

Energia câmpului electric

Pentru a încărca un conductor care are capacitatea C cu sarcina electrică, Q trebuie cheltuită o anumită energie electrică, W , sub formă de lucru mecanic necesar pentru a aduce o sarcină electrică de la infinit pe conductor:

$$dL = dq \cdot (V - V_\infty), \quad (1)$$

dacă considerăm că potențialul electric la infinit $V_\infty = 0$ atunci lucrul mecanic devine:

$$dL = dq \cdot V, \quad (2)$$

și ținând cont că sarcina electrică cu care se încarcă un corp este dată de produsul dintre potențialul electric și capacitatea acestuia atunci:

$$q = C \cdot V, \quad (3)$$

lucrul mecanic elementar devine:

$$dL = \frac{q \cdot dq}{C}, \quad (4)$$

prin integrare se obține:

$$L = \int_0^L dL' = \int_0^Q \frac{q \cdot dq}{C} = \frac{Q^2}{2C}. \quad (5)$$

Lucrul mecanic se înmagazinează sub forma de energie electrică potențială a conductorului încărcat:

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}. \quad (6)$$

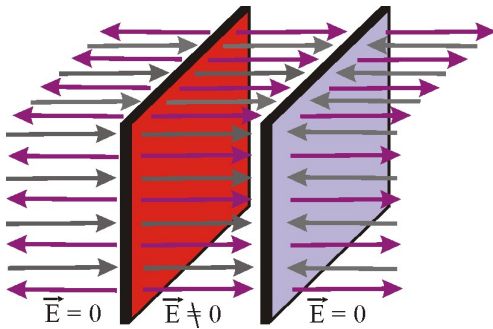


Fig. 1 Condensatorul electric, un dispozitiv capabil să înmagazineze sarcina electrică, este format din două plăcuțe între care se produce un câmp electric. În exteriorul condensatorului câmpul electric este nul.

Energia câmpului electrostatic

Capacitatea condensatorului plan se poate exprima ca fiind:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (7)$$

iar diferența de potențial este dată de:

$$U = V_1 - V_2 = E \cdot d, \quad (8)$$

iar energia conform ecuației (16.32):

$$W = \frac{C(V_1 - V_2)^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \frac{S}{d} \cdot E^2 \cdot d^2 = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot E^2 \cdot Sd, \quad (9)$$

unde $S \cdot d = V$ este volumul spațiului dintre plăcile condensatorului. Se poate defini mărimea fizică numită densitate de energie, valabilă pentru orice tip de conductor ca fiind raportul dintre energia înmagazinată în acel conductor și volumul spațiului unde este înmagazinată acea energie:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot E^2. \quad (10)$$

Definiție: Densitatea de energie a câmpului electrostatic, care este energia unui corp încărcat cu sarcină electrică pe unitatea de volum și care se înmagazinează în câmpul generat de sarcina electrică a corpului este proporțională cu pătratul intensității câmpului electric.

Energia câmpului magnetic

Câmpul magnetic este legat inseparabil de curentul electric, apare se modifica și dispare împreună cu acesta. O parte din energia curentului electric se cheltuiește pentru generarea câmpului magnetic.

Enunț: Câmpul magnetic trebuie să aibă o energie, egală cu lucrul mecanic cheltuit de curent pentru producerea lui.

Lucrul mecanic efectuat de curentul I pentru a crește fluxul câmpului magnetic este:

$$dL = I \cdot d\Phi = I \cdot L \cdot dI, \quad (11)$$

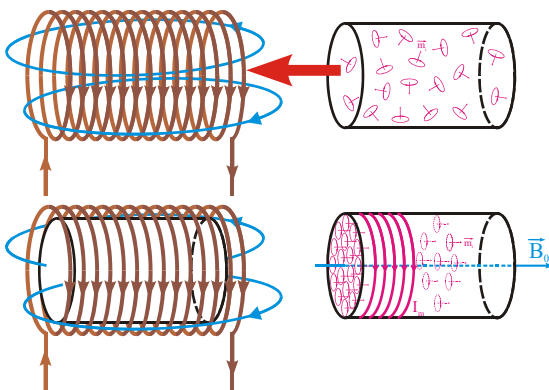
pentru a obține întregul lucru mecanic trebuie să integrăm:

$$L = \int_0^L dL' = \int_0^I L \cdot I' \cdot dI' = \frac{L \cdot I^2}{2}, \quad (12)$$

deci energia este dată de:

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2}. \quad (13)$$

În cazul unui circuit care conține o bobină solenoidală aproape tot câmpul magnetic



generat de curentul electric este înmagazinat în volumul din interiorul bobinei. Inducția magnetică a unei astfel de bobine este:

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot I, \quad (14)$$

de unde:

$$I = \frac{B \cdot l}{\mu_0 N}. \quad (15)$$

Fig. 2 Efectul câmpului magnetic produs de un solenoid este acela de a orienta curenții amperici și deci și momentele magnetice individuale.

Atunci energia magnetică este:

$$W_m = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 S}{1} \frac{B^2 I^2}{\mu_0^2 N^2} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} S l = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} V, \quad (16)$$

atunci densitatea de energie magnetică devine:

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}. \quad (17)$$

Definiție: Densitatea de energie înmagazinată în câmpul magnetic este direct proporțională cu pătratul valorii câmpului magnetic B și invers proporțională cu permeabilitatea magnetică a mediului.

Energia și impulsul undelor electromagnetice

Energia undelor electromagnetice

Unda electromagnetică reprezintă suprapunerea oscilațiilor câmpului electric cu cele ale câmpului magnetic, care se propagă în spațiu.

Definiție: Energia unei undei electromagnetice este egală cu suma dintre energia înmagazinată în câmpul electric și energia înmagazinată în câmpul magnetic.

Densitate de energie înmagazinată în câmpul electromagnetic este:

$$w_{em} = w_e + w_m = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}, \quad (18)$$

unde ținând cont și de relația dintre câmpul electric și cel magnetic dat de ecuația (16.26), obținem:

$$w_{em} = \epsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu_0}. \quad (19)$$

Definiție: Densitatea de energie înmagazinată în câmpul electromagnetic este direct proporțională cu pătratul câmpului electric (sau cu pătratul câmpului magnetic).

Intensitatea undelor electromagnetice

Definiție: Intensitatea undelor electromagnetice reprezintă energia electromagnetică ce străbate în unitatea de timp unitatea de arie orientată normal pe direcția de propagare a undelor.

$$I = \frac{1}{S} \frac{dW}{dt} = \frac{1}{S} \frac{d(w_{em} V)}{dt} = \frac{1}{S} w_{em} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{S} w_{em} \frac{d(S \cdot ct)}{dt} = c \cdot w_{em}, \quad (20)$$

de unde:

$$I = c \cdot w_{em} = c \cdot \epsilon_0 \cdot E^2. \quad (21)$$

Intensitatea undei electromagnetice este direct proporțională cu pătratul câmpului electric (sau cu pătratul câmpului magnetic).