

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.0 GIỚI THIỆU

- Trong chương này chúng ta xem xét tới các quá trình biến đổi năng lượng điện cơ xảy ra trong các môi trường điện trường và từ trường trong các thiết bị biến đổi năng lượng.
- Mặc dù rằng có rất nhiều thiết bị biến đổi hoạt động dựa trên cùng một nguyên lý, nhưng cấu trúc của chúng lại phụ thuộc vào chức năng công tác.
- Các thiết bị đo lường và kiểm tra thông thường là các thiết bị trung gian, chúng vận hành dưới các điều kiện đầu vào, đầu ra tuyến tính và với các tín hiệu tương đối nhỏ.
- Có thể đưa ra một số ví dụ về loại này như các máy microphone, loa phóng thanh....
- Dạng thiết bị thứ hai bao gồm các thiết bị sinh lực tác động như cuộn dây solenoide, relay, các nam châm điện...

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.0 GIỚI THIỆU

- Dạng thứ ba bao gồm các thiết bị biến đổi năng lượng thường xuyên như các động cơ điện, máy phát điện.
- Ngoài ra, trong chương trình còn đề cập tới các nguyên lý biến đổi năng lượng điện cơ và phân tích các hệ thống sử dụng từ trường như là môi trường biến đổi.
- Mục đích của các phân tích được nhằm vào ba điểm chính:
  1. Giúp ta hiểu sự biến đổi năng lượng xảy ra như thế nào.
  2. Cung cấp các phương pháp để thiết kế và tối ưu hóa các thiết bị theo yêu cầu đặc biệt.
  3. Cho thấy cách thực hiện các mô hình thiết bị biến đổi năng lượng điện-cơ có thể áp dụng trong việc phân tích các thành phần của một hệ thống kỹ thuật.

# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.0 GIỚI THIỆU**

- Trong chương này ta xem xét các thiết bị trung gian và các thiết bị sinh lực tác động, còn các thiết bị biến đổi năng lượng thường xuyên được trình bày trong các chương khác.
- Các khái niệm và phương pháp trình bày ở đây là hoàn toàn có sức mạnh, chúng có thể được áp dụng trong một dãy rộng các tình huống kỹ thuật, gắn liền với sự biến đổi năng lượng điện cơ.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.1 Định luật về lực Lorentz

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.1)$$

- Cho lực  $F$  tác động lên điểm có điện tích  $q$  nằm trong điện trường và từ trường. Trong hệ đo lường quốc tế SI:  $F$  - được tính bằng Newtons;  $q$  - Coulombs;  $E$  - Volt/metre;  $B$  - Teslas và  $v$  - tốc độ tương đối của điểm xét so với từ trường m/s.

- Như vậy trong một hệ thống điện trường đơn thuần, lực được xác định đơn giản bởi điện tích của điểm và điện trường  $E$ .

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (2.2)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.1 Định luật về lực Lorentz

- Lực tác động theo chiều của từ trường và độc lập so với sự chuyển động của điểm xét.
- Trong các hệ thống từ trường, tình trạng trở nên phức tạp hơn. Ở đây lực có giá trị:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.3)$$

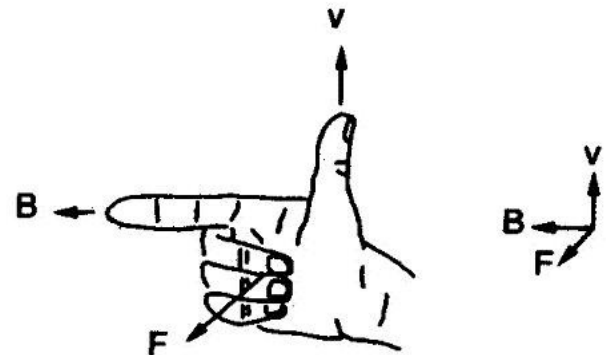
- Nó được xác định bởi lượng điện tích của điểm, độ lớn của từ trường  $B$  và tốc độ chuyển động của hạt. Trên thực tế chiều của lực luôn vuông góc với cả hai chiều chuyển động của điểm và chiều của từ trường. Về mặt toán học đó là tích vectơ  $\vec{v} \times \vec{B}$  trong phương trình (2.3).

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.1 Định luật về lực Lorentz

- Độ lớn của tích này bằng tích của hai độ lớn  $v$  và  $B$  nhân với sin của góc giữa chúng.
- Chiều của lực  $F$  có thể tìm được theo quy tắc bàn tay phải. Quy tắc này phát biểu như sau: *Khi ngón tay cái của bàn tay phải chỉ chiều của  $v$  và ngón tay trở chỉ chiều của  $B$ , lực có chiều đâm xuyên từ lòng bàn tay ra phía ngoài* Hình



Hình 2.1

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.1 Định luật về lực Lorentz

- Trong tình huống ở đó phần lớn các điểm điện tích chuyển động, nên viết lại biểu thức (2.3) theo mật độ dòng điện, trong trường hợp đó lực sẽ là lực đơn vị:

$$\mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B} \text{ N/m}^3$$

(2.4)

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Trong trường hợp chung nhất có thể xem lực điện động được sinh ra khi có sự tác động tương hỗ giữa dòng điện và từ trường.

- Theo định luật Biot-Savart-Laplace, vi phân lực điện động tác động lên dòng điện  $i$  trên chiều dài của đoạn  $dl$  nằm trong từ trường có từ cảm  $\mathbf{B}$  được xác định bởi tích véctơ:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

$$d\vec{F} = i d\vec{l} \times \vec{B} \quad (2.5)$$

Như đã biết, chiều của  $d\vec{F}$  vuông góc với cả hai vectơ  $d\vec{l}$  và  $\vec{B}$ , còn độ lớn của nó là:

$$dF = i dl \cdot B \sin \psi$$

trong đó:  $\psi$  - là góc giữa dòng điện  $i$  và từ cảm  $B$ .

- Nếu từ trường là không đổi so với dòng điện  $i$  trên toàn bộ chiều dài  $l$  của một dây dẫn thẳng thì lực có giá trị bằng:

$$F = i \cdot l \cdot B \sin \psi$$

$$(2.6)$$



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

$$\text{Khi } \psi = \pi/2: \quad F = i.l.B \quad (2.7)$$

- Chiều của lực điện động có thể được xác định theo quy tắc bàn tay trái. Quy tắc này phát biểu như sau: *Nếu từ trường B có chiều đâm xuyên qua lòng bàn tay trái, chiều các ngón tay chỉ chiều dòng điện, thì chiều của lực điện động là chiều của ngón tay cái choãi ra.*

- Công thức Biot-Savart-Laplace dùng để xác định lực điện động khi ta có thể biểu diễn từ cảm B bằng một biểu thức phân tích phụ thuộc vào kích thước của mạch vòng dẫn điện.

# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ**

### **2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace**

- Để minh họa cho điều vừa nói ở trên, có thể đưa ra hai trường hợp tiêu biểu sau đây:

#### **2.1.2.1 Xác định lực điện động giữa hai dây dẫn song song có tiết diện nhỏ**

- Trong trường hợp các dây dẫn có tiết diện ngang nhỏ, thì đường dòng điện được xem như trùng với đường trục của dây dẫn, vì vậy tiết diện của nó không có ảnh hưởng gì tới lực điện động.
- Xét hai dây dẫn song song như được mô tả trong Hình 2.2, chúng có chiều dài tương ứng là  $l_1$  và  $l_2$ , được đặt cách nhau một khoảng cách bằng  $a$ .

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGÃU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

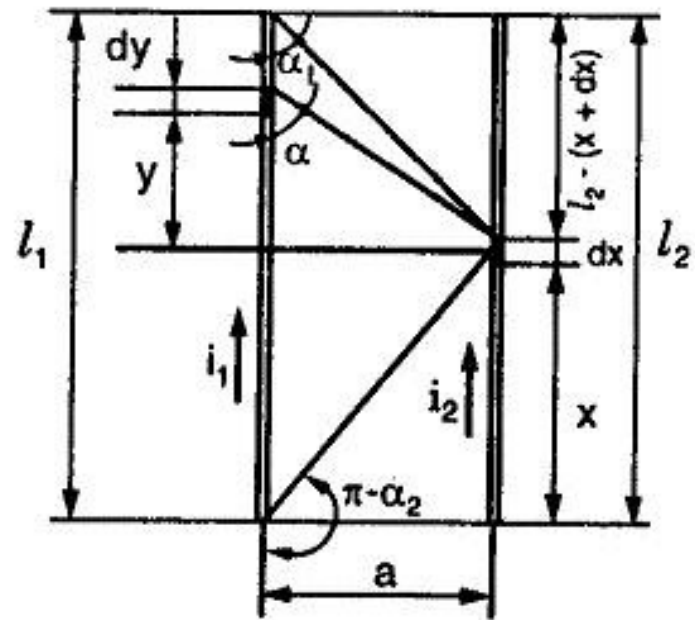
### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Theo định luật Biot- Savart - Laplace, dòng điện  $i_1$  chạy trong vi phân  $dy$  của dây dẫn 1 gây ra trên vi phân  $dx$  của dây dẫn 2 một vi phân từ cảm  $dB$  bằng:

$$dB = d\mu_0 H = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i_1 dy}{r^2} \sin \alpha \quad (2.8)$$

trong đó:  $\mu_0$  - độ từ thẩm của không khí bằng  $4\pi \cdot 10^{-7}$  (H/m).

$\alpha$  góc giữa dây dẫn  $l_1$  và bán kính nối giữa  $dy$  và  $dx$ .



Hình 2.2

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Như vậy, dòng điện  $i_1$  chạy trong toàn bộ chiều dài  $l_1$  sẽ sinh ra từ cảm  $B$  trong vi phân  $dx$  là:

$$B = \int_0^{l_1} dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot i_1 \int_0^{l_1} \frac{dy}{r^2} \sin \alpha \quad (2.9)$$

- Từ Hình 2.2 ta có thể đổi biến như sau:

$$y = a/\operatorname{tg}\alpha; \quad r = a/\sin\alpha; \quad dy = -(a/\sin^2\alpha)d\alpha$$

- Sau khi thay vào biểu thức (2.9) nhận được:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \cdot \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{a} \quad (2.10)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGÃU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Trong trường hợp đó, áp dụng công thức Biot- Savart - Laplace có thể xác định vi phân lực tác động lên  $dx$ .

$$dF_x = \frac{\mu_0}{4\pi a} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) dx \quad (2.11)$$

- Tổng lực tác động lên dây dẫn  $l_2$  có dạng:

$$F_x = \int_0^{l_2} dF_x = \frac{\mu_0}{4\pi a} \cdot i_1 \cdot i_2 \int_0^{l_2} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) dx$$

- Giả thiết rằng  $l_1 = l_2 = l$  ta có thể viết:

$$\cos \alpha_1 = \frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + a^2}}; \quad \cos \alpha_2 = \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Từ đó: 
$$F_x = \frac{\mu_0}{4\pi a} i_1 i_2 \int_0^1 \left[ \frac{1-x}{\sqrt{(1-x)^2 + a^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \right] dx$$

Hay: 
$$F_x = 10^{-7} i_1 i_2 \left\{ \frac{2l}{a} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right] \right\} \quad (\text{N}) \quad (2.12)$$

- Từ công thức (2.12) có thể rút ra kết luận là: **lực điện động tác dụng lên hai dây dẫn đặt song song khi có các dòng điện  $i_1, i_2$  không đổi chạy qua, chỉ phụ thuộc vào độ lớn của các dòng điện, vào kích thước và vị trí tương đối giữa các dây dẫn với nhau.**

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGÃU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Nếu gọi phần trong dấu móc của biểu thức là hệ số mạch vòng  $K_v$ , thì:

$$F_x = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot K_v \quad (2.13)$$

- Trong trường hợp chiều dài của dây dẫn lớn rất nhiều so với khoảng cách giữa chúng hay nếu  $a/l \leq 0,1$  thì  $K_v = 2l/a$ , khi đó:

$$F_x = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{2l}{a} \quad (\text{N}) \quad (2.14)$$

- Trường hợp chiều dài của hai dây dẫn khác nhau như được biểu diễn trong Hình 2.3, khi đó lực điện động cũng được tính theo công thức (2.13) với:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

$$K_v = \frac{\Sigma CH - \Sigma B}{a} \quad (2.15)$$

trong đó:  $\Sigma CH$  - Tổng chiều dài các đường chéo.

$\Sigma B$  - Tổng chiều dài các cạnh bên.



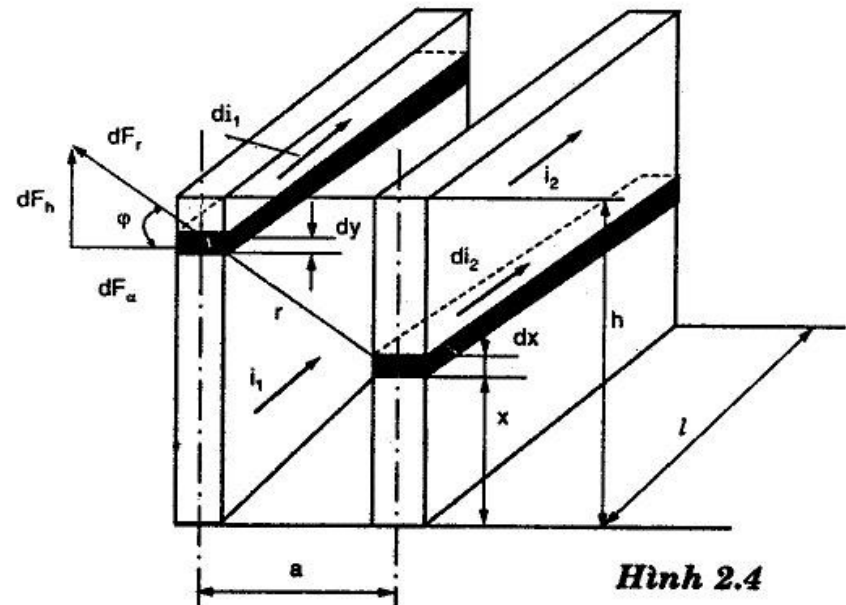
# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

#### 2.1.2.2 Xác định lực điện động giữa hai dây dẫn song song có tiết diện lớn hình chữ nhật

- Hình 2.4, vẽ hai thanh dẫn song song có tiết diện hình chữ nhật, chúng có bề dày  $b$  rất nhỏ so với chiều cao  $h$  và cách nhau một khoảng  $a$ . giả thiết rằng khoảng cách  $a$  nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dài của các thanh dẫn và trên các thanh dẫn chảy các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$ .



Hình 2.4

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Nếu cho rằng dòng điện phân bố đều trên tiết diện chữ nhật của các thanh dẫn, thì trên các vi phân  $dy$  và  $dx$  của chúng sẽ chảy các vi phân dòng điện  $di_1$  và  $di_2$ :

$$di_1 = i_1 \frac{dy}{h_1}; \quad di_2 = i_2 \frac{dx}{h_2} \quad (2.16)$$

- Dọc theo chiều dài của các thanh dẫn, các vi phân  $dx$  và  $dy$  của chúng sẽ hình thành các dây dẫn song song có tiết diện nhỏ và thỏa mãn điều kiện của công thức (2.14), ta có thể viết:

$$dF_r = 10^{-7} i_1 i_2 \cdot \frac{2l}{r} \cdot \frac{dy}{h_1} \cdot \frac{dx}{h_2} \quad (2.17)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Lực theo phương của bán kính  $r$  có thể phân tích thành hai thành phần:

- Thành phần thứ nhất  $dF_h$  tác động theo phương của chiều cao thanh dẫn  $h$ , đây là hướng chịu lực tốt của các thanh dẫn chữ nhật vì vậy ta không quan tâm tới thành phần lực này.
- Thành phần thứ hai  $dF_a$  tác động vuông góc với các thanh dẫn. Nó có giá trị bằng:

$$dF_a = dF_r \cdot \cos \varphi = dF_r \cdot \frac{a}{r} \quad (2.18)$$

- Giả thiết rằng  $h_1 = h_2 = h$ , khi đó:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

$$dF_a = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{2l}{y^2 + a^2} a \cdot \frac{dy \cdot dx}{h^2} \quad (2.19)$$

- Tổng lực tác động theo hướng  $a$  sẽ nhận được sau khi lấy tích phân (2.19):

$$\begin{aligned} F_a &= \int_0^h dF_a = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{2a \cdot l}{h^2} \int_0^h dx \int_x^h \frac{dy}{a^2 + y^2} \\ &= 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{2al}{h^2} \left[ 2 \frac{h}{a} \operatorname{arctg} \frac{h}{a} - \ln \left( 1 - \frac{h^2}{a^2} \right) \right] \quad (N) \end{aligned} \quad (2.20)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

-Nếu gom các đại lượng có liên quan tới kích thước trong biểu thức (2.20) thành các hệ số  $K_v$  và  $K_q$ , thì

$$F_a = 10^{-7} i_1 i_2 \frac{2l}{a} \cdot K_q \quad (2.21)$$

$K_q$  - là hệ số ảnh hưởng của tiết diện dây dẫn lên lực điện động.

- Từ các biểu thức (2.13) và (2.21) tính lực điện động có thể rút ra kết luận: ***lực điện động có giá trị tỷ lệ với tích (bình phương) hai dòng điện với hệ số phụ thuộc vào kích thước và hình dáng của mạch vòng dẫn điện.***

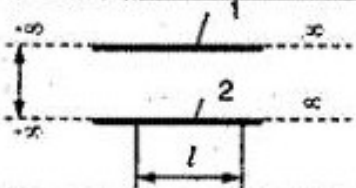
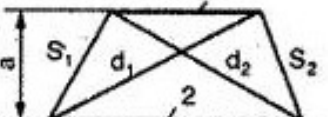
# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Thông thường trong tính toán kỹ thuật, hệ số mạch vòng thường được tính sẵn và đối với nhiều trường hợp phổ biến, chúng được đưa ra trong các sổ tay kỹ thuật điện. Bảng 2.1 cho ta các công thức xác định lực điện động đối với một vài trường hợp thường gặp trong thực tế tính toán.

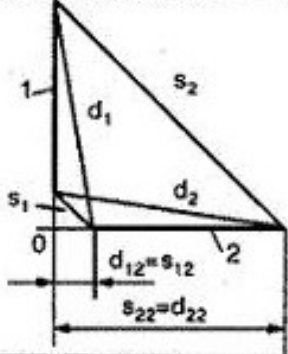
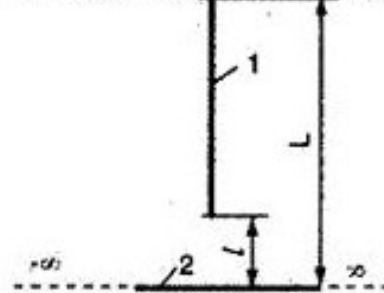
**Bảng 2.1:** Xác định hệ số  $K_v$  khi tính toán lực điện động

Hình dạng mạch vòng	Công thức tính $K_v$
	$K_v = \frac{2l}{a}$
	$K_v = \frac{(d_1 + d_2) \cdot (S_1 + S_2)}{a}$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

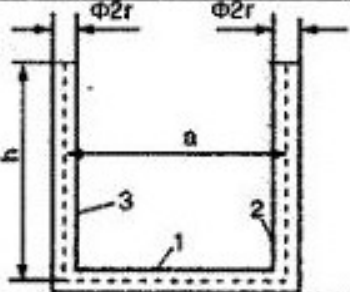
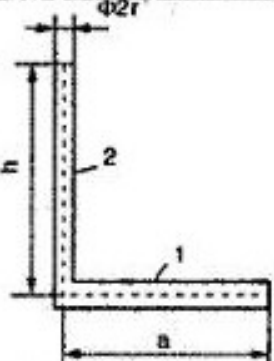
### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

	$K_v = \ln \frac{(d_1 + d_{12})(d_2 + d_{22})}{(s_1 + s_{12})(s_2 + s_{22})}$
	$K_v = 2 \ln \frac{L}{l}$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

	$K_v = 2 \left( \ln \frac{2b}{1 + \sqrt{1 + c^2}} + 0,25 \right)$ $b = \frac{a}{r}; c = \frac{a}{h}$
	$K_v = \ln \frac{2b}{1 + \sqrt{1 + c^2}} + 0,25$ $b = \frac{a}{r}; c = \frac{a}{h}$



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

#### 2.1.2.3 Lực điện động xoay chiều một pha

- Do trên lưới điện xoay chiều dòng điện biến thiên theo thời gian, nên lực điện động cũng biến thiên theo quy luật nhất định.
- Ta sẽ xem xét hai trường hợp tiêu biểu đối với sự biến thiên của dòng điện trong lưới điện xoay chiều, đó là trường hợp dòng điện biến thiên điều hòa và dòng điện xoay chiều có chứa thành phần không chu kỳ.

#### 2.1.2.3.1 Khi dòng điện biến thiên điều hòa

Giả sử dòng điện biến thiên theo luật hình sin:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t \quad (2.22)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

ta có thể viết: 
$$F = C.I_m^2 \sin^2 \omega t = CI_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad (2.23)$$

hay: 
$$F = \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cdot \cos 2\omega t \quad (2.24)$$

trong đó:  $C = 10^{-7}K_v$  - hằng số phụ thuộc vào mạch vòng dẫn điện;

$F_m = C.I_m^2$  giá trị cực đại của lực.

Như vậy, từ (2.24) thấy rằng, lực xoay chiều bao gồm hai thành phần:

- Thành phần thứ nhất: không đổi theo thời gian  $F_m/2$ .
- Thành phần thứ hai: biến thiên với tần số bằng hai lần tần số của dòng điện  $(F_m/2) \cos 2\omega t$ .

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

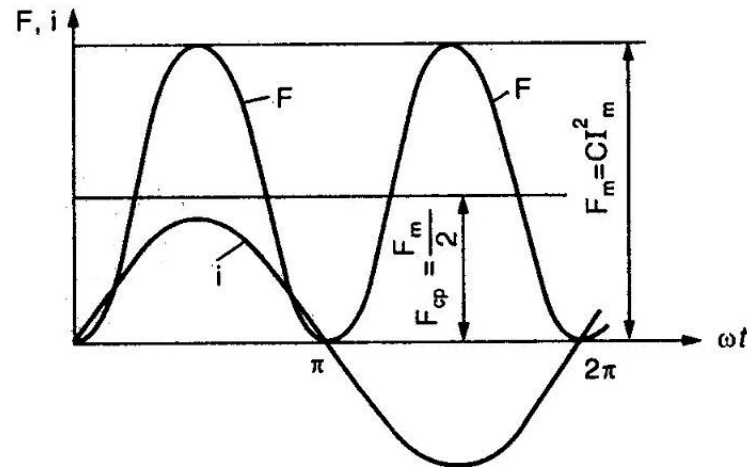
## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Giá trị trung bình của lực xoay chiều trong một chu kỳ bằng:

$$F_{tb} = \frac{1}{T} \int F dt = \frac{CI_m^2}{2} = \frac{F_m}{2} \quad (2.25)$$

- Hình 2.5, cho ta thấy, lực điện động xoay chiều một pha có dạng đập mạch với tần số gấp đôi tần số của dòng điện. Giá trị trung bình của lực xoay chiều đúng bằng giá trị của thành phần không đổi của nó.



Hình 2.5

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

#### *2.1.2.3.2 Khi dòng điện xoay chiều có chứa thành phần không chu kỳ*

- Hiện tượng nay thường xảy ra trên lưới điện khi có sự cố ngắn mạch, lúc nay dòng điện sự cố ngoài thành phần chu kỳ còn xuất hiện thành phần không chu kỳ, mà giá trị của nó tùy thuộc vào thời điểm xảy ra ngắn mạch so với thời điểm thành phần xoay chiều đi qua trị số zero.
- Trong tính toán lực điện động ta thường lấy trường hợp nặng nề nhất là khi ngắn mạch xảy ra ở thời điểm cực đại của dòng điện.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Có thể mô tả dòng điện theo biểu thức sau:

$$i = I_m \left( e^{-Rt/L} - \cos \omega t \right) \quad (2.26)$$

trong đó: R - điện trở của lưới điện bị ngắn mạch

(W);

L - tự cảm của nó (H);

$T_0 = L/R$  - hằng số thời gian (s)

- Tại thời điểm  $t = \pi/\omega$ , dòng điện đạt tới đỉnh cao nhất được gọi là dòng điện xung kích:

$$i_{\text{XK}} = I_m \left( 1 - e^{-(\pi/T_0 \cdot \omega)} \right) = K_{\text{XK}} I_m \quad (2.27)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Hệ số xung kích  $K_{\text{XK}}$  phụ thuộc vào công suất của nguồn điện, vị trí của thiết bị và hình dạng của lưới điện (đường dây trên không hay đường dây cable). Công suất nguồn điện càng lớn, thiết bị càng gần nguồn thì hệ số này càng có giá trị lớn. Trong tính toán, thường chấp nhận  $K_{\text{XK}} = 1,8$ .

Trong trường hợp dòng điện có chứa thành phần không chu kỳ, lực có thể được biểu diễn

$$F = CI_m^2 \left( e^{-t/T_0} - \cos \omega t \right)^2 \quad (2.28)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Sự biến thiên theo thời gian của lực điện động được trình bày dưới dạng đồ thị trong Hình 2.6.
- Giá trị lớn nhất của lực điện động xuất hiện ở bán kỳ đầu tiên kể từ thời điểm xảy ra ngắn mạch.

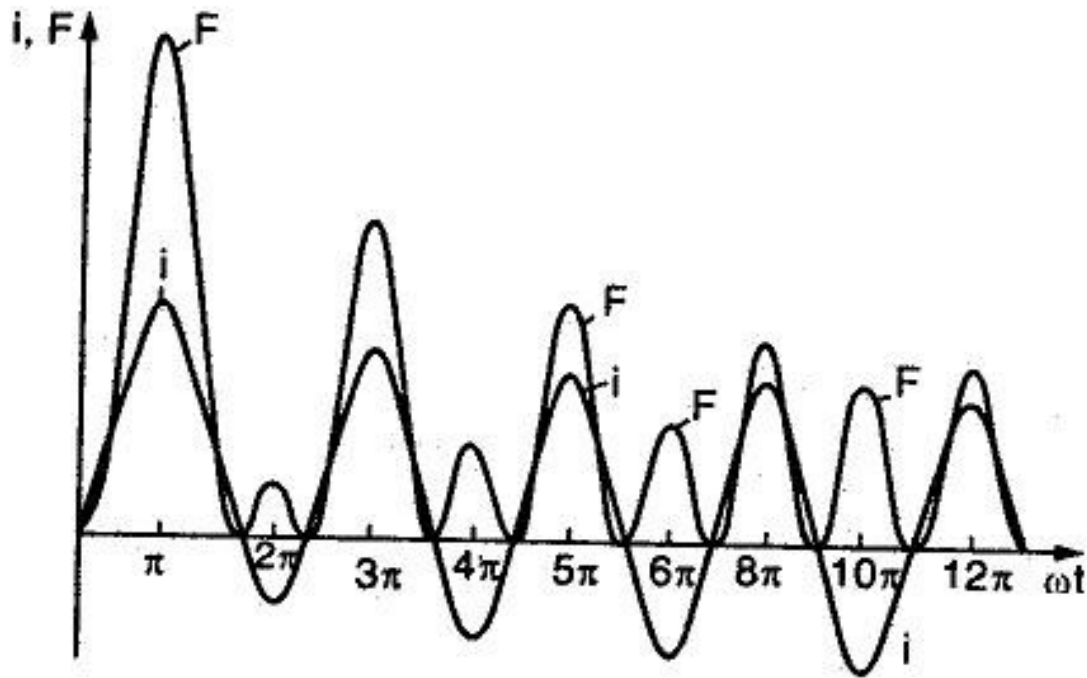
$$F_m = CK_{XK}^2 \cdot I_m^2 = C1,8^2 I_m^2 = C.3,24I_m^2 \quad (2.29)$$

- Như vậy, khi dòng điện xoay chiều có chứa thành phần không chu kỳ thì lực điện động sẽ lớn gấp 3,24 lần so với trường hợp dòng điện biến thiên điều hòa.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace



Hình 2.6



# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ**

### **2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace**

#### **2.1.2.4 Lực điện động trên hệ thống điện ba pha**

- Trên hệ thống điện ba pha dòng điện pha này tương tác với dòng điện của hai pha còn lại, chúng lệch pha nhau  $120^\circ$ .
- Do các dòng điện lệch pha nhau, nên việc xác định giá trị cực đại của lực điện động gặp khó khăn, nhất là trong trường hợp sự cố ngắn mạch, khi trong thành phần của các dòng điện có chứa thành phần không chu kỳ.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

#### 2.1.2.4.1 Khi dòng điện các pha biến thiên điều hòa

- Các dây dẫn trong hệ thống điện ba pha có thể được bố trí cách đều nhau trên cùng một mặt phẳng hoặc trên các đỉnh của một tam giác đều.

#### Các dây dẫn bố trí song song trên cùng một mặt phẳng

- Giả thiết rằng, khoảng cách giữa các dây dẫn nằm kề nhau  $a$  nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dài của chúng  $l$ .
- Các dòng điện chạy cùng hướng theo hướng trục của dây dẫn.
- Chiều dương của lực lấy theo chiều của trục  $x$  Hình 2.7. Giá trị tức thời của các dòng điện pha sẽ là:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

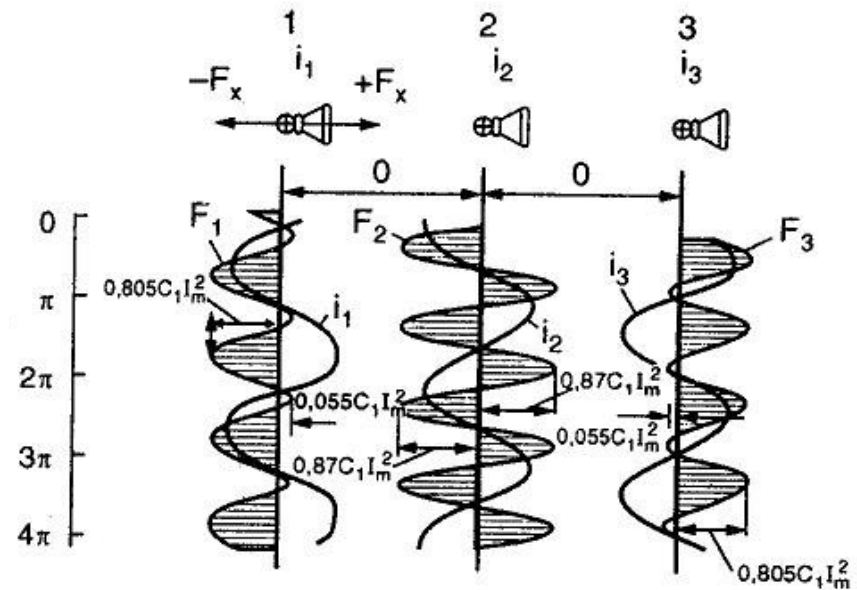
$$i_1 = I_m \sin \omega t; \quad i_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ); \quad i_3 = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (2.30)$$

Lực tác động lên các dây pha có dạng:

$$F_1 = F_{12} + F_{13} \quad (2.31)$$

Ở đây:  $F_{12}$  - lực tác động giữa pha 1 và pha 2;

$F_{13}$  - lực tác động giữa pha 1 và pha 3.



Hình 2.7

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Áp dụng công thức (1.14) ta có thể viết:

$$\begin{aligned} F_{12} &= 10^{-7} \frac{2l}{a} I_m^2 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \\ &= C_1 I_m^2 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Trong biểu thức (2.32),  $C = 10^{-7} \cdot 2l/a$

$$F_{13} = \frac{C_1}{2} I_m^2 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (2.33)$$

Thay (2.32) và (2.33) vào (2.31) ta được:

$$F_1 = C_1 I_m^2 \sin \omega t \left[ \sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right] \quad (2.34)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace (2.35)

Sau khi biến đổi lượng giác biểu thức (2.34) ta có dạng sau cùng là:

$$F_1 = -0,866C_1 I_m^2 \sin \omega t \sin(\omega t + 30^\circ)$$

Các cực trị sẽ ứng với  $\omega t = 75^\circ$  và  $\omega t = -15^\circ$ . (2.36)

Thay thế  $\omega t = 75^\circ$  vào (2.35) sẽ nhận được giá trị cực đại của lực đẩy:

$$F_{1d \max} = -0,805C_1 I_m^2 \quad (2.37)$$

Thay thế  $\omega t = -15^\circ$  vào (2.35) sẽ có:

$$F_{1h \max} = 0,055C_1 I_m^2$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Tương tự như cách làm đối với pha 1, lực tác động lên pha giữa sẽ có dạng:

$$F_2 = F_{21} + F_{23} = C_1 I_m^2 \sin(\omega t - 120^\circ) \left| \sin \omega t - \sin(\omega t - 240^\circ) \right| \quad (2.38)$$

- Biến đổi lượng giác biểu thức (2.38) có thể đưa về dạng:

$$F_2 = 0,866 C_1 I_m^2 \cos(2\omega t - 150^\circ) \quad (2.39)$$

- Giá trị cực đại của lực tác động lên pha 2 sẽ ứng với  $\omega t = 75^\circ$  và lực đẩy lớn nhất sẽ bằng lực hút lớn nhất.

$$F_{2d \max} = F_{2h \max} = 0,866 \cdot C_1 I_m^2 \quad (2.40)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Lực tác động lên pha 3 sẽ có dạng ngược với những gì xảy ra ở pha 1.

$$F_3 = C_1 I_m^2 \sin(\omega t - 240^\circ) \left[ \frac{1}{2} \sin \omega t + \sin(\omega t - 120^\circ) \right] \quad (2.41)$$

Khi đó, lực đẩy lớn nhất và lực hút lớn nhất:

$$F_{3d \max} = 0,805 C_1 I_m^2 \quad (2.42)$$

Và lực hút lớn nhất:

$$F_{3h \max} = -0,055 C_1 I_m^2 \quad (2.43)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Hình 2.7, mô tả sự biến thiên của lực theo thời gian ở các pha khác với trường hợp lực điện động trên lưới điện xoay chiều một pha, các lực trên hệ thống điện ba pha không những biến thiên theo thời gian, mà còn đổi dấu.
- Lực tác động lên pha giữa (pha 2) là lớn nhất nên được dùng để tính toán trong kỹ thuật.

$$F_{t_{\max}} = 0,866C_1 I_m^2 = \sqrt{3}.C_1 I^2 \quad (2.44)$$

Trong đó:  $I$  - giá trị hiệu dụng của dòng điện.



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Khi các dây dẫn bố trí trên đỉnh một tam giác đều

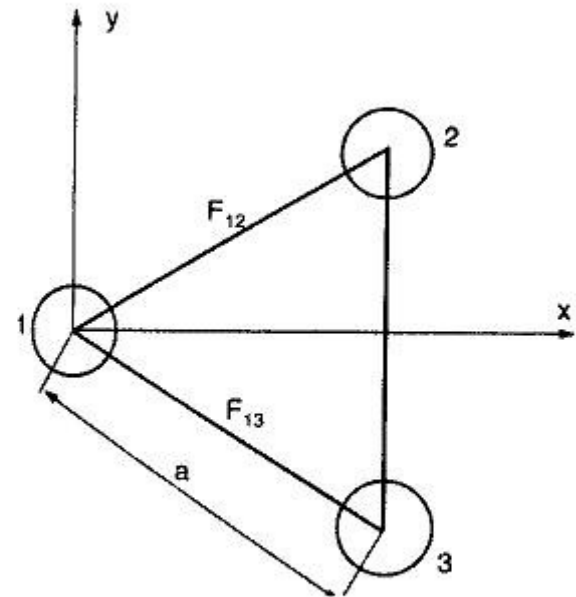
- Với cách bố trí dây dẫn như vậy thì lực điện động thay đổi cả về độ lớn và hướng tác động.

- Cũng như trong trường hợp trước, ta có:

$$I_1 = I_m \sin \omega t;$$

$$I_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$I_3 = I_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$



Hình 2.8

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Để dễ dàng biến đổi công thức khi tính lực tác động lên dây dẫn ở pha 1, ta chọn trục tọa độ với gốc nằm chính ở trên dây dẫn này như được mô tả trong Hình 2.8.
- Lực điện động tác động vào dây dẫn 1, sau khi chiếu lên trục x sẽ có giá trị:

$$F_{1x} = F_{12x} = F_{13x}$$

hay:

$$F_{1x} = C_1 I_m^2 \sin \omega t \left[ \sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t - 240^\circ) \right] \cos 30^\circ \quad (2.46)$$

Trong đó: 
$$C_1 = 10^{-7} \frac{2l}{a}$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Sau khi biến đổi và rút gọn biểu thức (2.46) ta được:

$$\begin{aligned} F_{1x} &= C_1 I_m^2 \sin \omega t \left[ (\sin \omega t \cdot \cos 120^\circ - \cos \omega t \sin 120^\circ) + (\sin \omega t \cos 240^\circ - \cos \omega t \sin 240^\circ) \right] \frac{\sqrt{3}}{2} \\ &= -\frac{\sqrt{3}}{2} C_1 I_m^2 \sin^2 \omega t = -\frac{\sqrt{3}}{4} C_1 I_m^2 (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned} \quad (2.47)$$

- Lực điện động tác động lên dây dẫn 1 chiều lên trục y cũng được xác định theo cách tương tự:

$$\begin{aligned} F_{1y} &= F_{12Y} + F_{13Y} \\ &= C_1 I_m^2 \sin \omega t \left[ \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right] \sin 30^\circ \\ &= -\frac{\sqrt{3}}{2} C_1 I_m^2 \sin \omega t \cdot \cos \omega t = -\frac{\sqrt{3}}{4} C_1 I_m^2 \sin 2\omega t \end{aligned} \quad (2.48)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

Lực điện động tác động lên dây dẫn 1 sẽ là:

$$F_1 = \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2} \quad (2.49)$$

Thay (2.47) và (2.48) vào (2.49) ta được:

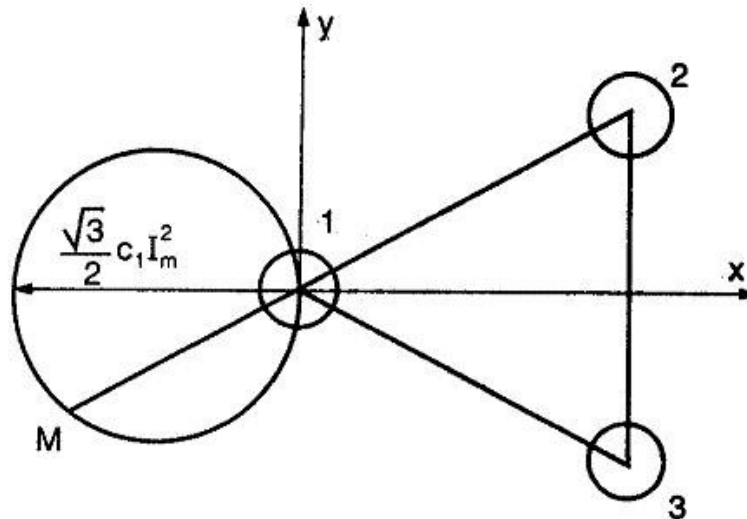
$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{\sqrt{3}}{4} C_1 I_m^2 \sqrt{(1 - \cos 2\omega t)^2 + \sin^2 2\omega t} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{4} C_1 I_m^2 \sqrt{2(1 - \cos 2\omega t)} = \frac{\sqrt{3}}{2} C_1 I_m^2 \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.50)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Sự thay đổi về trị số và hướng của lực điện động tác động lên dây dẫn 1 có thể được biểu diễn bằng vectơ OM mà quỹ tích của đầu cuối vectơ là đường tròn có đường kính bằng  $\frac{\sqrt{3}}{2} c_1 I_m^2$ , Hình 2.9.



Hình 2.9

# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ**

### **2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace**

- Lực điện động tác động lên các dây dẫn 2 và 3 cũng được tính toán tương tự như trong trường hợp của dây dẫn 1, chúng chỉ khác về góc lệch và vị trí trong không gian.

#### **2.1.2.4.2 Khi dòng điện xoay chiều có chứa thành phần không chu kỳ**

- Khi trong hệ thống điện ba pha có xảy ra sự cố ngắn mạch.
- Dòng điện tăng lên về trị số và trong thành phần của chúng xuất hiện các thành phần không chu kỳ.
- Chúng được biểu diễn dưới dạng:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

$$\begin{aligned}i_1 &= I_m \left[ e^{-R/Lt} \cos \varphi - \cos(\omega t - \varphi) \right] \\i_2 &= I_m \left[ e^{-R/Lt} \cos(\varphi - 120^\circ) - \cos(\omega t - \varphi + 120^\circ) \right] \\i_3 &= I_m \left[ e^{-R/Lt} \cos(\varphi - 240^\circ) - \cos(\omega t - \varphi + 240^\circ) \right] \quad (2.51)\end{aligned}$$

trong (2.51):  $\varphi$  - góc pha khi bắt đầu xảy ra sự cố.

- Việc khảo sát sự biến thiên của lực điện động trong trường hợp này cũng được tiến hành giống như trong trường hợp khi dòng điện biến thiên điều hòa.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

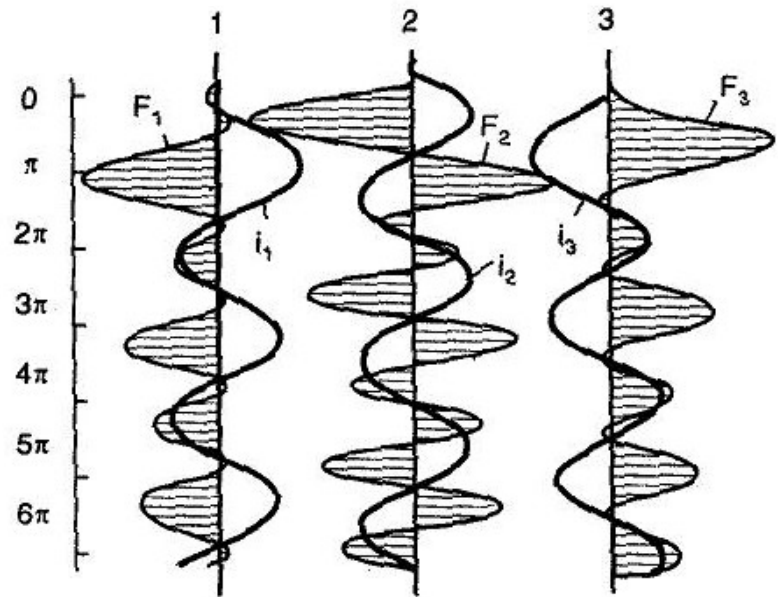
## 2.1 LỰC VÀ NGÃU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Ta có thể thấy rõ ảnh hưởng của thành phần không chu kỳ lên lực điện động như trong Hình 2.10.

- Giá trị cực đại của lực điện động ở đây phụ thuộc vào thời điểm xảy ra ngắn mạch.

- Việc tính toán lực điện động được tiến hành theo phương pháp đơn giản hóa.



Hình 2.10



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

### 2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace

- Kết quả tính toán sẽ lớn hơn so với giá trị thực tế, do đó có thể làm tăng độ an toàn đối với thiết bị thiết kế theo giá trị này.
- Ở đây ta giả thiết rằng dòng điện trong các pha đối xứng và có biên độ bằng giá trị dòng điện xung kích.
- Lực đẩy lớn nhất tác động lên dây dẫn 1.

$$F_{1d\max} = 0,805C_1 i_{XK}^2 = 0,805C_1 (K_{XK} I_m)^2 \quad (2.52)$$

trong đó:  $i_{XK}$  - dòng điện xung kích;

$K_{XK}$  - hệ số dòng điện xung

kích.

# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.1 LỰC VÀ NGẪU LỰC TRONG CÁC HỆ THỐNG TRƯỜNG ĐIỆN TỪ**

### **2.1.2 Lực điện động, định luật Biot-Savart-Laplace**

Lực điện động tác động khi dây dẫn ở pha giữa:

$$- F_{2d \max} = F_{2h \max} = 0,866C_1 (K_{XK} \cdot I_m)^2 \quad (2.53)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.1 Xác định lực hút điện từ theo công thức Maxwell

- Đối với các trường hợp, mà ở đó lực tác động chỉ lên phần tử mang dòng điện và nó có hình dạng đơn giản, thì phương trình (2.4) nói chung được áp dụng dễ dàng và đơn giản nhất để tính lực tác động trong hệ thống. Có rất ít trường hợp thực tế như vậy.
- Trên thực tế, phần lớn các thiết bị biến đổi điện cơ đều có mang các vật thể dẫn từ. Trong các hệ thống này, lực tác động trực tiếp lên vật thể dẫn từ, tất nhiên ta không thể sử dụng phương trình (2.4) để tính toán.
- Tính toán các lực nội bộ và thành phần tác động lên các vật thể dẫn từ rất phức tạp và đòi hỏi phải có sự hiểu biết về phân bố trường trong kết cấu thiết bị.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.1 Xác định lực hút điện từ theo công thức Maxwell

- Rất may là tất cả các thiết bị biến đổi điện - cơ được cấu tạo một cách bền vững và không hề bị biến dạng dưới tác động của lực.
- Để phân biệt với lực điện động ta gọi lực tác động lên các vật thể dẫn từ là **lực hút điện từ**.
- Một trong các phương pháp cơ bản để xác định lực hút điện từ là phương pháp theo công thức của Maxwell.
- Nó xác định mối liên hệ giữa lực hút điện từ, từ thông và kích thước cực từ theo quan hệ sau:

$$F_{dt} = \frac{1}{\mu_0} \int_S \left[ \left( \vec{B}_\delta \cdot \vec{n} \right) \vec{B}_\delta - \frac{1}{2} \vec{B}_\delta \cdot \vec{n} \right] dS \quad (2.54)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.1 Xác định lực hút điện từ theo công thức Maxwell

trong đó:  $\vec{B}$  - vector từ cảm trên bề mặt cực từ

$\vec{n}$  - vector đơn vị pháp tuyến trên bề mặt cực từ

$s$  - diện tích bề mặt cực từ

- Công thức (2.54) được sử dụng đối với trường hợp khi từ thông phân bố không đều trong khe hở không khí và khi vector từ cảm  $\vec{B}$  không vuông góc với bề mặt cực.

- Bề mặt cực từ (nơi tác động của lực hút điện từ) là bề mặt phana chia giữa hai môi trường có độ từ thẩm rất khác nhau ( $\mu$  và  $\mu_0$ ).

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.1 Xác định lực hút điện từ theo công thức Maxwell

- Nếu  $\mu \ll \mu_0$  thì góc giữa vectơ pháp tuyến  $\vec{n}$  và vectơ từ cảm sẽ không lớn, vì vậy cho rằng hai vectơ  $\vec{n}$  và  $\vec{B}$  trùng phương với nhau.
- Trong trường hợp đó công thức (2.54) sẽ trở nên đơn giản hơn:

$$F_{dt} = \frac{1}{2\mu_0} \int_S B_{\delta}^2 dS \quad (2.55)$$

- Nếu từ cảm không thay đổi trên toàn bộ bề mặt cực từ, có nghĩa là từ thông phân bố đều trong khu vực khe hở không khí, thì có thể đơn giản hóa công thức tính lực sau:

$$F_{dt} = \frac{1}{2\mu_0} B_{\delta}^2 \cdot S \quad (2.56)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.1 Xác định lực hút điện từ theo công thức Maxwell

Nếu  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (H/m); B tính ra Tesla (Wb/m<sup>2</sup>); S tính ra (m<sup>2</sup>).

Ta có thể viết: 
$$F_{dt} = 39,8 \cdot 10^4 B_{\delta}^2 \cdot S \quad (\text{N}) \quad (2.57)$$

Hoặc: 
$$F_{dt} = 4,06 \cdot 10^4 B_{\delta}^2 \cdot S \quad (\text{Kgf}) \quad (2.58)$$

- Sự phân bố đều của từ thông trong khe hở không khí có thể nhận được ở một vài trường hợp hãn hữu, ví dụ như ở trong khe hở giữa hai cực từ hình trụ có tỷ lệ  $\delta/d \leq 0,2$  (d là đường kính cực từ,  $\delta$  độ lớn của khe hở).
- Trong phần lớn các trường hợp còn lại, nói chung từ thông phân bố không đều.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.1 Xác định lực hút điện từ theo công thức Maxwell

- Trong các trường hợp đó, nếu áp dụng công thức (2.56), (2.57), (2.58) để tính lực hút điện từ sẽ dẫn đến sai số đáng kể.

### 2.2.2 Lực hút điện từ xoay chiều

- Lực hút điện từ xoay chiều có thể xác định theo công thức Maxwell. Trong trường hợp này phải chú ý từ thông là đại lượng biến thiên tuần hoàn về độ lớn và về phương.
- Giả sử, từ thông biến thiên theo luật hình sin:  
$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

(2.59)

- Khi đó lực hút điện từ tính theo Maxwell sẽ là:



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.2 Lực hút điện từ xoay chiều

$$F_{dt} = 4,06.10^{-4} \frac{\Phi_m^2}{S} \sin 2\omega t \quad (2.60)$$

do:  $\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$ , nên khi thay vào công thức (2.60) ta nhận

được: 
$$F_{dt} = 2,03.10^{-4} \frac{\Phi_m^2}{S} - 2,03.10^{-4} \frac{\Phi_m^2}{S} \cos 2\omega t = F_{=} - F_{2\omega} \quad (2.61)$$

trong đó:  $F_{=}$  - Thành phần lực không thay đổi theo thời gian

$F_{2\omega}$  - Thành phần biến thiên theo thời gian với tần số gấp đôi tần số của từ thông xoay chiều.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

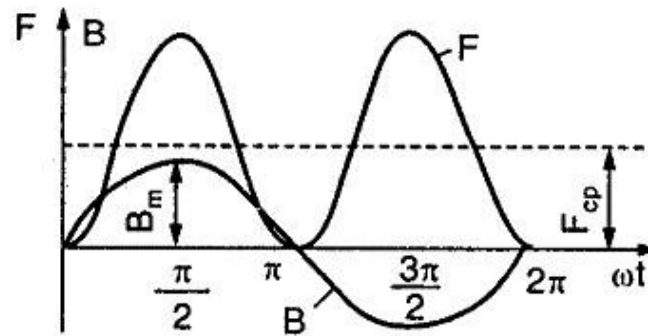
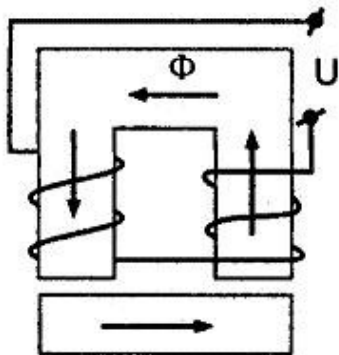
## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.2 Lực hút điện từ xoay chiều

- Đồ thị biểu diễn các thành phần của lực xoay chiều được trình bày trong Hình 2.11.

Từ các đồ thị nhận được, có thể rút ra các kết luận sau:

- Lực hút điện từ xoay chiều có dạng đập mạch, trong một chu kỳ của điện áp nguồn có hai lần lực giảm xuống trị số zero. (đập mạch với tần số gấp hai lần tần số của nguồn điện).



Hình 2.11

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.2 Lực hút điện từ xoay chiều

- Giá trị trung bình của lực hút điện từ xoay chiều trong một chu kỳ đúng bằng giá trị của thành phần không đổi  $F_{\text{=}}$  của nó, tức là:

$$F_{\text{tb}} = F_{\text{=}} = 2,03 \cdot 10^4 \frac{\Phi_m^2}{S} \quad (2.62)$$

- Để xác định toàn bộ các thành phần của lực hút điện từ xoay chiều, ta chỉ cần xác định được giá trị trung bình của lực sau đó dùng quan hệ (2.61) để thành lập biểu thức tính lực hút điện từ xoay chiều.

# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ**

### **2.2.3 Biện pháp giảm rung nắp ở nam châm điện xoay chiều một pha**

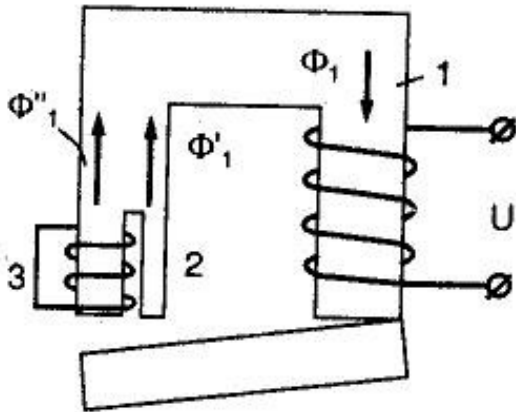
- Giá trị tức thời của lực hút điện từ xoay chiều trong một chu kỳ có hai lần giảm xuống trị số zero.
- Tại các thời điểm này dưới tác động của hệ thống phản lực của cơ cấu (lò xo nhả nắp của nam châm điện...) nắp của nam châm điện bị kéo ra xa khỏi cực từ hút nó và sau đó khi lực hút điện từ lại đạt giá trị lớn hơn lực của hệ thống phản lực, nắp lại được hút về phía cực từ Hình 2.12.
- Hiện tượng trên được gọi là hiện tượng rung nắp ở nam châm điện xoay chiều.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

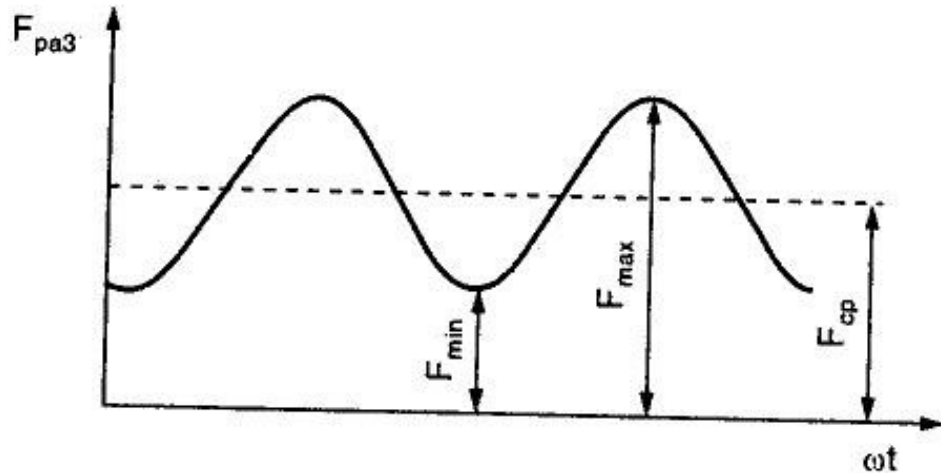
## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Để loại trừ hiện tượng rung nấp, trong nam châm điện xoay chiều 1 pha phải tạo ra ở bên trong khe hở không khí d hai từ thông lệch pha nhau.



Hình 2.12



Hình 2.13

# **CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ**

## **2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ**

### **2.2.3 Biện pháp giảm rung nắp ở nam châm điện xoay chiều một pha**

- Có thể áp dụng các biện pháp sau, để thực hiện việc làm giảm rung nắp nam châm điện xoay chiều.

1. Chia mạch từ ra làm hai phần, mỗi phần đều có cuộn dây riêng và tạo ra sự lệch pha giữa các dòng điện trong các cuộn dây đó.

2. Đặt vòng ngắn mạch, ôm lấy một phần cực từ tại vị trí khe hở không khí.

- Biện pháp thứ 2 có ưu điểm hơn hẳn so với biện pháp thứ 1 do việc thực hiện đơn giản, rẻ tiền, vì vậy nó được áp dụng rộng rãi trong các NCD một pha.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nắp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Hình 2.12, biểu diễn mạch từ một pha trên lõi có đặt vòng ngắn mạch. Từ thông  $\Phi$  do cuộn dây xoay chiều sinh ra, khi đi qua vùng khe hở không khí bị chia ra làm hai thành phần  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$  do ảnh hưởng của vòng ngắn mạch.
- Từ thông  $\Phi_2$  đi xuyên qua vòng ngắn mạch gây cảm ứng bên trong nó một sức điện động  $E_{nm}$  có xu hướng chống lại từ thông  $\Phi_2$  (theo định luật Lenz).
- Hay nói một cách khác, dòng điện chảy trong vòng ngắn mạch  $I = E_{nm}/r_{nm}$  (với  $r_{nm}$  là điện trở của vòng ngắn mạch) sẽ sinh ra từ thông  $F_{nm}$  ngược chiều với từ thông  $\Phi_2$  và làm cho  $\Phi_2$  chậm pha so với  $\Phi_1$ .

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Đối với một cực từ có vòng ngắn mạch, tổng lực hút điện từ tác động lên cực từ đó sẽ là:

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ &= 4,06 \cdot 10^4 \left[ \frac{\Phi_1^2}{S_1} \sin^2 \omega t + \frac{\Phi_2^2}{S_2} \sin^2 (\omega t - \theta) \right] \\ &= 2,03 \cdot 10^4 \left( \frac{\Phi_{1m}^2}{S_1} + \frac{\Phi_{2m}^2}{S_2} \right) - 2,03 \cdot 10^4 \left[ \frac{\Phi_{1m}^2}{S_1} \cos 2\omega t + \frac{\Phi_{2m}^2}{S_2} \cos(2\omega t - 2\theta) \right] \end{aligned} \quad (2.63)$$

- Từ biểu thức (2.63) có thể biểu diễn tổng lực hút điện từ tác động lên cực từ theo cách khác, như sau:



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

$$F = F_{=} + F_{2\omega} \quad (2.64)$$

trong đó:  $F = 2,03 \cdot 10^4 \left( \frac{\Phi_{1m}^2}{S_1} + \frac{\Phi_{2m}^2}{S_2} \right)$  - là thành phần không biến đổi theo thời gian.

$$F = 2,03 \cdot 10^4 \left( \frac{\Phi_{1m}^2}{S_1} \cos 2\omega t + \frac{\Phi_{2m}^2}{S_2} \cos(2\omega t - 2\theta) \right) - \text{là thành phần}$$

biến thiên theo thời gian với tần số gấp đôi tần số của lưới điện.

$\theta$  - là góc lệch pha giữa hai từ thông  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$ .

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Hình 2.13 biểu diễn các giá trị của lực theo thời gian.
- Ta thấy rằng, tổng lực hút điện từ xoay chiều, không còn có điểm nào bị giảm xuống trị số zero nữa.
- Điều này có thể đảm bảo cho nam châm điện xoay chiều không còn bị rung nấp nữa nếu như giá trị cực tiểu  $F_{\min}$  của tổng lực  $F$  ở biểu thức (2.64) luôn lớn hơn tổng phản lực của hệ thống  $F_{fl}$ .

$$F_{\min} > F_{fl} \quad (2.65)$$

Từ biểu thức về  $F_{2\omega}$  trong (2.64) nhận thấy rằng:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nắp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Nếu như:  $\Phi_1 = \Phi_2$ ;  $S_1 = S_2$  và góc lệch pha  $\theta = 90^\circ$  thì thành phần  $F_{2\omega} = 0$ , có nghĩa là tổng lực:

$$F = F_{\omega} = 2,03 \cdot 10^4 \left( \frac{\Phi_{1m}^2}{S_1} + \frac{\Phi_{2m}^2}{S_2} \right) \quad (2.66)$$

Nhưng, trên thực tế một điều kiện như vậy không thể thực hiện được vì:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{X_{nm}}{R_{\delta 2}} = \frac{\omega \cdot G_{\delta 2}}{r_{nm}} \quad (2.67)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

Ở đây:  $X_{nm}$  - từ kháng của vòng ngắn mạch, nó được xác định từ (1.90).

$R_{\delta 2}$  - từ trở của phần khe hở không khí có đặt vòng ngắn mạch.

Từ (2.67) thấy rằng, muốn đạt được điều kiện:  $\theta = 90^\circ$  thì:  $\operatorname{tg}\theta = \infty$ ; khi  $\omega = \text{const}$  và  $G_{\delta 2} = \text{const}$ , điều này chỉ có thể đạt được  $r_{nm} = 0$  hay nói một cách khác phải tìm ra được vật liệu dẫn điện có điện trở suất bằng zero.

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Các trị số cực đại và cực tiểu của lực hút xoay chiều tổng có thể tính được:

$$F_{\max} = F_{=} + |F_{\approx}| \quad (2.68)$$

$$F_{\min} = F_{=} - |F_{\approx}| \quad (2.69)$$

- Trong các công thức (2.68) và (2.69):  $|F_{\approx}|$  chính là biên độ của thành phần biến thiên theo thời gian của lực hút điện từ xoay chiều.

- Nó chính bằng giá trị đường chéo của hình bình hành có cạnh là các vector lực xoay chiều sinh ra các từ thông  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$ , Hình 2.14<sup>69</sup>

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

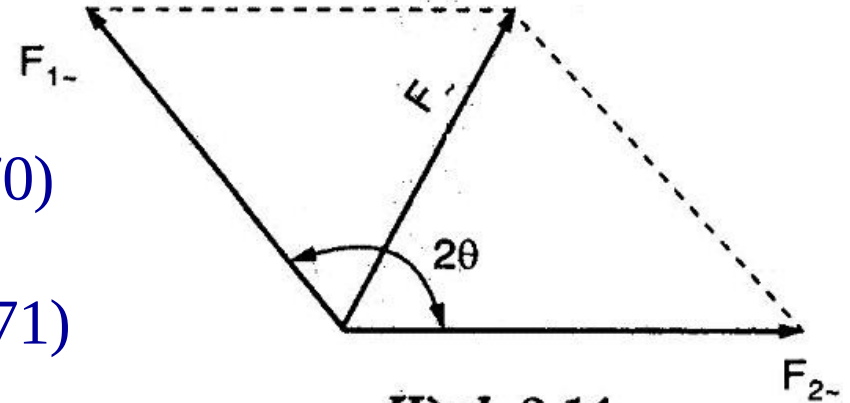
## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nắp ở nam châm điện xoay chiều một pha

$$|F_{\approx}| = \sqrt{F_{1=}^2 + F_{2=}^2 + 2F_{1=} \cdot F_{2=} \cdot \cos 2\theta} \quad (2.70)$$

trong đó:  $F_{1=} = 2,03 \cdot 10^4 \frac{\Phi_{1m}^2}{S_1} \quad (2.71)$

$$F_{2=} = 2,03 \cdot 10^4 \frac{\Phi_{2m}^2}{S_2} \quad (2.72)$$



Hình 2.14

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nắp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Đối với các cơ cấu điện từ xoay chiều, đại lượng quan trọng có ý nghĩa quyết định là  $F_{\min}$ .
- Để loại trừ sự rung nắp khi nó hoạt động cần phải đảm bảo điều kiện duy nhất  $F_{\min} > F_{fl}$ .
- Giá trị của  $F_{\min}$  theo Stupel có thể nhận được từ các điều kiện sau:

$$\alpha = \frac{S_1}{S} = \frac{2 - f_3}{4f_3} \quad (2.73)$$

$$r_{nm} = \frac{\omega \mu_0 \cdot S_2}{\delta_2} \cdot \frac{4f_3}{(3f_3 + 2)^2} \quad (2.74)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

trong các công thức (2.73) và (2.74):

$$f_3 = \frac{K_4 F_{fl}}{F_{tb}} \quad (2.75)$$

với:  $\Phi_{tb}$  và  $\Phi_{fl}$  - là lực điện từ trung bình và phản lực của hệ thống (Kgf).

$k_4 = (1, 1 \div 1, 2)$  - là hệ số tin cậy.

$S = S_1 + S_2$  - là diện tích cực từ.

$S_2$  - là diện tích cực từ trên đó có đặt vòng ngắn mạch.

$\delta_2$  - là độ lớn khe hở không khí ở phần cực từ có đặt vòng ngắn mạch.



# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Sau khi đã chọn được  $a$  và  $r_{nm}$  có thể dễ dàng xác định góc lệch pha giữa hai từ thông từ biểu thức (2.67).
- Tỷ số giữa hai từ thông  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$  sẽ là:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\sqrt{2}F_1 \cdot G_{\delta 1}}{\sqrt{2}F_2 G_{\delta 2}} \quad (2.76)$$

- Từ đồ thị trong Hình 2.15 biểu diễn mối liên hệ giữa các vector  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  (là các sức từ động sinh ra các từ thông  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$ , ta có:  $F_2 = F_1 \cdot \cos\theta$ , từ đó khi thay vào (2.76) sẽ được:

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{S_1}{S_2 \cdot \cos \theta} \quad (2.77)$$

mặt khác ta có:  $\Phi^2 = \Phi_1^2 + \Phi_2^2 + 2 \cdot \Phi_1^2 \cdot \Phi_2^2 \cdot \cos \theta$  (2.78)

thay (2.77) vào (2.78) nhận được:

$$\Phi_2 = \frac{\Phi}{\sqrt{1 + C^2 + 2C \cdot \cos \theta}} \quad (2.79)$$

# CHƯƠNG 2: CÁC NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

## 2.2 LỰC HÚT ĐIỆN TỪ

### 2.2.3 Biện pháp giảm rung nấp ở nam châm điện xoay chiều một pha

- Sau khi tính các giá trị từ thông theo (2.79) thay vào trong các biểu thức (2.71) và (2.72) ta sẽ tính được các giá trị lực  $F_{1=}$ ,  $F_{2=}$  và theo (2.70) sẽ nhận được giá trị  $|F_{\approx}|$  và cuối cùng ta tính được  $F_{\min}$  theo (2.69).