

SỰ TƯƠNG TỰ GIỮA ĐIỆN TỪ VÀ CƠ TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

I. DẪN NHẬP

Khi khảo sát dao động điều hoà (*dao động không tắt, dao động tắt dần, dao động cưỡng bức*), ta nhận thấy giữa điện từ và cơ (*cả âm học*) có sự tương đồng nhau về mặt hình thức giữa các đại lượng, thường được gọi chung là sự tương tự điện cơ.
Ví dụ: Khối lượng m là số đo mức quán tính của vật tương đương với độ tự cảm L của mạch điện là số đo mức quán tính của mạch.

II. NỘI DUNG

Dưới đây là bảng sắp xếp các đại lượng phản ánh sự tương tự điện cơ: (*Do Maxwell thiết lập*)

Đại lượng điện từ	Đại lượng cơ học (Chuyển động tịnh tiến)	Đại lượng cơ học (Chuyển động quay)	Đại lượng âm học
Điện tích q	Ly độ x	Ly độ góc θ	Biến thiên thể tích V
Hiệu điện thế U	Lực F	Moment lực M	Áp suất P
Cường độ dòng điện i	Vận tốc $v = (x)'$	Vận tốc góc $\omega = (\theta)'$	Lưu lượng x
$(i)' = (q)''$	Gia tốc $a = (v)' = (x)''$	Gia tốc góc $\gamma = (\omega)' = (\theta)''$	
Điện trở R	Hệ số cản η	Hệ số tắt dần	Âm trở
Độ tự cảm L	Khối lượng m	Moment quán tính I	Quán tính âm M
Điện dung C	Độ dẻo $\frac{1}{k}$ (k là độ cứng)	Hằng số xoắn $C = \frac{M}{\theta}$	Âm dung C_a
Năng lượng điện trường $\frac{q^2}{2C}$	Thế năng $\frac{kx^2}{2}$	Thế năng $\frac{C\theta^2}{2}$	Thế năng $\frac{V^2}{2C_a}$
Năng lượng từ trường $\frac{Li^2}{2}$	Động năng $\frac{mv^2}{2}$	Động năng $\frac{I\omega^2}{2}$	Động năng $\frac{Mx^2}{2}$

Một số đại lượng điện và từ tương ứng:

Đại lượng điện	Đại lượng từ
Cường độ điện trường \vec{E}	Cảm ứng từ \vec{B}
Thế năng của lưỡng cực điện $w_e = -\vec{P}_e \cdot \vec{E}$ (\vec{P}_e là moment lưỡng cực điện)	Thế năng của lưỡng cực từ (mạch điện kín) $w_m = -\vec{P}_m \cdot \vec{B}$ (\vec{P}_m là moment lưỡng cực từ)
Điện dung của tụ điện $C = \frac{Q}{U}$	Độ tự cảm của ống dây $L = \frac{\Phi}{I}$
Hằng số điện $\epsilon_0 = 8,85 \text{ (pF/m)}$	Hằng số từ $\mu_0 = 1,26 \text{ (}\mu\text{H/m)}$
Năng lượng tụ điện $\frac{Q^2}{2C}$	Năng lượng ống dây $\frac{LI^2}{2}$

Mật độ năng lượng điện trường $\frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$	Mật độ năng lượng từ trường $\frac{B^2}{2\mu\mu_0}$
Hằng số thời gian của mạch RC: $\tau = RC$	Hằng số thời gian của mạch RL: $\tau = \frac{L}{R}$

Xét một trường hợp trong dao động cưỡng bức của hệ, ta thấy biên độ vận tốc V là hàm theo tần số góc Ω của ngoại lực biến thiên tuần hoàn:

$$V = f(\Omega) = \frac{F_0}{\sqrt{\eta^2 + (m\Omega - \frac{k}{\Omega})^2}}$$

Đặt $Z = \sqrt{\eta^2 + (m\Omega - \frac{k}{\Omega})^2}$ gọi là tổng trở cơ học của dao động tử,

Viết lại: $V = \frac{F_0}{Z}$ (Giống mẫu của định luật Ohm)

Thấy rằng khi cộng hưởng vận tốc (cộng hưởng dòng điện) thì:

$$\Omega = \Omega_{ch} = \omega_0 \Leftrightarrow V = V_{max} = \frac{F_0}{\eta}$$

Với m : khối lượng vật (kg)

k : hệ số đàn hồi (N/m)

F_0 : biên độ ngoại lực (N)

ω_0 : tần số góc riêng của hệ (rad/s)

ϵ : hệ số tắt dần (rad/s)

η : hệ số cản (kg/s)

Bằng sự tương tự điện cơ, thông qua hai bảng trên, ta có dao động điện từ được thiết lập tương ứng đã biết: (mạch RLC nối tiếp)

Tổng trở mạch: $Z = \sqrt{R^2 + (L\Omega - \frac{1}{C\Omega})^2}$ và định luật Ohm của mạch: $I = \frac{U}{Z}$

Khi mạch cộng hưởng (dòng điện):

$$I = I_{max} = \frac{U}{R}$$

III. PHẢN TRÙNG DẪN

1. Hệ dao động cơ con lắc lò xo có khối lượng 0,5 (kg). Khi bị kéo dãn 2 (mm), lò xo tác dụng lực đàn hồi có độ lớn 8 (N). Tính:

a) Tần số góc riêng dao động của hệ.

b) Chu kỳ dao động.

c) Điện dung của mạch LC tương tự nếu độ tự cảm của mạch là 5 (H).

Nhận định:

a) $F_{dh} = k.\Delta l \Rightarrow k = \frac{F_{dh}}{\Delta l}$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{F_{dh}}{m.\Delta l}} = \mathbf{89 \text{ (rad/s)}}$$

b) $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \mathbf{70 \text{ (ms)}}$

c) $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \Leftrightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega_0^2.L} = \mathbf{25 \text{ (}\mu\text{F)}}$

2. Năng lượng mạch LC chứa cuộn cảm có độ tự cảm 1,25 (H) bằng 5,7 (μ J). Điện tích cực đại trên tụ là 175 (μ C). Bằng sự tương tự điện cơ, tính:

a) Khối lượng.

b) Độ cứng lò xo.

c) Ly độ cực đại (biên độ dao động).

Nhận định:

a) $m = L = \mathbf{1,25}$ (kg)

b) Có: $w = \frac{Q_0^2}{2C} \Rightarrow C = \frac{Q_0^2}{2w} \Rightarrow k = \frac{1}{C} = \frac{2w}{Q_0^2} = \mathbf{370}$ (N/m)

c) $A = Q_0 = \mathbf{175}$ (μ m)

IV. KẾT LUẬN

Qua sự tương tự điện cơ mô tả trên, cho ta góc nhìn tổng thể phản ánh cùng quy luật của các hiện tượng điện từ học và cơ học. Việc này, giúp mở rộng:

- Chỉ cần sử dụng phương pháp chung mà có thể tìm ra kết quả vận dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau.
- Cho phép tính toán tương hỗ giữa hệ dao động điện từ và hệ cơ.
- So sánh, đối chiếu cặp đại lượng điện từ và cơ để biết thêm về bản chất của các phần tử trong hệ.

Ví dụ: Cuộn solenoid trong lĩnh vực từ trường có vai trò như tụ điện phẳng trong lĩnh vực điện trường.
