều từ A tới M thì $i = \frac{dq}{dt}$. Do đó :

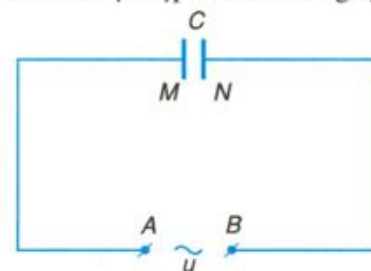
$$i = \frac{d}{dt}(CU_0 \sin \omega t) = C\omega U_0 \cos \omega t$$



Hình 27.1 Sơ đồ thí nghiệm nghiên cứu tác dụng của tụ điện trong mạch điện xoay chiều.

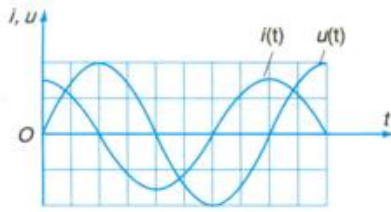
C1 Nêu cấu tạo của tụ điện và giải thích tại sao tụ điện không cho dòng điện một chiều đi qua.

Tác dụng cho dòng điện xoay chiều “đi qua” của tụ điện được giải thích như sau : trong $\frac{1}{4}$ chu kỳ tính từ lúc tụ điện có $u = 0$, tụ điện được nạp điện, trong $\frac{1}{4}$ chu kỳ tiếp theo, tụ điện phóng điện và sau đó được nạp theo chiều ngược lại.



Hình 27.2 Đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện.

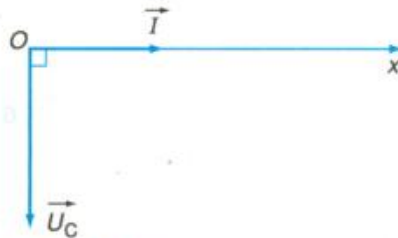
Công thức $i = \frac{dq}{dt}$ đúng cho cả quá trình dòng điện chạy từ bản M về A . Khi đó q giảm, $\frac{dq}{dt} < 0$, dòng điện có chiều ngược lại.



Hình 27.3 Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện qua tụ điện và điện áp giữa hai bản tụ điện theo thời gian.

C2 Giải thích tại sao khi có dòng điện đi từ A tới M thì cũng có dòng điện cùng cường độ đi từ N tới B (Hình 27.2).

C3 Nếu quy ước chiều dòng điện ngược lại với quy ước nêu ở mục b thì công thức $i(t)$ có gì thay đổi? Có thể nhận xét gì về pha của cường độ dòng điện theo quy ước này?



Hình 27.4 Biểu diễn bằng vectơ quay cho đoạn mạch chỉ có tụ điện.

C4 Dựa vào công thức (27.4), hãy phát biểu định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện.

$$\text{hay } i = I_0 \cos \omega t \quad (27.2)$$

với $I_0 = \omega C U_0$ là biên độ của dòng điện qua tụ điện.

Vì $u = U_0 \sin \omega t = U_0 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$ nên ta thấy cường độ dòng điện qua tụ điện biến thiên sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp giữa hai bản tụ điện.

Có thể kiểm tra kết luận trên bằng cách dùng dao động kí điện tử hai chùm tia để nghiên cứu đồng thời sự biến đổi theo thời gian của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai bản tụ điện. Các đồ thị thu được có dạng như ở Hình 27.3.

c) Biểu diễn bằng vectơ quay

Tại thời điểm $t = 0$, vectơ quay \vec{I} biểu diễn cường độ dòng điện $i = I_0 \cos \omega t$ hợp với trục Ox một góc bằng 0, vectơ quay \vec{U}_C biểu diễn điện áp $u = U_0 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$ hợp với trục Ox một góc $\left(-\frac{\pi}{2} \right)$.

Như vậy, đối với đoạn mạch chỉ có tụ điện, vectơ \vec{U}_C lập với vectơ \vec{I} một góc $\left(-\frac{\pi}{2} \right)$ (xem Hình 27.4).

d) Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ có tụ điện. Dung kháng

Chia hai vế của công thức $I_0 = \omega C U_0$ cho $\sqrt{2}$, ta có :

$$I = \omega C U$$

$$\text{Nếu đặt : } Z_C = \frac{1}{\omega C} \quad (27.3)$$

$$\text{thì : } I = \frac{U}{Z_C} \quad (27.4)$$

Đó là công thức định luật Ôm cho đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện. Đối với dòng điện xoay chiều tần số góc ω , đại lượng Z_C giữ vai trò tương tự như điện trở đối với dòng điện không đổi và được gọi là

dung kháng của tụ điện.

Đơn vị của dung kháng cũng là đơn vị của điện trở (ôm).

2. Đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm

Cuộn dây dẫn có độ tự cảm L nào đó gọi là cuộn cảm. Đó thường là cuộn dây dẫn hoặc ống dây dẫn hình trụ thẳng, hình xoắn có nhiều vòng dây. Điện trở r của cuộn dây gọi là điện trở thuần hay điện trở hoạt động của nó. Nếu r không đáng kể thì ta gọi cuộn dây là cuộn cảm thuần.

a) Thí nghiệm

Cuộn cảm thuần không có ảnh hưởng tới dòng điện không đổi nhưng có ảnh hưởng như thế nào đối với dòng điện xoay chiều ?

Để giải đáp câu hỏi đó, ta tiến hành thí nghiệm với sơ đồ vẽ ở Hình 27.5.

Trong sơ đồ này, L là cuộn cảm thuần có lõi sắt dịch chuyển được. Nhờ vậy, có thể thay đổi được độ tự cảm của cuộn cảm.

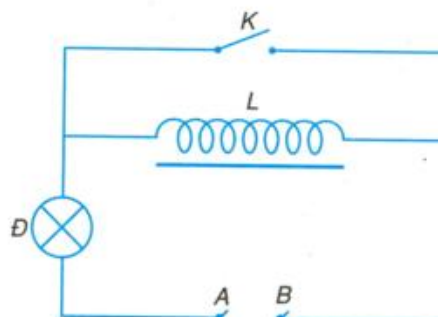
Nếu mắc A, B với nguồn điện một chiều thì sau khi đóng hay mở khoá K , độ sáng của đèn D hầu như không đổi.

Nếu mắc A, B với nguồn điện xoay chiều thì sau khi khoá K đóng, đèn D sáng hơn rõ rệt so với khi khoá K mở. Khi K mở, nếu ta rút lõi sắt ra khỏi cuộn cảm thì độ sáng của đèn tăng lên.

Thí nghiệm này chứng tỏ cuộn cảm có tác dụng cản trở dòng xoay chiều. Tác dụng cản trở này phụ thuộc vào độ tự cảm của nó.

C5 Dung kháng của tụ điện phụ thuộc vào các yếu tố nào ? Tụ điện có điện dung $1 \mu\text{F}$ mắc trong mạng điện xoay chiều dân dụng của nước ta có dung kháng bằng bao nhiêu ?

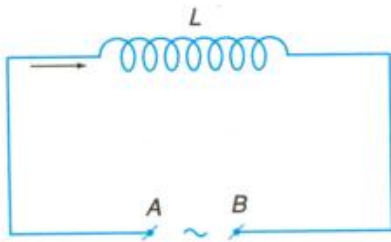
C6 Độ tự cảm của một cuộn dây phụ thuộc vào các yếu tố nào ?



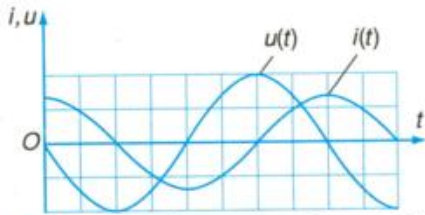
Hình 27.5 Sơ đồ thí nghiệm khảo sát tác dụng của cuộn cảm trong mạch điện.

Ghi chú :

Trong thí nghiệm này, ta quan sát khi mạch ở chế độ ổn định.



Hình 27.6 Đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm.



Hình 27.7 Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai đầu cuộn cảm thuần theo thời gian.

C7 Vì sao điện áp u giữa hai điểm A và B trong Hình 27.6 được tính bằng công thức $u = iR_{AB} - e$?

C8 Nguyên nhân nào làm cho cường độ dòng điện qua cuộn cảm biến thiên trễ pha đối với điện áp ?



Hình 27.8 Biểu diễn bằng vectơ quay cho đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần.

C9 Tại sao khi rút lõi sắt khỏi cuộn dây trong thí nghiệm nêu ở mục a thì độ sáng của đèn tăng lên ?

b) Giá trị tức thời của cường độ dòng điện và điện áp

Giả sử có một dòng điện xoay chiều cường độ :

$$i = I_0 \cos \omega t \quad (27.5)$$

chạy qua cuộn cảm thuần có độ tự cảm L (Hình 27.6). Chiều dương của dòng điện qua cuộn cảm được quy ước là chiều chạy từ A tới B. Đây là dòng điện biến thiên theo thời gian nên nó gây ra trong cuộn cảm một suất điện động cảm ứng :

$$e = -L \frac{di}{dt} = \omega L I_0 \sin \omega t$$

Điện áp giữa hai điểm A và B là :

$$u = iR_{AB} - e$$

trong đó R_{AB} là điện trở của đoạn mạch, có giá trị bằng 0 nên :

$$u = -e = -\omega L I_0 \sin \omega t$$

$$u = U_0 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (27.6)$$

với $U_0 = \omega L I_0$.

Vậy, cường độ dòng điện qua cuộn cảm thuần biến thiên điều hoà cùng tần số nhưng trễ pha $\frac{\pi}{2}$ đối với điện áp giữa hai đầu cuộn cảm.

Có thể kiểm tra kết luận trên bằng cách dùng dao động kí điện tử hai chùm tia để nghiên cứu đồng thời sự biến đổi theo thời gian của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai đầu cuộn dây. Các đồ thị thu được có dạng như ở Hình 27.7.

c) Biểu diễn bằng vectơ quay

Tại thời điểm $t = 0$, vectơ \vec{I} biểu diễn cường độ dòng điện $i = I_0 \cos \omega t$ trùng với trục Ox , còn vectơ \vec{U}_L biểu diễn điện áp $u = U_0 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ hợp với trục Ox một góc $\frac{\pi}{2}$. Như vậy, đối với đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần, \vec{U}_L lệch với \vec{I} một góc $\frac{\pi}{2}$ theo chiều dương (xem Hình 27.8).

d) Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần. Cảm kháng

Chia hai vế của công thức $U_0 = \omega LI_0$ cho $\sqrt{2}$, ta có $U = \omega LI$. Nếu đặt :

$$Z_L = \omega L \quad (27.7)$$

thì

$$I = \frac{U}{Z_L} \quad (27.8)$$

Đây là công thức *định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm thuần*.

Đối với dòng điện xoay chiều tần số góc ω , đại lượng $Z_L = \omega L$ đóng vai trò tương tự như điện trở đối với dòng điện không đổi và được gọi là *cảm kháng*. Đơn vị của cảm kháng cũng là đơn vị của điện trở (ôm).

Nếu cuộn dây có điện trở thuần r đáng kể thì cả điện trở r và cảm kháng ωL đều có tác dụng cản trở dòng điện xoay chiều. Dòng điện qua cuộn dây là dòng qua cả hai phần tử này nên có thể coi cuộn dây tương đương với một đoạn mạch gồm có điện trở thuần r và cuộn cảm thuần có độ tự cảm L mắc nối tiếp.

C10 Dựa vào công thức (27.8), hãy phát biểu định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm thuần.

CÂU HỎI

1. Nêu các tác dụng chính của tụ điện đối với dòng điện xoay chiều.
2. Chứng minh rằng cường độ dòng điện xoay chiều qua cuộn cảm thuần biến thiên trễ pha $\frac{\pi}{2}$ đối với điện áp giữa hai đầu cuộn cảm.

BÀI TẬP

1. Để tăng dung kháng của một tụ điện phẳng có điện môi là không khí, ta cần
 - A. tăng tần số của điện áp đặt vào hai bản tụ điện.
 - B. tăng khoảng cách giữa hai bản tụ điện.
 - C. giảm điện áp hiệu dụng giữa hai bản tụ điện.
 - D. đưa bản điện môi vào trong lòng tụ điện.
2. Phát biểu nào sau đây đúng đối với cuộn cảm ?
 - A. Cuộn cảm có tác dụng cản trở đối với dòng điện xoay chiều, không có tác dụng cản trở dòng điện một chiều.
 - B. Điện áp tức thời giữa hai đầu cuộn cảm thuần và cường độ dòng điện qua nó có thể đồng thời bằng một nửa các biên độ tương ứng của chúng.

- C. Cảm kháng của một cuộn cảm thuần tỉ lệ nghịch với chu kì của dòng điện xoay chiều.
 D. Cường độ dòng điện qua cuộn cảm tỉ lệ thuận với tần số dòng điện.
3. Cường độ dòng điện xoay chiều qua đoạn mạch chỉ có tụ điện hoặc chỉ có cuộn cảm thuần giống nhau ở chỗ :
- A. Luôn biến thiên trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp ở hai đầu đoạn mạch.
 B. Luôn có giá trị hiệu dụng tỉ lệ với điện áp hiệu dụng giữa hai đầu đoạn mạch.
 C. Luôn có giá trị hiệu dụng tăng khi tần số dòng điện tăng.
 D. Luôn có giá trị hiệu dụng giảm khi tần số dòng điện tăng.
4. Mắc tụ điện có điện dung $2 \mu\text{F}$ vào mạng điện xoay chiều có điện áp 220 V , tần số 50 Hz .
 Xác định cường độ hiệu dụng của dòng điện qua tụ điện.
5. Điện áp giữa hai bản tụ điện có biểu thức $u = U_0 \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{3}\right)$. Xác định các thời điểm mà cường độ dòng điện qua tụ điện bằng 0.
6. Mắc cuộn cảm thuần có độ tự cảm $L = 0,2 \text{ H}$ vào hai cực của ổ cắm điện xoay chiều $220 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$.
 Tính cường độ hiệu dụng của dòng điện qua cuộn cảm.