Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

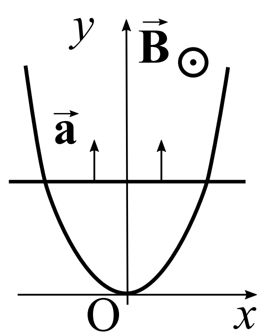
28 Gennaio 2019

Elettromagnetismo

Esercizi:

1) In un impianto di produzione di energia elettrica è presente un cavo elettrico di lunghezza $L = 6\,\mathrm{m}$, di materiale a resistività $\rho = 3 \cdot 10^{-4}\,\Omega\mathrm{m}$, a sezione circolare variabile, suddiviso in tre parti: A, B e C. Il primo tratto (A) di tale cavo, per una lunghezza $L/3$ ha una sezione di raggio $r_1 = 2\,\mathrm{mm}$, l'ultimo tratto (C), per una lunghezza pari a $L/3$ ha una sezione di raggio $r_2 = 2r_1$. Il tratto centrale (B) ha una sezione a raggio linearmente crescente con la distanza tra r_1 e r_2. Sapendo che il cavo è percorso da una corrente di $I = 240\,\mathrm{A}$, calcolare:
a) la resistenza elettrica R_B del tratto B;
b) la resistenza elettrica R_{tot} dell'intero cavo;
c) il valore massimo del modulo del campo elettrico ed individuare in quale tratto è presente.

2) In un piano xy è presente un cavo metallico, di resistenza trascurabile, a forma di parabola $y = bx^2$ con $b = 0{,}2\,\mathrm{m}^{-1}$, che è immerso in un campo magnetico uniforme e costante $\vec{\mathbf{B}} = B_0\hat{\mathbf{k}}$, con $B_0 = 3{,}4\,\mathrm{T}$. All'istante $t = 0\,\mathrm{s}$ una barretta a sezione cilindrica, di raggio $r = 3\,\mathrm{mm}$ e di materiale avente resistività $\rho_R = 5 \cdot 10^{-5}\,\Omega\mathrm{m}$, inizia a traslare lungo la parabola, partendo dal suo vertice, con accelerazione costante $\vec{\mathbf{a}} = (0{,}4\,\mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{j}}$ e, toccando ai due lati il cavo metallico, forma un percorso chiuso. Calcolare:
a) la forza elettromotrice indotta sulla spira nel generico istante di tempo t;
b) la corrente elettrica che circola nell'istante di tempo $\bar{t} = 5\,\mathrm{s}$.



Domande:

1) Spiegare le caratteristiche principali dei materiali dielettrici e scrivere le proprietà dei vettori elettrici $\vec{\mathbf{E}}$, $\vec{\mathbf{D}}$, $\vec{\mathbf{P}}$ nei dielettrici.
2) Induttori e induttanze: illustrare caratteristiche e proprietà
3) In quali casi agisce una forza risultante su una spira percorsa da corrente e immersa in un campo magnetico?

Avvertenze: non è consentito consultare libri, appunti, compagni né avere in aula cellulari accesi o spenti. Le risposte e le soluzioni devono essere espresse in termini dei simboli e dei dati specificati nel testo. Negli esercizi occorre spiegare i passi principali che conducono alle soluzioni.
Nel caso servano, si usino i valori $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{C^2/(Nm^2)}$ *e* $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \mathrm{N/A^2}$

SOLUZIONE

1)

a) Il tratto centrale ha la forma di un tronco di cono con basi di dimensioni molto piccole rispetto all'altezza. Poniamo l'altezza del cono lungo l'asse x in modo che la base maggiore, di raggio r_2, sia in $x = 0$ e la base minore, di raggio r_1, sia in $= L/3$. Al variare della quota x il raggio varia in maniera lineare secondo la formula $r(x) = r_2 - (r_2 - r_1)x/(L/3) = r_1(2 - 3x/L)$. Ora sezioniamo il cono con due piani perpendicolari all'asse x nelle posizioni x e $x + \mathrm{d}x$. In prima approssimazione otteniamo un dischetto di raggio $r(x)$, altezza $\mathrm{d}x$, attraversato dalla corrente I e di resistenza infinitesima: $\mathrm{d}R(x) = \rho \mathrm{d}x/S$ con $S = \pi r^2(x)$.

La resistenza del tratto centrale si trova facendo la serie di tutti i possibili dischetti in cui è possibile sezionare il filo. Da cui:

$$\begin{aligned} R_B &= \int \mathrm{d}R(x) = \int_0^{L/3} \frac{\rho}{\pi r^2(x)} \mathrm{d}x = \frac{\rho}{\pi r_1^2} \int_0^{L/3} \frac{\mathrm{d}x}{(2 - 3x/L)^2} = \frac{\rho L^2}{\pi r_1^2} \int_0^{L/3} \frac{\mathrm{d}x}{(2L - 3x)^2} = \\ &= \frac{\rho L^2}{\pi r_1^2} \left[\frac{1}{3(2L - 3x)} \right]_0^{L/3} = \frac{\rho L^2}{\pi r_1^2} \left(\frac{1}{3L} - \frac{1}{6L} \right) = \frac{\rho L}{6\pi r_1^2} = 23,9\,\Omega \end{aligned}$$

b) Si calcola facilmente la resistenza di A e di C: $R_A = \rho \frac{L}{3\pi r_1^2}$ e $R_C = \rho \frac{L}{3\pi r_2^2} = \rho \frac{L}{4 \cdot 3\pi r_1^2} = R_A/4$. La resistenza complessiva del filo vale: $R_{\text{tot}} = R_A + R_B + R_C = R_A \cdot (1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{7}{4} R_A = 83,6\,\Omega$

c) Dalla legge di Ohm microscopica si ha $\vec{\mathbf{E}} = \rho \vec{\mathbf{J}}$. Passando ai moduli, $E = \rho I/[\pi r^2(x)]$. È quindi chiaro che il campo elettrico ha il massimo modulo dove la sezione è minore, cioè in tutto il tratto A. Si ha dunque:

$$E_{\max} = \rho \frac{I}{\pi r_1^2} = 5,73 kV/m$$

2) La sbarra orizzontale si muove con una legge oraria data da $y(t) = at^2/2$. I punti di intersezione con la parabola ($y(x) = bx^2$) sono dati da $y(t) = y(x) \Rightarrow at^2/2 = bx^2$, da cui $\bar{x}(t) = \pm t \sqrt{\frac{a}{2b}}$. Possiamo calcolare l'area tra la sbarra orizzontale, di ordinata $\bar{y}(\bar{x}) = b\bar{x}^2$, e la parabola con:

$$S(t) = \int_{-\bar{x}}^{+\bar{x}} \left(\bar{y} - bx^2 \right) \mathrm{d}x = \left[\bar{y}x - \frac{b}{3}x^3 \right]_{-\bar{x}}^{+\bar{x}} = 2\bar{x}\bar{y} - \frac{2b}{3}\bar{x}^3 = \frac{4}{3} b\bar{x}^3 = \frac{4}{3} b \left(\frac{a}{2b} \right)^{\frac{3}{2}} t^3$$

La forza elettromotrice è quindi calcolabile come:

$$\varepsilon = -\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t} = -B_0 \frac{\mathrm{d}S(t)}{\mathrm{d}t} = -4B_0 b \left(\frac{a}{2b} \right)^{\frac{3}{2}} t^2$$

b) La resistenza elettrica del conduttore è pari a: $R = \rho(2\bar{x})/(\pi r^2) = \frac{2\rho}{\pi r^2} \sqrt{\frac{a}{2b}} t$. La corrente elettrica al tempo $\bar{t}$ è quindi:

$$I(\bar{t}) = \frac{\varepsilon}{R(\bar{t})} = \left[-4B_0 b \left(\frac{a}{2b} \right)^{\frac{3}{2}} t^2 \right] / \left[\frac{2\rho}{\pi r^2} \sqrt{\frac{a}{2b}} t \right] = \frac{\pi r^2 a B_0}{\rho} t = 3,84\,\mathrm{A}$$