

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



SÁCH BÀI GIẢNG

VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG A2

(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)

BÀI GIẢNG

VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG A2

Biên soạn : TS. VÕ THỊ THANH HÀ
ThS. HOÀNG THỊ LAN HƯƠNG

Hiệu đính: TS. LÊ THỊ MINH THANH

LỜI NÓI ĐẦU

Tập **VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG (A2)** này là tập hai của bộ sách hướng dẫn học tập môn **Vật lý đại cương** cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, đã được biên soạn theo chương trình cải cách giáo dục do Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua (1990).

Bộ sách gồm hai tập:

Tập I: VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG (A1) bao gồm các phần CƠ, NHIỆT, ĐIỆN, TỪ do Ts. Vũ Văn Nhơn, Ts. Võ Đình Châu và Ks. Bùi Xuân Hải biên soạn.

Tập II: VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG (A2) bao gồm các phần QUANG HỌC, THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP, CƠ HỌC LƯỢNG TỬ VÀ VẬT LÝ NGUYÊN TỬ do Ts. Võ Thị Thanh Hà và ThS. Hoàng Thị Lan Hương biên soạn.

Tập sách Vật lý đại cương A2 gồm 8 chương:

- Chương I: Dao động điện từ
- Chương II: Giao thoa ánh sáng
- Chương III: Nhiễu xạ ánh sáng
- Chương IV: Phân cực ánh sáng
- Chương V: Thuyết tương đối hẹp
- Chương VI: Quang học lượng tử
- Chương VII: Cơ học lượng tử
- Chương VIII: Vật lý nguyên tử.

Trong mỗi chương đều có:

1. Mục đích, yêu cầu giúp sinh viên nắm được trọng tâm của chương.
2. Tóm tắt nội dung giúp sinh viên nắm bắt được vấn đề đặt ra, hướng giải quyết và những kết quả chính cần nắm vững.
3. Câu hỏi lý thuyết giúp sinh viên tự kiểm tra phần đọc và hiểu của mình.
4. Bài tập giúp sinh viên tự kiểm tra khả năng vận dụng kiến thức lý thuyết để giải quyết những bài toán cụ thể.

Phân công biên soạn tập **VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG (A2)** như sau:

Võ Thị Thanh Hà biên soạn lý thuyết các chương II, III, IV, V, VI, VII, VIII.

Hoàng Thị Lan Hương biên soạn lý thuyết chương I và bài tập của tất cả các chương. 1

Tập VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG (A2) này mới in lần đầu, nên không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự đóng góp quý báu của bạn đọc cho quyển sách này.

Hà Nội, ngày 1 tháng 11 năm 2005

NHÓM TÁC GIẢ



CHƯƠNG I: DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ

Dao động điện từ là sự biến thiên tuần hoàn theo thời gian của các đại lượng điện và từ, cụ thể như điện tích q trên các bản tụ điện, cường độ dòng điện i trong một mạch điện xoay chiều, hiệu điện thế giữa hai đầu một cuộn dây hay sự biến thiên tuần hoàn của điện trường, từ trường trong không gian v.v... Tùy theo cấu tạo của mạch điện, dao động điện từ trong mạch chia ra: dao động điện từ điều hoà, dao động điện từ tắt dần và dao động điện từ cưỡng bức.

I. MỤC ĐÍCH - YÊU CẦU

1. Nắm được dao động điện từ điều hoà, dao động điện từ tắt dần, dao động điện từ cưỡng bức, hiện tượng cộng hưởng.
2. Nắm được phương pháp tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương và cùng tần số, hai dao động điều hoà cùng tần số và có phương vuông góc.

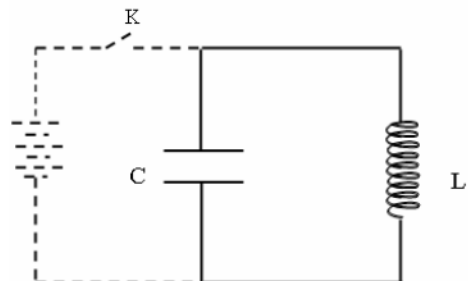
II. NỘI DUNG:

§1. DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ ĐIỀU HOÀ

1. Mạch dao động điện từ LC

Xét một mạch điện gồm một tụ điện có điện dung C , một cuộn dây có hệ số tự cảm L . Bỏ qua điện trở trong mạch. Trước hết, tụ điện C được bộ nguồn tích điện đến điện tích Q_0 , hiệu điện thế U_0 . Sau đó, ta bỏ bộ nguồn đi và đóng khoá của mạch dao động. Trong mạch có biến thiên tuần hoàn theo thời gian của cường độ dòng điện i , điện tích q trên bản tụ điện, hiệu điện thế giữa hai bản tụ, năng lượng điện trường của tụ điện, năng lượng từ trường của ống dây ...

Các dao động điện từ này có dạng hình sin với tần số ω_0 và biên độ dao động không đổi. Do đó, các dao động này được gọi là các *dao động điện từ điều hoà*. Mặt khác trong mạch chỉ có mặt các yếu tố riêng của mạch như tụ điện C và cuộn cảm L , nên các dao động điện từ này được gọi là các *dao động điện từ riêng*.

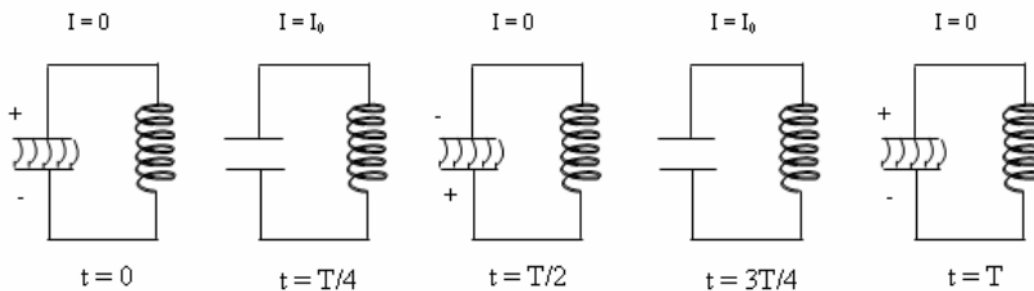


Hình 1-1. Mạch dao động điện từ riêng

Ta xét chi tiết hơn quá trình dao động của mạch trong một chu kỳ T . Tại thời điểm $t = 0$, điện tích của tụ là Q_0 , hiệu điện thế giữa hai bản là $U_0 = Q_0 / C$, năng lượng điện trường của tụ điện có giá trị cực đại bằng:

$$E_{e(\max)} = \frac{Q_0^2}{2C} \quad (1-1)$$

Cho tụ phóng điện qua cuộn cảm L . Dòng điện do tụ phóng ra tăng đột ngột từ không, dòng điện biến đổi này làm cho từ thông gửi qua cuộn cảm L tăng dần. Trong cuộn cảm L có một dòng điện tự cảm ngược chiều với dòng điện do tụ C phóng ra, nên dòng điện tổng hợp trong mạch tăng dần, điện tích trên hai bản tụ giảm dần. Lúc này năng lượng điện trường của tụ điện $E_e = q^2 / 2C$ giảm dần, còn năng lượng từ trường trong lòng ống dây $E_m = Li^2 / 2$ tăng dần. Như vậy, có sự chuyển hoá dần từ năng lượng điện trường sang năng lượng từ trường.



Hình 1-2. Quá trình tạo thành dao động điện từ riêng

Khi tụ C phóng hết điện tích, năng lượng điện trường $E_e = 0$, dòng điện trong mạch đạt giá trị cực đại I_0 , năng lượng từ trường trong ống dây đạt giá trị cực đại $E_{m(\max)} = LI_0^2 / 2$, đó là thời điểm $t = T/4$. Sau đó dòng điện do tụ phóng ra bắt đầu giảm và trong cuộn dây lại xuất hiện một dòng điện tự cảm cùng chiều với dòng điện do tụ phóng ra. Vì vậy dòng điện trong mạch giảm dần từ giá trị I_0 về không, quá trình này xảy ra trong khoảng từ $t = T/4$ đến $t = T/2$. Trong quá trình biến đổi này cuộn L đóng vai trò của nguồn nạp điện cho tụ C nhưng theo chiều ngược lại, điện tích của tụ lại tăng dần từ giá trị không đến giá trị cực đại Q_0 . Về mặt năng lượng thì năng lượng điện trường tăng dần, còn năng lượng từ trường giảm dần. Như vậy có sự chuyển hoá từ năng lượng từ trường thành năng lượng điện trường, giai đoạn này kết thúc tại thời điểm $t = T/2$, lúc này cuộn cảm đã giải phóng hết năng lượng và điện tích trên hai bản tụ lại đạt giá trị cực đại Q_0 nhưng đổi dấu ở hai bản, năng lượng điện trường lại đạt giá trị cực đại $E_{e(\max)} = Q_0^2 / 2C$. Tới đây, kết thúc quá trình dao động trong một nửa chu kỳ đầu. Tụ C phóng điện vào cuộn cảm theo chiều ngược với nửa chu kỳ đầu, cuộn cảm lại

được tích năng lượng rồi lại giải phóng năng lượng, tụ C lại được tích điện và đến cuối chu kỳ ($t = T$) tụ C được tích điện với dấu điện tích trên các bản như tại thời điểm ban đầu, mạch dao động điện từ trở lại trạng thái dao động ban đầu. Một dao động điện từ toàn phần đã được hoàn thành. Dưới đây ta thiết lập phương trình mô tả dao động điện từ trên.

2. Phương trình dao động điện từ điều hoà

Vì không có sự mất mát năng lượng trong mạch, nên năng lượng điện từ của mạch không đổi:

$$E_e + E_m = E = \text{const} \quad (1-2)$$

Thay $E_e = \frac{q^2}{2C}$ và $E_m = \frac{Li^2}{2}$ vào (1-2), ta được:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \text{const} \quad (1-3)$$

Lấy đạo hàm cả hai vế của (1-3) theo thời gian rồi thay $dq/dt = i$, ta thu được:

$$\frac{q}{C} + \frac{Ldi}{dt} = 0 \quad (1-4)$$

Lấy đạo hàm cả hai vế của (1-4) theo thời gian rồi thay $dq/dt = i$, ta được:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{LC}i = 0 \quad (1-5)$$

Đặt $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$, ta được:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \omega_0^2 i = 0 \quad (1-6)$$

Đó là phương trình vi phân cấp hai thuần nhất có hệ số không đổi. Nghiệm tổng quát của (1-6) có dạng:

$$i = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (1-7)$$

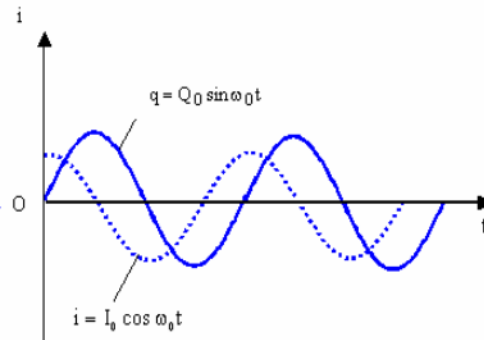
trong đó I_0 là biên độ của cường độ dòng điện, φ là pha ban đầu của dao động, ω_0 là tần số góc riêng của dao động:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1-8)$$

Từ đó tìm được chu kỳ dao động riêng T_0 của dao động điện từ điều hoà:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1-9)$$

Cuối cùng ta nhận xét rằng điện tích của tụ điện, hiệu điện thế giữa hai bản tụ... cũng biến thiên với thời gian theo những phương trình có dạng tương tự như (1-7).

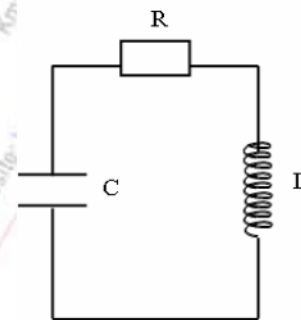


Hình 1-3. Đường biểu diễn dao động điều hoà

§2. DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ TẮT DẦN

1. Mạch dao động điện từ RLC

Trong mạch dao động bây giờ có thêm một điện trở R tượng trưng cho điện trở của toàn mạch (hình 1-4). Ta cũng tiến hành nạp điện cho tụ C , sau đó cho tụ điện phóng điện qua điện trở R và ống dây L . Tương tự như đã trình bày ở bài dao động điện từ điều hoà, ở đây cũng xuất hiện các quá trình chuyển hoá giữa năng lượng điện trường của tụ điện và năng lượng từ trường của ống dây. Nhưng do có sự toả nhiệt trên điện trở R , nên các dao động của các đại lượng như i , q , u ,... không còn dạng hình sin nữa, các biên độ của chúng không còn là các đại lượng không đổi như trong trường hợp dao động điện từ điều hoà, mà giảm dần theo thời gian. Do đó, loại dao động này được gọi là dao động điện từ tắt dần. Mạch dao động RLC trên được gọi là *mạch dao động điện từ tắt dần*.



Hình 1-4. Mạch dao động điện từ tắt dần

2. Phương trình dao động điện từ tắt dần

Do trong mạch có điện trở R , nên trong thời gian dt phần năng lượng toả nhiệt trên điện trở R bằng độ giảm năng lượng điện từ $-dE$ của mạch. Theo định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng, ta có:

$$-dE = Ri^2 dt \quad (1-10)$$

Thay $E = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$ vào (1-10), ta có:

$$-d\left(\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}\right) = Ri^2 dt \quad (1-11)$$

Chia cả hai vế của phương trình (1-11) cho dt , sau đó lấy đạo hàm theo thời gian và thay $dq/dt = i$, ta thu được:

$$\frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = -Ri \quad (1-12)$$

Lấy đạo hàm cả hai vế của (1-12) theo thời gian và thay $dq/dt = i$, ta thu được:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (1-13)$$

Đặt $\frac{R}{L} = 2\beta$, $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$, ta thu được phương trình:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\beta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = 0 \quad (1-14)$$

Đó là phương trình vi phân cấp hai thuần nhất có hệ số không đổi. Với điều kiện hệ số tắt đủ nhỏ sao cho $\omega_0 > \beta$ hay $\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2$ thì nghiệm tổng quát của phương trình (1-14) có dạng:

$$i = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-15)$$

trong đó I_0 , φ là hằng số tích phân phụ thuộc vào điều kiện ban đầu, còn ω là tần số góc của dao động điện từ tắt dần và có giá trị:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} < \omega_0 \quad (1-16)$$

Chu kỳ của dao động điện từ tắt dần:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \quad (1-17)$$

Như vậy, chu kỳ dao động tắt dần lớn hơn chu kỳ dao động riêng trong mạch.

Đại lượng $I_0 e^{-\beta t}$ là biên độ của dao động tắt dần. Nó giảm dần với thời gian theo qui luật hàm mũ. Tính chất tắt dần của dao động điện từ được đặc trưng bằng một đại lượng gọi là lượng giảm lôga, ký hiệu bằng chữ δ : lượng giảm lôga có giá trị bằng lôga tự nhiên của tỷ số giữa hai trị số liên tiếp của biên độ dao động cách nhau một khoảng thời gian bằng một chu kỳ dao động T . Theo định nghĩa ta có:

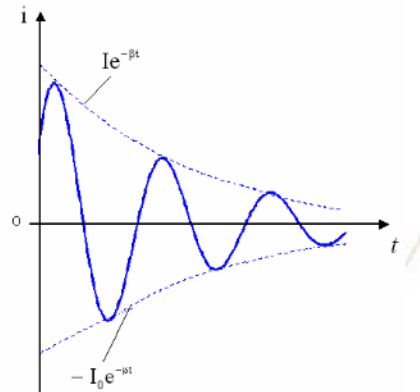
$$\delta = \ln \frac{I_0 e^{-\beta t}}{I_0 e^{-\beta(t+T)}} = \beta T \quad (1-18)$$

trong đó $\beta = R/2L$, rõ ràng là nếu R càng lớn thì β càng lớn và dao động tắt càng nhanh. Điều đó phù hợp với thực tế.

Chú ý: trong mạch dao động RLC ghép nối tiếp, ta chỉ có hiện tượng dao động điện từ khi:

$$\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \text{ hay } R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Trị số $R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ được gọi là điện trở tới hạn của mạch. Nếu $R \geq R_0$ trong mạch không có dao động.



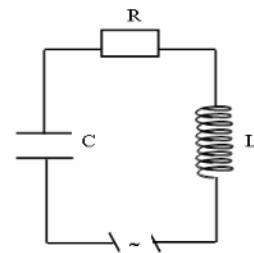
Hình 1-5. Đường biểu diễn dao động điện từ tắt dần

§3. DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ CƯỜNG BỨC

1. Hiện tượng:

Để duy trì dao động điện từ trong mạch dao động RLC, người ta phải cung cấp năng lượng cho mạch điện để bù lại phần năng lượng đã bị tổn hao trên điện trở R . Muốn vậy, cần mắc thêm vào mạch một nguồn điện xoay chiều có suất điện động biến thiên tuần hoàn theo thời gian với tần số góc Ω và biên độ $\mathcal{E}_0$: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \Omega t$

Lúc đầu dao động trong mạch là chồng chất của hai dao động: dao động tắt dần với tần số góc ω và dao động cường bức với tần số góc Ω . Giai đoạn quá độ này xảy ra rất ngắn, sau đó dao động tắt dần không còn nữa và trong mạch chỉ còn dao động điện từ không tắt có tần số góc bằng tần số góc Ω của nguồn điện. Đó là *dao động điện từ cường bức*.



Hình 1-6. Mạch dao động điện từ cường bức

2. Phương trình dao động điện từ cường bức

Trong thời gian dt , nguồn điện cung cấp cho mạch một năng lượng bằng $\mathcal{E}idt$. Phần năng lượng này dùng để bù đắp vào phần năng lượng toả nhiệt Joule - Lenx và