

1. Dao động điện tử trong mạch LC

a) Thí nghiệm

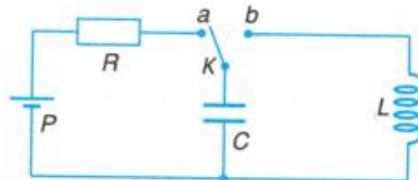
Mạch điện Hình 21.1 gồm tụ điện C , cuộn cảm L , pin P và chuyển mạch K . Điện trở R được dùng để hạn chế dòng điện nạp. Đầu tiên chuyển K sang a để nạp điện cho tụ điện C từ pin P . Sau đó chuyển K sang b để tụ điện C phóng điện trong mạch kín LC .

Nối hai đầu cuộn cảm L với lối vào của dao động kí điện tử như Hình 21.2. Điều chỉnh dao động kí để có hình ổn định trên màn, ta sẽ thấy một đồ thị dạng sin.

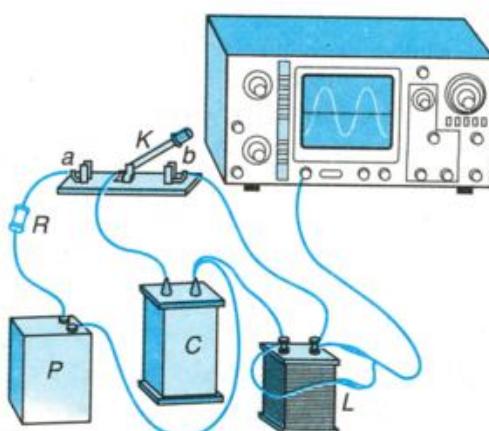
Từ đó, có thể nhận xét là trong mạch kín LC đã có một dòng điện dạng sin rất giống đồ thị dạng sin của dao động cơ đã biết. Mạch LC được gọi là *mạch dao động* (hoặc còn gọi là *khung dao động*).

b) Giải thích

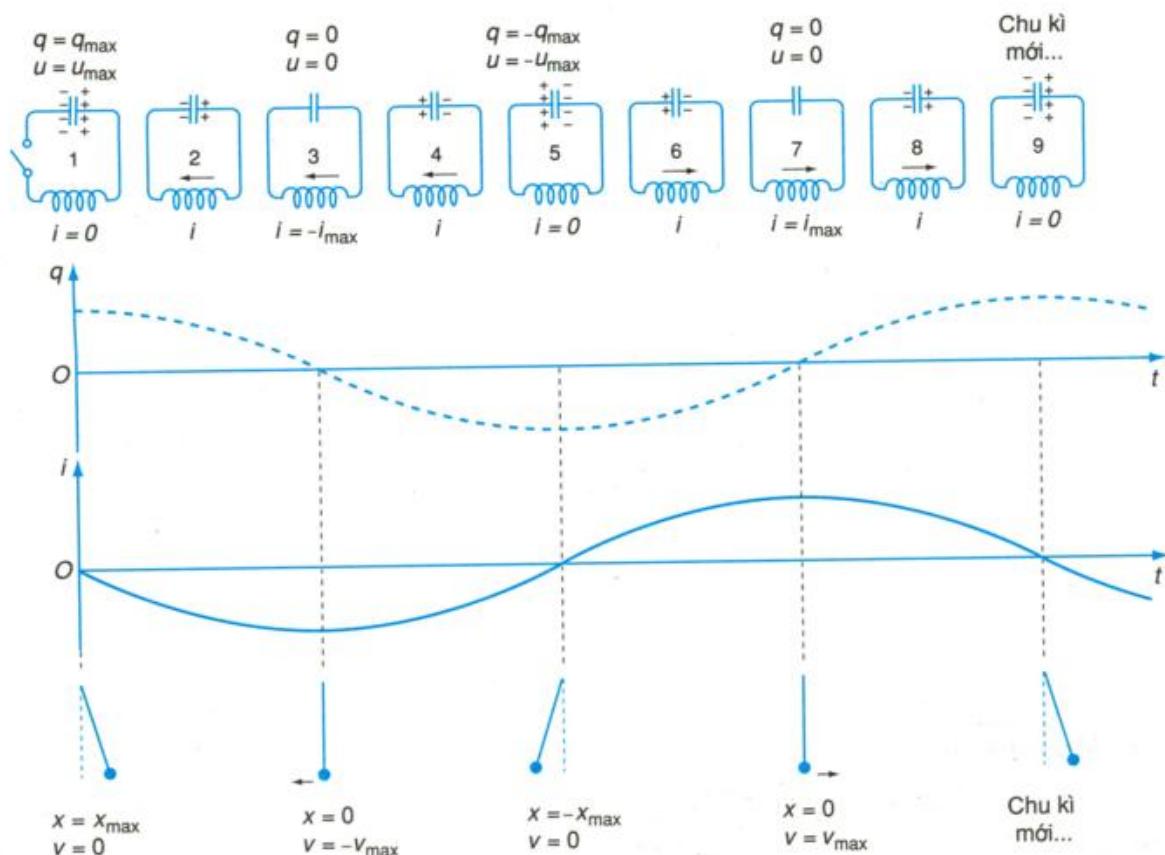
Hình 21.3 cho thấy từng giai đoạn của quá trình dao động điện và từ của mạch LC và dao động cơ của con lắc đơn.



Hình 21.1 Sơ đồ mạch dao động.



Hình 21.2 Mạch dao động LC mắc với dao động kí điện tử.



Hình 21.3 Dao động điện từ của mạch LC và dao động của con lắc đơn.

Trên Hình 21.3 : q là điện tích bản bên phải của tụ điện ; u là hiệu điện thế giữa bản phải và bản trái của tụ điện ; i là cường độ dòng điện chạy trong mạch LC , i có giá trị dương nếu dòng điện chạy ngược chiều kim đồng hồ ; x là li độ và v là vận tốc trong dao động của con lắc đơn.

C1 Trong Hình 21.3, tại thời điểm nào thì từ trường của ống dây có giá trị lớn nhất ? Giá trị nhỏ nhất ?

Khi K chuyển sang b , tụ điện C đang tích điện sẽ phóng điện qua L , ban đầu dòng điện tăng gây ra hiện tượng tự cảm với $e = -L \frac{di}{dt}$. Suất điện động tự cảm làm chậm sự phóng điện của tụ điện, và khi tụ điện hết điện tích thì dòng tự cảm lại nạp điện cho tụ điện, làm cho tụ điện lại được tích điện nhưng theo chiều ngược lại. Sau đó, tụ điện lại phóng điện theo chiều ngược với ban đầu. Hiện tượng sẽ lặp đi lặp lại tạo thành dao động điện và dao động từ trong mạch.

Quá trình dao động điện và từ trong mạch LC tương tự như dao động của con lắc đơn.

c) Khảo sát định lượng

Vận dụng định luật Ôm cho đoạn mạch AB , ta có :

$$u_{AB} = e - ri$$

với $r \approx 0$ thì $u_{AB} \approx e = -L \frac{di}{dt}$.

Với quy ước về dấu như trên Hình 21.4, thì $i = \frac{dq}{dt} = q'$. Ta lại có $u_{AB} = \frac{q}{C}$, nên :

$$\frac{q}{C} = -Lq'' \text{ hay } q'' + \frac{q}{LC} = 0$$

Đặt $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, ta có phương trình :

$$q'' + \omega^2 q = 0 \quad (21.1)$$

Tương tự như ở phần dao động cơ, nghiệm của phương trình này có dạng :

$$q = q_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (21.2)$$

Từ đó :

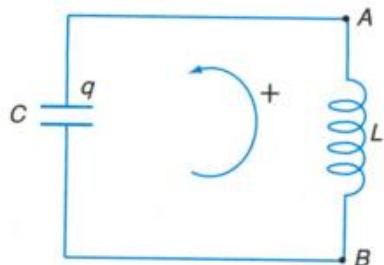
$$i = q' = -\omega q_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (21.3)$$

$$u_{AB} = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos(\omega t + \varphi) \quad (21.4)$$

Các phương trình (21.2), (21.3), (21.4) cho thấy các đại lượng điện q, i, u đều biến thiên tuần hoàn theo quy luật dạng sin.

Ta đã biết, khi có dòng điện thì luôn có từ trường, mà cảm ứng từ B luôn tỉ lệ thuận với cường độ dòng điện, nên có thể suy ra từ trường trong cuộn cảm L cũng biến thiên tuần hoàn theo quy luật dạng sin. Trong tụ điện C , điện trường cũng biến thiên tuần hoàn theo quy luật dạng sin.

Biến thiên của điện trường và từ trường ở trong mạch trên được gọi là *dao động điện từ*. Nếu không có tác động điện hoặc từ với bên ngoài, thì dao động điện từ này



Hình 21.4. Mạch dao động dùng để khảo sát định lượng dao động điện.

Quy ước :

q là giá trị điện tích của bản cực bên trên.

$i > 0$, nếu dòng điện chạy qua cuộn cảm cùng chiều với chiều dương được chọn trong mạch.

Có thể viết phương trình dao động điện và từ trong mạch LC như sau :

$$q = q_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$u = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$i = I_0 \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$$

$$B = B_0 \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$$

C2 Pha dao động của u và i có trùng nhau không ? Vì sao ?

gọi là *dao động điện từ tự do*. Khi đó mạch LC có các đặc trưng *riêng* là :

$$- \text{Tần số góc riêng : } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (21.5)$$

$$- \text{Chu kỳ riêng : } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (21.6)$$

$$- \text{Tần số riêng : } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (21.7)$$

2. Năng lượng điện từ trong mạch dao động

Nếu không có sự tiêu hao năng lượng thì trong quá trình dao động điện từ, năng lượng được tập trung ở tụ điện (W_C) và cuộn cảm (W_L). Tại một thời điểm bất kỳ, ta có :

Năng lượng điện trường tập trung trong tụ điện :

$$W_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{q_0^2}{2C} \cos^2(\omega t + \varphi)$$

Năng lượng từ trường tập trung trong cuộn cảm :

$$W_L = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{L \omega^2 q_0^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{q_0^2}{2C} \sin^2(\omega t + \varphi)$$

Ta suy ra năng lượng điện từ toàn phần của mạch LC là :

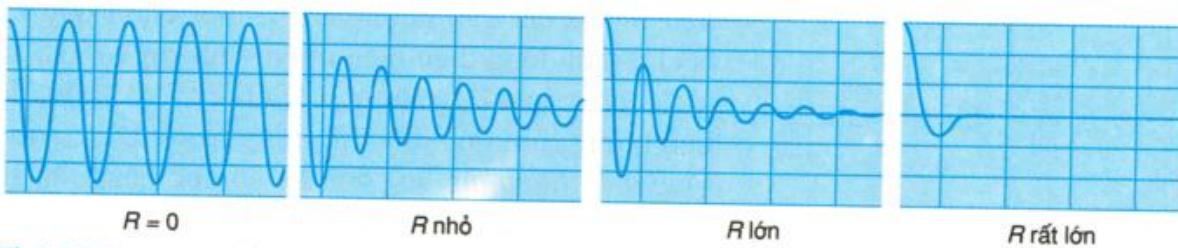
$$W = W_C + W_L = \frac{q_0^2}{2C} = \text{hằng số} \quad (21.8)$$

Vậy, *trong quá trình dao động của mạch, năng lượng từ trường và năng lượng điện trường luôn chuyển hóa cho nhau, nhưng tổng năng lượng điện từ là không đổi.*

3. Dao động điện từ tắt dần

Trong các mạch dao động thực luôn có tiêu hao năng lượng, ví dụ do điện trở thuần R của dây dẫn, vì vậy dao động sẽ dừng lại sau khi năng lượng bị tiêu hao hết. Quan sát trên dao động kí điện tử (Hình 21.5) ta thấy biên độ của dao động giảm dần đến 0. Hiện tượng này gọi là *dao động điện từ tắt dần*. Giá trị của R càng lớn thì sự tắt dần càng nhanh, thậm chí nếu R rất lớn thì không có dao động.

Dao động điện từ tắt dần



Hình 21.5 Các hình ảnh trên màn hình dao động kí.

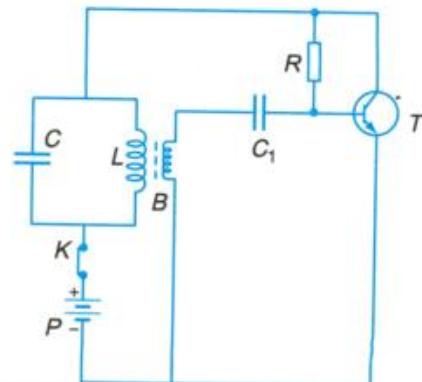
4. Dao động điện từ duy trì. Hệ tự dao động

Muốn duy trì dao động, ta phải bù đủ và đúng phần năng lượng bị tiêu hao trong mỗi chu kì. Muốn làm việc này, có thể dùng tranzito để điều khiển việc bù năng lượng từ pin cho mạch dao động LC ăn nhịp với từng chu kì dao động của mạch.

Trong sơ đồ Hình 21.6, mạch điện duy trì dao động cho mạch LC , gồm có biến thế B chuyển các dao động của mạch LC tác động vào cực gốc của tranzito qua tụ điện C_1 . Tác động này điều khiển sự đóng mở của tranzito sao cho dòng điện từ pin P bổ sung cho mạch LC đúng với phần năng lượng bị mất trong từng chu kì. Dao động trong mạch LC được duy trì ổn định với tần số riêng ω_0 của mạch. Người ta gọi đây là một *hệ tự dao động*.

5. Dao động điện từ cường bức. Sự cộng hưởng

Xét một mạch dao động LC với R là điện trở thuần của cuộn cảm. Nếu ta tích điện cho tụ điện và để cho mạch dao động, thì dao động sẽ tắt dần. Nếu R rất nhỏ thì tần số dao động của mạch xấp xỉ bằng tần số dao động riêng $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$



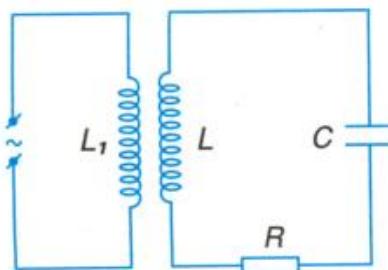
Hình 21.6 Mạch duy trì dao động

C3 Trong sơ đồ mạch duy trì dao động, nếu nối trực tiếp cuộn thứ cấp biến thế với cực gốc của tranzito không qua tụ điện C_1 có được không, tại sao ?

C4 Trong sơ đồ trên, có thể tính tần số dao động riêng của mạch dao động theo công thức

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

được không ? Tại sao ?



Hình 21.7 Mạch dao động cưỡng bức.

Giả sử trong mạch LC đang không có dao động điện từ. Ta đặt gần cuộn cảm L một cuộn dây L_1 và cho một dòng điện biến thiên hình sin với tần số góc ω chạy qua L_1 , như trên Hình 21.7. Khi đó, do hiện tượng cảm ứng điện từ, trong mạch LC có *dao động điện từ cưỡng bức* với tần số góc bằng tần số góc ω của dòng điện trong cuộn L_1 .

Nếu ta giữ cho biên độ của dòng điện trong cuộn L_1 (gọi là dòng điện ngoài) không đổi, nhưng thay đổi tần số góc ω của nó, thì biên độ của dòng điện trong mạch LC đạt cực đại khi tần số góc của dòng điện ngoài (gần đúng) bằng tần số góc riêng của mạch dao động. Đó là *hiện tượng cộng hưởng*.

Hiện tượng cộng hưởng càng rõ nếu điện trở R càng nhỏ.

Hiện tượng cộng hưởng được ứng dụng rất nhiều trong các mạch lọc, mạch chọn sóng, mạch khuếch đại,...

6. Sự tương tự giữa dao động điện từ và dao động cơ

Từ các nội dung trên, ta thấy giữa dao động điện từ trong mạch LC và dao động cơ của con lắc có nhiều điểm tương tự về quy luật biến đổi theo thời gian và các đại lượng (Bảng 21.1). Các phương trình và công thức biểu thị hai loại dao động có cùng một dạng (Bảng 21.2).

Bảng 21.1

Đại lượng cơ	Đại lượng điện
x	q
v	i
m	L
k	$\frac{1}{C}$
F	u
μ	R
W_t	W_C
W_d	W_L

Bảng 21.2

Đao động cơ	Đao động điện
$x'' + \omega^2x = 0$	$q'' + \omega^2q = 0$
với $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	với $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
$x = A\cos(\omega t + \varphi)$	$q = q_0\cos(\omega t + \varphi)$
$v = x' = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$	$i = q' = -\omega q_0\sin(\omega t + \varphi)$
$W = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$	$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}\frac{q_0^2}{C}$

Sự đồng nhất về dạng này không chỉ là hình thức, mà là sự đồng nhất về quy luật biến đổi theo thời gian. Điều đó dẫn đến một loạt các đặc tính tương tự của hai loại dao động đó như : tính tuần hoàn, chu kì riêng, tần số riêng, bảo toàn và chuyển hóa năng lượng, sự tắt dần, việc duy trì dao động, sự cộng hưởng,...

CÂU HỎI

1. Tại sao người ta lại coi độ tự cảm trong dao động điện từ tương đương với khối lượng trong dao động cơ ?
2. Để duy trì dao động trong mạch LC , bạn Mai đã mắc thêm một pin nối tiếp vào mạch nhằm liên tục bổ sung điện năng cho mạch. Giải pháp này có duy trì được dao động không ? Tại sao ?

BÀI TẬP

1. Trong bảng phân tích dao động theo từng thời điểm trên Hình 21.3, ta có :
 - Năng lượng điện trường cực đại tại thời điểm số 2.
 - Năng lượng từ trường cực đại tại thời điểm số 4.
 - Năng lượng điện trường cực đại tại thời điểm số 6.
 - Năng lượng từ trường cực đại tại thời điểm số 7.
2. Dao động điện từ trong mạch dao động LC là quá trình
 - biến đổi không tuần hoàn của điện tích trên tụ điện.
 - biến đổi theo hàm mũ của cường độ dòng điện.
 - chuyển hóa tuần hoàn giữa năng lượng từ trường và năng lượng điện trường.
 - bảo toàn hiệu điện thế giữa hai cực tụ điện.
3. Trong một mạch dao động LC , tụ điện có điện dung là $5 \mu F$, cường độ tức thời của dòng điện là $i = 0,05\sin 2000t$ (A). Tìm độ tự cảm của cuộn cảm và biểu thức cho điện tích của tụ điện.
4. Một mạch dao động LC có năng lượng là $36 \cdot 10^{-6}$ J và điện dung của tụ điện C là $2,5 \mu F$. Tìm năng lượng tập trung tại cuộn cảm khi hiệu điện thế giữa hai bản cực của tụ điện là 3 V.