

# **NỘI DUNG VẬT LÝ 2 PH1122 ( BỔ SUNG)**

- 1. §2.4. Phương pháp ảnh điện**
- 2. §4.5 Mạch RC**
- 3. §5.5 Mạch từ**
- 4. §5.9. Bộ lọc vận tốc. Hiệu ứng Hall**
- 5. §6.3 Hiện tượng hồ cảm**
- 6. §7.5 Từ trường của trái đất**
- 7. §10.4 Sự phát sóng điện từ của một lưỡng cực điện nguyên tử dao động.**
- 8. §10.5 Áp suất sóng điện từ.**

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lương Duyên Bình (Chủ biên): Bài tập Vật lý Đại cương tập 2: Điện- Dao động- Sóng, NXB Giáo dục, 2006, 151 trang.
2. Lương Duyên Bình- Dư Trí Công- Nguyễn Hữu Hồ: Vật lý Đại cương tập 2: Điện- Dao động- Sóng, NXB Đại học và Giáo dục chuyên nghiệp, Hà nội 1992, 220 trang.
3. Đặng Quang Khang: Vật lý Đại cương tập 2: Điện học, ĐH Bách Khoa Hà nội, 2000, 328 tr.
4. Trần Ngọc Hợi (Chủ biên), Phạm Văn Thiều: Vật lý Đại cương các nguyên lý và ứng dụng, tập 2: Điện, từ, dao động và sóng, NXB Giáo dục, 2006, 487 trang.

## §2.4. Phương pháp ảnh điện

### 1. Nội dung phương pháp ảnh điện:

- Được sử dụng trong các bài toán tĩnh điện
- Nếu thay một mặt đẳng thế nào đó trong điện trường bằng một vật dẫn có cùng hình dạng và cùng điện thế với mặt đẳng thế đang xét thì điện trường ở ngoài vật dẫn ấy sẽ không bị thay đổi.

### 2. Bài toán áp dụng:

- **Bài toán 1:** Xác định lực tác dụng giữa một điện tích điểm và một mặt phẳng kim loại vô hạn

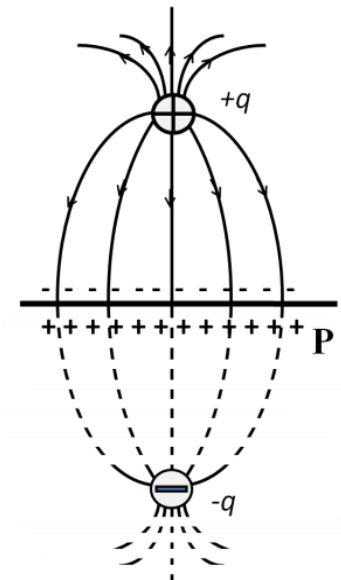
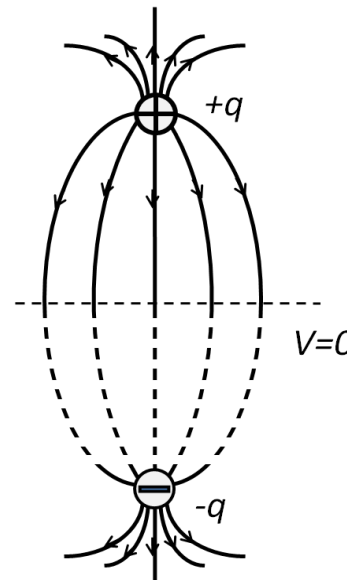
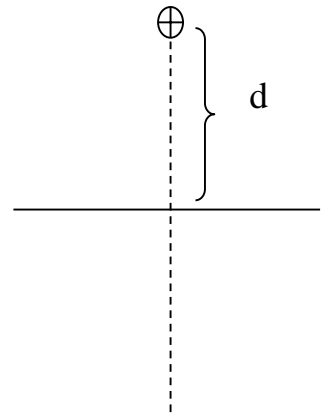
## Bài giải:

Giả sử điện tích  $q > 0$ , tấm kim loại không mang điện cách điện tích một khoảng  $d$

Cho phép thay bài toán tương tác giữa điện tích  $q$  và mặt kim loại vô hạn bằng bài toán tương tác giữa hai điện tích  $q$  và  $-q$ . Giống như điện tích  $+q$  đối xứng qua gương gọi là phương pháp ảnh điện.

Lực tương tác giữa điện tích  $+q$  và mặt phẳng kim loại P (các mặt khi đó tích điện âm và dương đối xứng) được xác định bởi định luật Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(2d)^2}$$



**Bài toán 2:** Tính điện dung của một dây dẫn hình trụ dài vô hạn bán kính  $R$  mang điện tích dương đặt song song và cách mặt đất một khoảng  $h \gg R$

**Bài giải:**

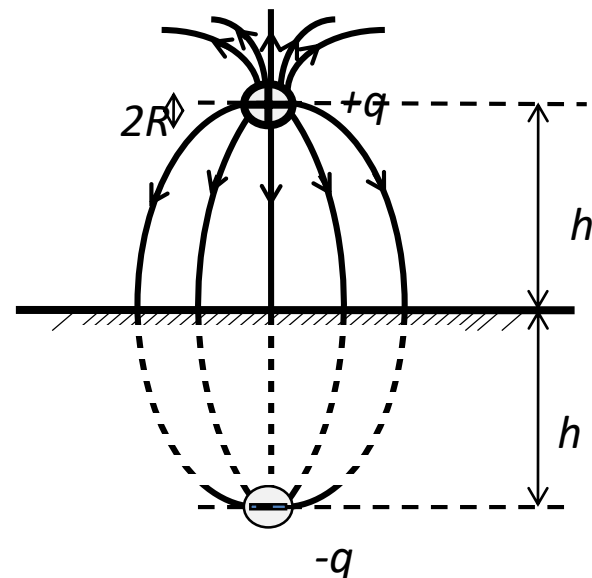
- Điện phổ giữa dây dẫn và mặt đất được biểu diễn như hình vẽ.
- Điện trường do 2 dây gây ra cách  $+q$  một đoạn  $x$  là

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l \cdot x} + \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l (2h - x)} \quad \text{với } Q = \lambda \cdot l$$

$$\Rightarrow V_1 - V_2 = \int_R^{2h-R} E dx = \int_R^{2h-R} \left( \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l \cdot x} + \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l (2h - x)} \right) dx \Rightarrow V_1 - V_2 = \frac{Q}{\pi\epsilon\epsilon_0 l} \cdot \ln \frac{2h}{R}$$

- Nếu coi hệ thống dây dẫn và mặt đất như một tụ đơn giản, điện dung một đơn vị độ dài của dây dẫn

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \frac{2h}{R}}$$



## §4.4 Định luật Kirchhoff cho mạch điện

### 1. Qui tắc điện nút

- Tổng các cường độ dòng điện đi vào một điểm nút bằng tổng các cường độ dòng điện đi ra khỏi nút đó

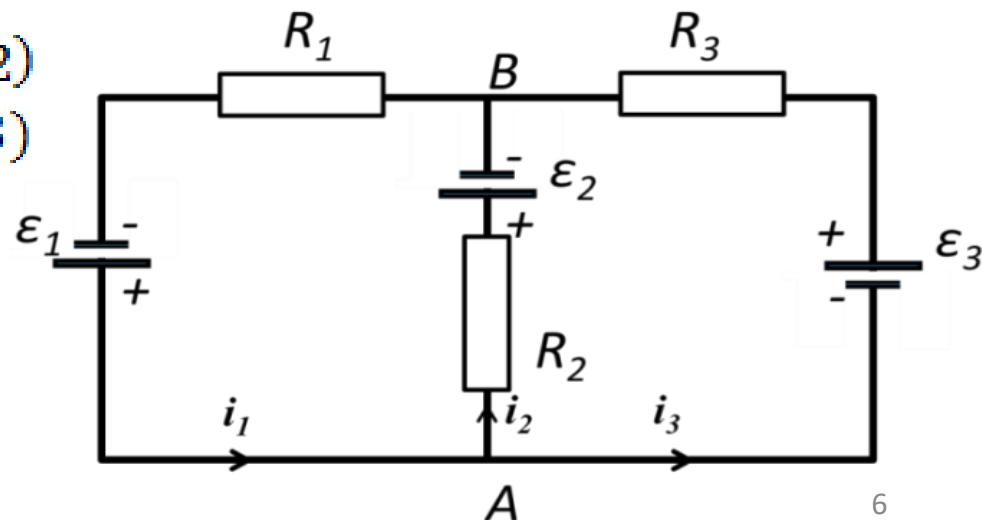
$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (1)$$

### 2. Qui tắc mạch vòng

- Tổng đại số các hiệu điện thế dọc theo một vòng kín bất kỳ trong mạch điện thì bằng không.

$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 + i_2 R_2 + i_1 R_1 = 0 \quad (2)$$

$$i_3 R_3 - i_2 R_2 - \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3 = 0 \quad (3)$$



## Bài tập áp dụng:

Cho mạch điện như hình vẽ

$$R_1 = 4\Omega, R_2 = 2\Omega, R_3 = 3\Omega$$

$$\mathcal{E}_1 = 2V, \mathcal{E}_2 = 1V, \mathcal{E}_3 = 3V$$

Tìm  $i_1, i_2, i_3$

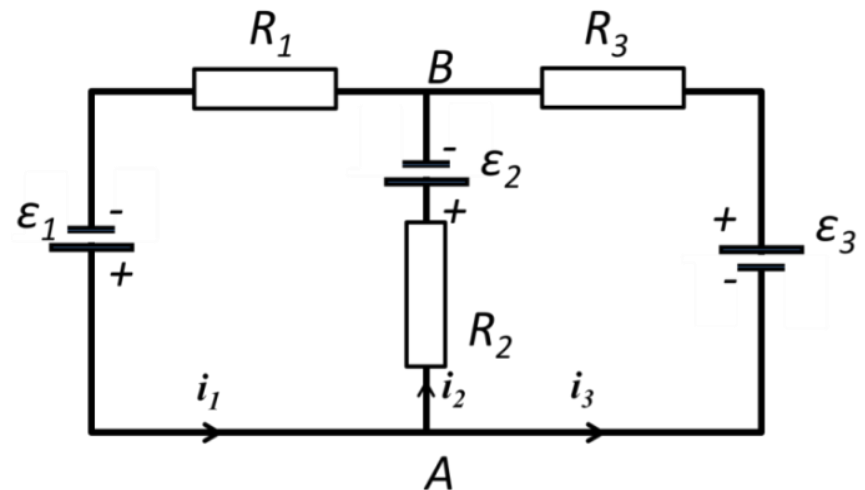
## Bài giải

Giả sử chiều dòng điện như hình vẽ.

Áp dụng qui tắc nút (1) và qui tắc mạch vòng (2) và (3).

Suy ra: 
$$\begin{cases} \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = i_2 R_2 + i_1 R_1 \\ \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 = i_3 R_3 - i_2 R_2 \\ i_1 = i_2 + i_3 \end{cases}$$

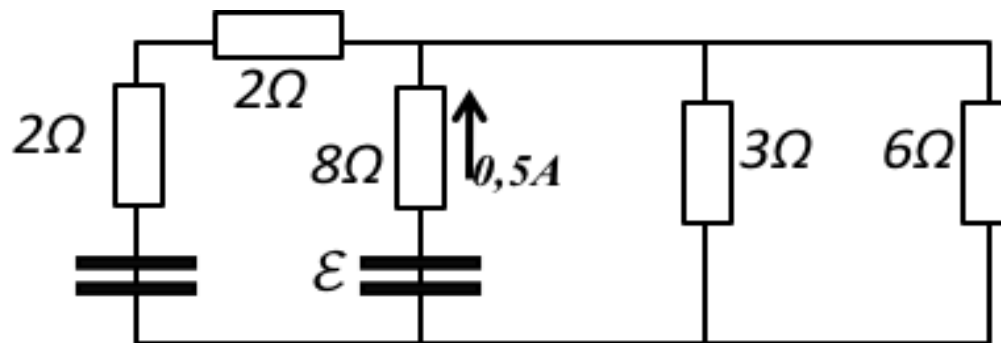
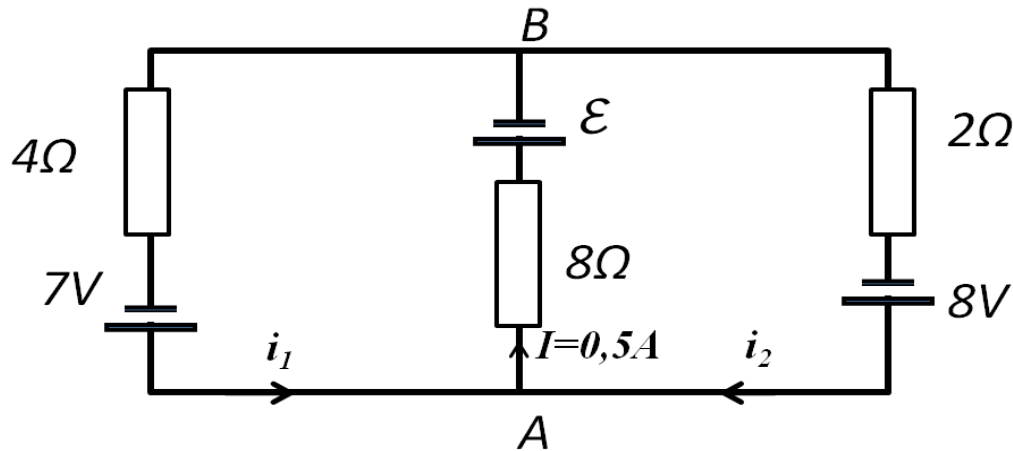
Thay số: 
$$\begin{cases} 2V = 2i_2 + 4i_1 \\ 4V = 3i_3 - 2i_2 \\ i_1 = i_2 + i_3 \end{cases} \quad \text{suy ra} \quad \begin{cases} i_1 = 0,5A \\ i_2 = -0,5A \\ i_3 = 1A \end{cases}$$



Dòng  $i_2$  có chiều ngược lại.

# Bài tập:

- Tìm suất điện động  $\mathcal{E}$





## §4.5 Mạch RC

### 1. Nạp điện cho mạch RC

Xét tụ điện có điện dung  $C$  trong mạch RC.

Mắc vào nguồn  $\mathcal{E}$  khi đó tụ tích điện.

Cường độ dòng điện chạy trong mạch:

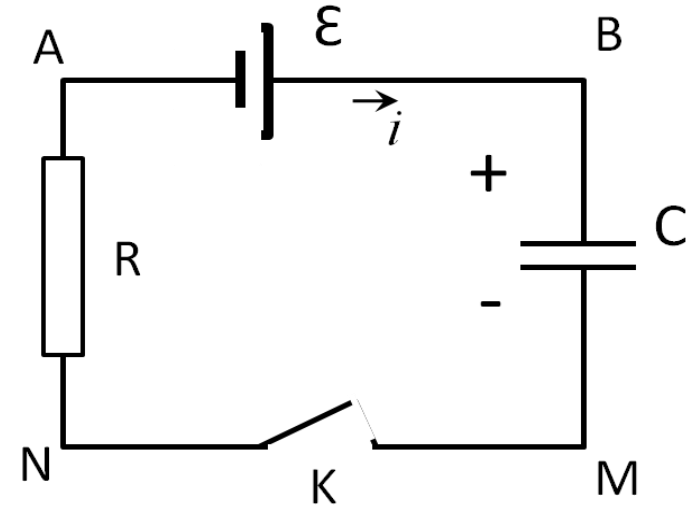
$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Trong đó  $q$  là điện tích tức thời trên bản tụ

Áp dụng quy tắc mạch vòng cùng chiều kim đồng hồ

$$\begin{aligned} U_{MN} + U_{NA} + U_{AB} + U_{BM} &= 0 \\ -\mathcal{E} + \frac{q}{C} + iR &\Rightarrow \mathcal{E} - \frac{q}{C} - iR = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó  $\mathcal{E}$  là suất điện động của nguồn,  $R, C = \text{const}$



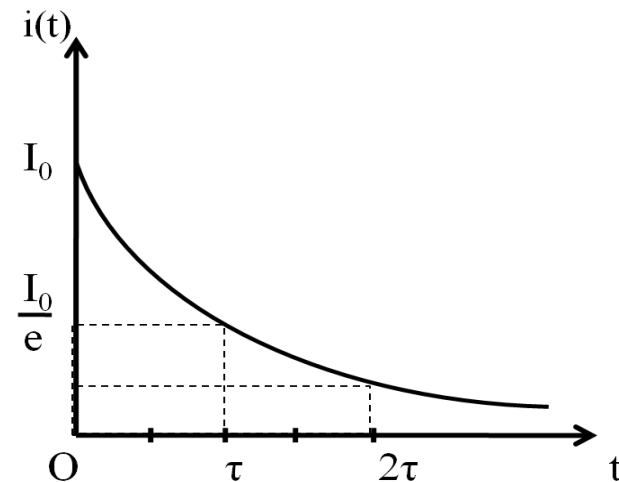
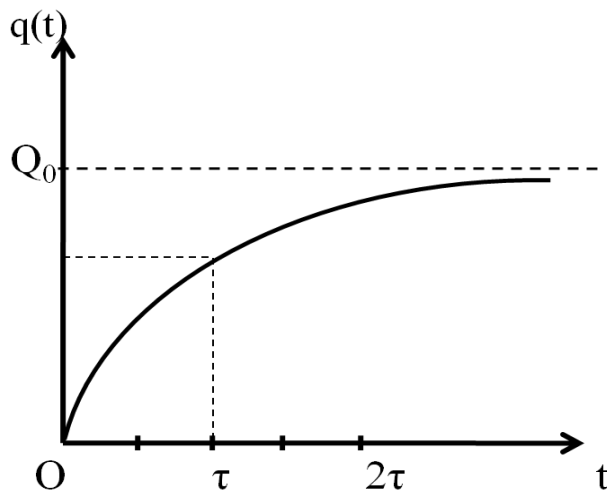
$$\Rightarrow RC \frac{dq}{dt} = \mathcal{E}C - q \Rightarrow \frac{dq}{\mathcal{E}C - q} = \frac{1}{RC} dt \Rightarrow \frac{d(\mathcal{E}C - q)}{\mathcal{E}C - q} = -\frac{1}{RC} dt$$

• Hay 
$$q(t) = \mathcal{E}C \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (3)$$

$$Q_{\infty} = \mathcal{E}C$$

- Đặt  $\tau = RC$  gọi là hằng số thời gian có đơn vị là giây
- Nếu  $\tau$  lớn tụ nạp chậm,  $\tau$  nhỏ thì tụ nạp nhanh.
- Cường độ dòng điện trong mạch

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \mathcal{E}C \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \Rightarrow i = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = i_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$



- *Quá trình trao đổi năng lượng trong thời gian tích điện*

+ Năng lượng mà suất điện động của nguồn truyền cho các hạt tải mang điện:

$$\mathcal{E} \cdot Q_{\infty} = \mathcal{E}(\mathcal{E}C) = \mathcal{E}^2 C$$

( $\mathcal{E}$  chính là năng lượng trên một đơn vị điện tích được truyền bởi nguồn).

+ Năng lượng được lưu trữ trong tụ điện có điện tích  $Q$  là

$$W_{\mathcal{E}} = \frac{Q^2}{2C} \quad (5)$$

Phần năng lượng tỏa ra trên điện trở  $R$

$$-\Delta W = - \int dW = \int_0^{\infty} i^2 R dt = \frac{1}{2} \mathcal{E}^2 C \quad (6)$$

## 2. Sự phóng điện của tụ trong mạch RC

- Xét mạch RC:

Giả sử ban đầu K mở, điện tích trên bản tụ là  $Q_o$ .

- Khi K đóng, tụ bắt đầu phóng điện.

Cường độ dòng điện trong mạch:

$$i = -\frac{dq}{dt}$$

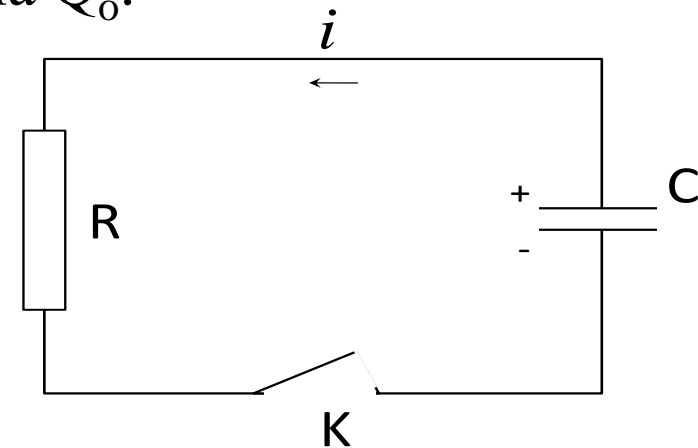
dấu “-” do điện tích trên bản tụ giảm

Phương trình trong mạch:

$$\begin{aligned} -iR + \frac{q}{C} &= 0 \Rightarrow -R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \Rightarrow \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC} dt \\ \Rightarrow q(t) &= Q_o e^{-\frac{t}{RC}} = Q_o e^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned} \quad (7)$$

Cường độ dòng điện trong mạch:

$$i = -\frac{dq}{dt} = \frac{Q_o}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_o}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = i_o e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8)$$



## §5.5 Mạch từ

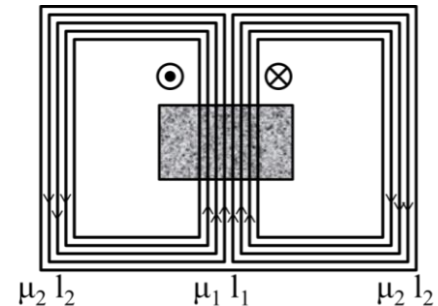
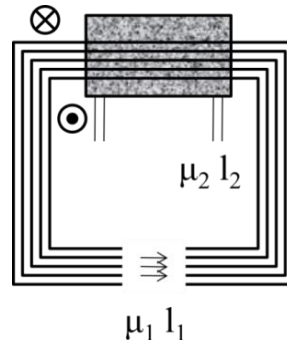
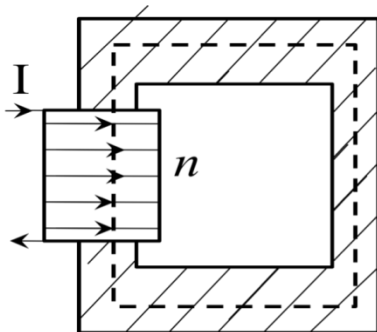
### 1. Khái niệm:

Mạch từ là một tập hợp các vật hoặc các miền không gian trong đó tập trung từ trường

Trong các máy điện (máy phát điện, động cơ điện) và trong các dụng cụ điện (máy biến áp) mạch từ đóng vai trò quan trọng.

### 2. Phân loại mạch từ:

- Mạch từ không phân nhánh đồng nhất. (a)
- Mạch từ không phân nhánh không đồng nhất (b)
- Mạch từ phân nhánh gồm hai hay nhiều nhánh (c)



### 3. Suất từ động. Công thức Hopkinson.

Đối với mạch từ không phân nhánh (a), từ thông gửi qua một tiết diện bất kỳ của mạch là như nhau

Áp dụng định lý Ampere và dòng toàn phần

$$\int_{(c)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(c)} H dl = H.l = n.I \quad (1)$$

$n$  là số vòng dây xuyên qua diện tích đường cong  $C$

$I$  là cường độ dòng điện ( mạch từ đồng chất có diện tích không đổi)

Ta có  $H = \frac{nI}{l}$  trong đó  $H = \frac{\Phi_m}{\mu_o \mu S} = const \quad (2)$

Từ thông gửi qua diện tích của mạch

$$B = \mu_o \mu H = \frac{\mu_o \mu n I}{l} \quad (3)$$

$$\Phi_m = B.S = \frac{\mu_o \mu n I S}{l} \quad (4)$$

$$\Phi_m = \frac{nI}{\frac{1}{\mu_o \mu S}} = \frac{\mathcal{E}_m}{R_m} \quad (4a)$$

$$\mathcal{E}_m = n.I, R_m = \frac{1}{\mu_o \mu} \frac{l}{S} \quad (5)$$

$\mathcal{E}_m$  gọi là suất từ động

$R_m$  gọi là từ trở của mạch

Khi đó

$$\phi_m = \frac{\mathcal{E}_m}{R_m} \quad (6)$$

Biểu thức (6) giống định luật Ohm gọi là công thức Hopkinson biểu diễn định luật Ohm đối với mạch từ:

“Từ thông gửi qua một tiết diện bất kỳ của mạch từ không phân nhánh bằng suất từ động của mạch từ chia cho từ trở toàn phần của mạch.”

### Chú ý:

- Nếu mạch từ gồm nhiều đoạn mắc nối tiếp có từ trở  $R_{1m}$ ,  $R_{2m}$ , ...,  $R_{nm}$ . Từ trở toàn mạch:

$$R_m = \sum_{k=1}^n R_{km} \quad (7)$$

- Trong mạch từ (b) gồm 2 mạch:

$$R_m = \frac{1}{\mu_o S} \left( \frac{l_1}{\mu_1} + \frac{l_2}{\mu_2} \right)$$

- Mạch từ gồm nhiều nhánh mắc song song

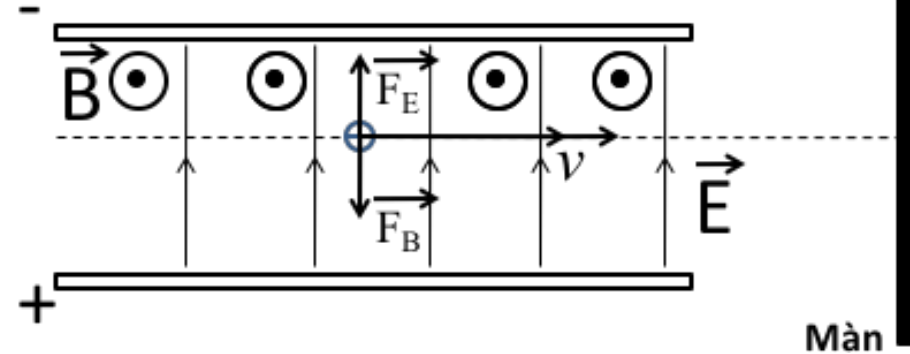
$$\frac{1}{R_m} = \sum_k \frac{1}{R_{km}}$$

Ứng dụng trong kỹ thuật điện, phát hiện sai hỏng trong mạch từ.



## §5.9. Bộ lọc vận tốc. Hiệu ứng Hall

### 1. Bộ lọc vận tốc



- Khảo sát chuyển động của một hạt mang điện (+) đi vào vùng không gian có từ trường  $\vec{B}$  và điện trường  $\vec{E}$  theo phương vuông góc với  $\vec{B}$  và  $\vec{E}$ .
- Điện trường đều do tụ điện phẳng gây ra đặt vuông góc với từ trường  $\vec{B}$  (Hình vẽ)
- Xét một hạt mang điện dương sẽ chịu tác dụng lực  $\vec{F}_E$  hướng lên và lực  $\vec{F}_B$  hướng xuống. Hai lực này cân bằng nhau. Tổng hợp các lực tác dụng lên hạt bằng 0:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \wedge \vec{B} = 0 \quad (1)$$

- Vận tốc của hạt là không đổi và không lệch phương

$$v = \frac{E}{B} \quad (2)$$

Bộ lọc vận tốc cho hạt đi qua mà không bị lệch phương.

+ Nếu  $v_1 < v$  ( $\vec{F}_E > \vec{F}_B$ ) hạt chuyển động lên trên

+ Nếu  $v_1 > v$  ( $\vec{F}_E < \vec{F}_B$ ) hạt chuyển động xuống dưới

Bộ lọc vận tốc được dùng trong các dụng cụ như khối phổ kế.

Một bộ lọc vận tốc tự nhiên là hiệu ứng Hall.

## 2. Hiệu ứng Hall

Xét một đoạn dây dẫn có dòng điện chạy qua đặt trong từ trường đều. Chiều dòng điện hướng theo trục Ox.

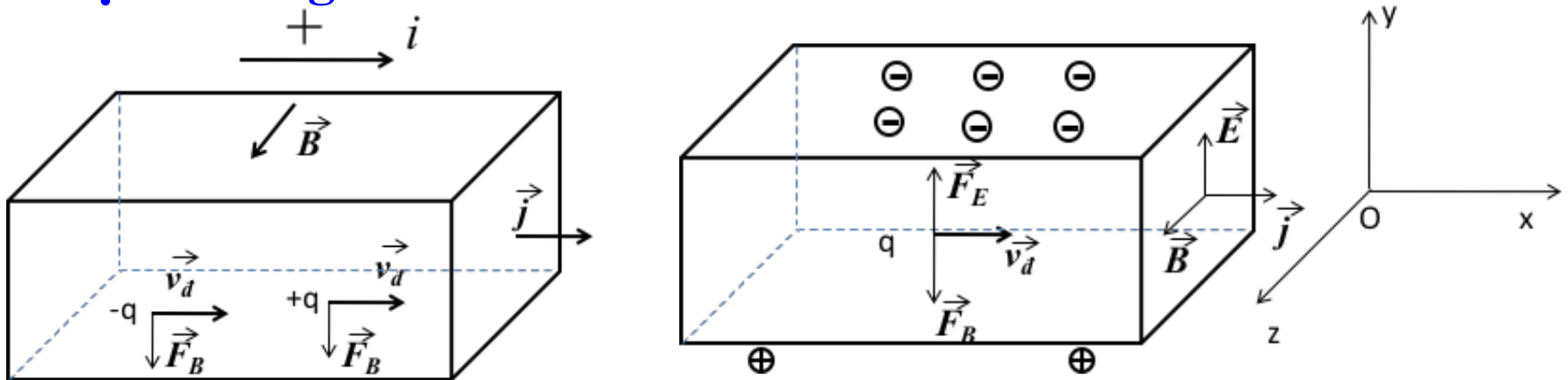
Các hạt mang điện dương sẽ chuyển động theo trục Ox và ngược lại. Lực tác dụng lên hạt mang điện sẽ lệch về phía dưới.

Giả sử trong vật dẫn chỉ có hạt mang điện tích dương.

Khi đó mặt dưới sẽ tích điện dương và mặt trên tích điện âm.

Cường độ điện trường hướng từ dưới lên.

Khi đạt tới trạng thái ổn định, thành phần điện trường  $E_y$  gọi là điện trường Hall.



- Lực điện  $\vec{F}_E$  cân bằng với lực từ  $\vec{F}_B$
- Điện trường và từ trường vuông góc có tác dụng như bộ lọc vận tốc với vận tốc  $\vec{v}_d$  gọi là hiệu ứng Hall

Gọi  $R_H$  là hệ số Hall,  $n$  là mật độ hạt có điện tích  $+q$ . Khi đó:

$$R_H = \frac{E_y}{J_x B_z} = \frac{1}{nq} \quad (3)$$

Ta chứng minh từ (1)

$$\Rightarrow F_y = q(E_y - v_{dx}B_z) = 0$$

$$\Rightarrow E_y = v_{dx}B_z \Rightarrow nqE_y = nqv_{dx}B_z$$

$$\Rightarrow nqE_y = J_x B_z \Rightarrow R_H = \frac{E_y}{J_x B_z} = \frac{1}{nq}$$

- Hệ số Hall có giá trị dương với điện tích  $q > 0$  và ngược lại.
- Hệ số Hall cho ta thông tin về dấu của các hạt tải.
- Hiệu ứng Hall có thể dùng để xác định từ trường ở trong vùng bằng cách đo điện trường Hall trong một vật dẫn đã được định cỡ.

## §6.3 Hiện tượng hồ cảm

### 1. Suất điện động hồ cảm - Độ hồ cảm

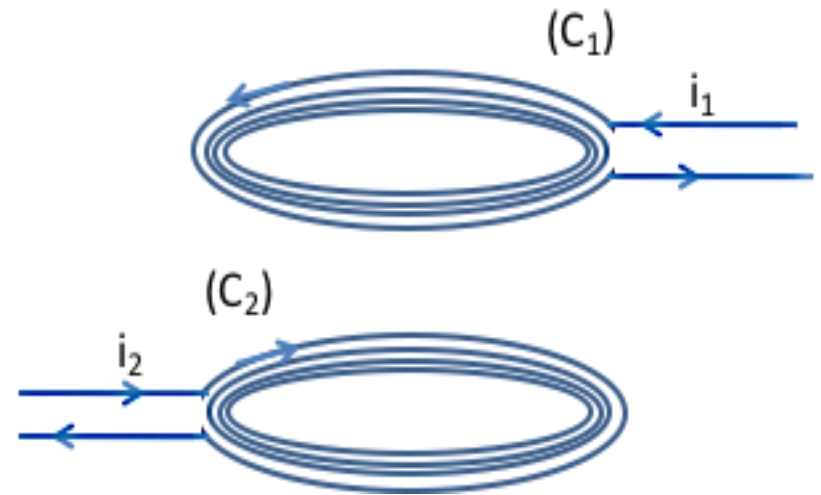
Khi dòng điện chạy trong cuộn dây mắc trong mạch điện biến thiên, trong cuộn dây sẽ xuất hiện một suất điện động tự cảm

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Từ trường này cũng có thể lan truyền ra phía ngoài cuộn dây và ảnh hưởng tới mạch điện khác bên cạnh.

Giả sử có hai mạch điện kín  $C_1$  và  $C_2$  đặt cạnh nhau trong đó có các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  chạy qua.

Nếu cường độ dòng điện chạy trong các mạch đó biến thiên thì từ thông gửi qua mạch điện kia cũng biến thiên.



Kết quả là cả hai đều xuất hiện dòng điện cảm ứng.

Hiện tượng đó gọi là hiện tượng hồ cảm, các dòng điện đó gọi là dòng điện hồ cảm.

Suất điện động gây ra dòng điện hồ cả gọi là suất điện động hồ cảm.

Biểu thức suất điện động hồ cảm cũng được tính theo định luật cảm ứng điện từ

$$\mathcal{E}_{hc} = - \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (2)$$

Gọi  $\phi_{m12}$  là từ thông do dòng điện  $i_1$  sinh ra gửi qua diện tích của mạch điện  $C_2$

$\phi_{m12}$  là từ thông do dòng điện  $i_2$  sinh ra gửi qua diện tích của mạch điện  $C_1$

Ta có  $\phi_{m12} = M_{12}i_1$  (3)

$$\phi_{m21} = M_{21}i_2 \quad (4)$$

Trong đó  $M_{12}$  là hệ số hỗ cảm của hai mạch điện ( $C_1$ ) và ( $C_2$ ),

$M_{21}$  là hệ số hỗ cảm của hai mạch điện ( $C_2$ ) và ( $C_1$ )

$M_{12}$  và  $M_{21}$  phụ thuộc vào hình dạng, kích thước, vị trí tương hỗ giữa hai mạch điện và môi trường đặt hai mạch điện đó và  $M_{12}=M_{21}=M$

Suất điện động hỗ cảm trong mạch ( $C_2$ )

$$\mathcal{E}_{hc2} = -\frac{d\phi_{m12}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (5)$$

Suất điện động hỗ cảm xuất hiện trong mạch ( $C_1$ )

$$\mathcal{E}_{hc1} = -\frac{d\phi_{m21}}{dt} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (6)$$

Trong đó độ hỗ cảm có cùng thứ nguyên với độ tự cảm  $L$

## 2. Hệ mạch điện cảm ứng

Giả sử hai mạch điện ( $C_1$ ) và ( $C_2$ ) để gần nhau trong đó có các dòng điện có cường độ  $i_1$  và  $i_2$ .

Từ thông tổng cộng gửi qua mạch ( $C_x$ ) do từ trường của mạch ( $C_1$ ) và ( $C_2$ ) đồng thời gây ra hoàn toàn tương tự đối với từ thông gửi qua mạch ( $C_2$ ).

Từ thông  $\phi_1$  và  $\phi_2$  đều phụ thuộc vào các cường độ dòng điện  $i_1$  và  $i_2$ .

Khi đó

$$\begin{aligned}\phi_1 &= L_{11}i_1 + L_{12}i_2 \\ \phi_2 &= L_{21}i_1 + L_{22}i_2\end{aligned}\quad (7a)$$

Trong đó  $L_{11}$ ,  $L_{22}$  là hệ số tự cảm,

$L_{12}=M_{12}$ ,  $L_{21}=M_{21}$  là các hệ số hỗ cảm



Người ta chứng minh rằng  $L_{11} > 0$ ,  $L_{22} > 0$ ,  $L_{12} = L_{21}$  (7b)

Nếu các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  biến thiên theo thời gian thì trong các mạch điện ( $C_1$ ) và ( $C_2$ ) xuất hiện những suất điện động cảm ứng có giá trị lần lượt là

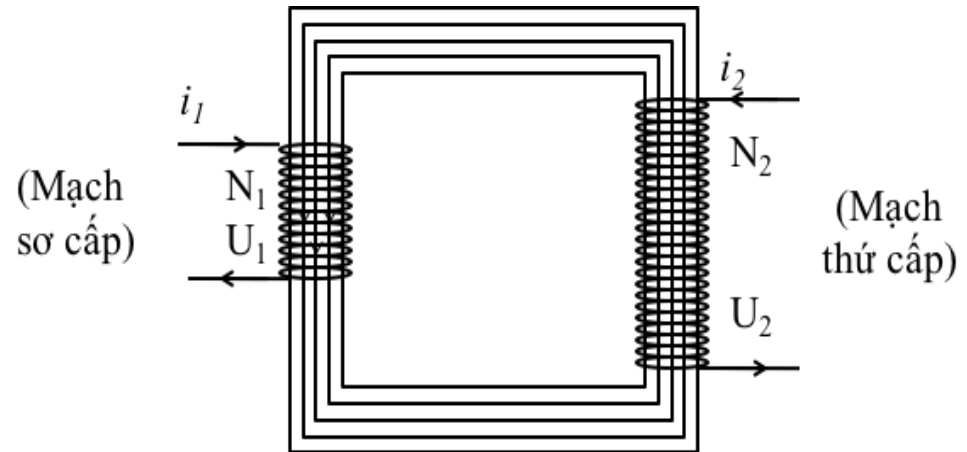
$$\mathcal{E}_1 = -\frac{d\phi_{m1}}{dt} = -L_{11}\frac{di_1}{dt} - L_{12}\frac{di_2}{dt} \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\phi_{m2}}{dt} = -L_{21}\frac{di_1}{dt} - L_{22}\frac{di_2}{dt} \quad (9)$$

Các hệ thức (7a) và (7b) có thể được mở rộng cho trường hợp  $n$  mạch điện cảm ứng

### 3. Máy biến thế

- Một thiết bị dùng hiện tượng hồ cảm để thay đổi điện áp từ mạch này tới mạch khác, đó là máy biến thế.
- Mạch biến thế đơn giản bao gồm hai cuộn dây được cuốn quanh một lõi thép hoặc vòng sắt
- Từ trường được tạo ra bởi dòng điện trong hai cuộn dây, tập trung chủ yếu trong lõi thép
- Cuộn sơ cấp có  $N_1$  vòng dây, cuộn thứ cấp có  $N_2$  vòng dây.
- Cuộn thứ cấp thường được xem là đầu ra.
- Lõi sắt làm cho từ thông  $\phi_m$  về cơ bản là như nhau đối với mỗi vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp.



Trong mỗi vòng dây xuất hiện một suất điện động như nhau:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi_m}{dt}$$

Suất điện động cảm ứng hay điện áp trong cuộn sơ cấp có  $N_1$  vòng dây và cuộn thứ cấp có  $N_2$  vòng dây có giá trị

$$U_1 = N_1 \mathcal{E} = -N_1 \frac{d\phi_m}{dt} \quad (10a)$$

$$U_2 = N_2 \mathcal{E} = -N_2 \frac{d\phi_m}{dt} \quad (10b)$$

Từ đó suy ra

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (11)$$

Nếu  $N_2 > N_1$  thì  $U_2 > U_1$  - gọi là máy tăng thế

$N_2 < N_1$  thì  $U_2 < U_1$  - gọi là máy hạ thế

Để bỏ qua ảnh hưởng của dòng Foucault và các mất mát khác trong lõi thép, người ta dùng các tấm thép mỏng, cách điện với nhau và ghép lại.

Xét trường hợp suất điện động trong mạch sơ cấp biến thiên điều hòa và điện trở của mạch sơ cấp không đáng kể còn mạch thứ cấp có điện trở lớn hơn.

Trong các điều kiện đó, máy biến thế đóng vai trò truyền năng lượng từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp

Gọi công suất của cuộn sơ cấp  $P_1 = U_1 I_1$ ,  
của cuộn thứ cấp  $P_2 = U_2 I_2$

Trong trường hợp lý tưởng  $P_1 = P_2$  hay  $U_1 I_1 = U_2 I_2$

Từ (11) ta có  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$  (12)

Trong trường hợp tổng quát hiệu suất của máy biến thế

$$H(\%) = \frac{P_2}{P_1} < 100\% \quad \text{hay} \quad P_2 = H \cdot P_1 \quad (13)$$

Trong đó  $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$  là công suất của mạch sơ cấp  
 $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$  là công suất của mạch thứ cấp

Các máy biến thế được sử dụng trong việc truyền tải điện năng từ nơi sản xuất đến nơi tiêu thụ điện năng.

Gọi  $R$  là điện trở trên đường dây,  $P$  là công suất được truyền tải đi,  $U$  là điện áp ở nơi phát,  $\cos\varphi$  là hệ số công suất của mạch điện.

Khi đó công suất tiêu hao trên đường dây

$$\Delta P = R.I^2 = R \frac{P^2}{(U\cos\varphi)^2} \quad (14)$$

Để giảm tiêu hao trên đường dây người ta tăng điện áp  $U$  ở nơi phát điện truyền tải đi đồng thời giảm điện áp ở nơi tiêu thụ tới giá trị cần thiết.