Università degli Studi di Siena, Corso di Laurea in Fisica
Prova d'esame di Fisica 2 – 17/11/2023

Nota: la valutazione della prova tiene conto della correttezza dei risultati analitici e numerici (attenzione ai segni, alle cifre significative ed alle unità di misura!) e della chiarezza dell'esposizione della soluzione. Spiegare sinteticamente la strategia di soluzione seguita, giustificare i principali passaggi e definire esplicitamente i simboli usati, anche con l'aiuto di figure (sistemi di riferimento, ecc.)

Esercizio 1

Due strati piani indefiniti adiacenti hanno spessori e densità di carica, rispettivamente, $w_1 = 1.1$ μm e $\varrho_1 = -0.65 \times 10^{14}$ e/cm^3 e $w_2 = 0.55$ μm e $\varrho_2 = 1.3 \times 10^{14}$ e/cm^3. (Questo sistema potrebbe essere un modello di giunzione tra semiconduttori di tipo p e n). Si calcoli:

a) il campo elettrico $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ in tutto lo spazio e in particolare in un punto tra i due strati di carica;

b) la differenza di potenziale $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ tra le facce esterne dei due strati;

c) la pressione P esercitata da uno strato sull'altro.

Svolgimento:

a) consideriamo una coordinata z ortogonale agli strati e avente origine sul piano esterno del primo strato. Consideriamo scatole gaussiane cilindriche con asse ortogonale agli strati di carica e una base a $z < 0$. Dal momento che il sistema è complessivamente neutro, ponendo la seconda base a $z > w_1 + w_2$ si vede facilmente che il campo elettrico al di fuori degli strati di carica è nullo. Invece, se la seconda base è interna agli strati di carica si ha

$$E_z(z) = \begin{cases} \dfrac{\varrho_1\, z}{\epsilon_0} & 0 \le z \le w_1 \\[2ex] \dfrac{\varrho_1 w_1 + \varrho_2(z - w_1)}{\epsilon_0} & w_1 \le z \le w_1 + w_2 \end{cases}$$

dove $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m. Il grafico del campo elettrico in funzione di z è un triangolo con due vertici sull'asse z e un terzo vertice all'intersezione dei due strati con $E_z(w_1) = \varrho_1 w_1/\epsilon_0 = -1.37$ MV/m;

b)
$$\Delta\varphi = \int_0^{w_1+w_2} E_z\, dz = \frac{\varrho_1 w_1 (w_1 + w_2)}{2\epsilon_0} = -1.07 \text{ V};$$

c)
$$P = \left| \frac{\varrho_1 w_1\, \varrho_2 w_2}{2\epsilon_0} \right| = 8.27 \text{ N/m}^2.$$

Esercizio 2

Una sferetta di un materiale magnetico lineare di volume $V = 73$ mm^3 è posizionata in un punto in cui $B_{0z} = 0.53$ T e $\partial B_{0z}/\partial z = -9.7$ T/m. La pallina è attirata con una forza $F_z = -0.21$ N. Assumendo che la sferetta sia uniformemente magnetizzata si calcoli:

a) la magnetizzazione M indotta dal campo magnetico e il campo H nel materiale;

b) la suscettività χ del materiale;

c) il campo magnetico B nel materiale.

Svolgimento:

a)
$$F_z = m \frac{\partial B_{0z}}{\partial z} = VM \frac{\partial B_{0z}}{\partial z} \qquad \longrightarrow \qquad M = \frac{F_z}{V \partial B_{0z}/\partial z} = 296 \text{ kA/m}.$$

Nella geometria data
$$H = \frac{B_{0z}}{\mu_0} - \frac{M}{3} = 323 \text{ kA/m},$$

dove $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m;

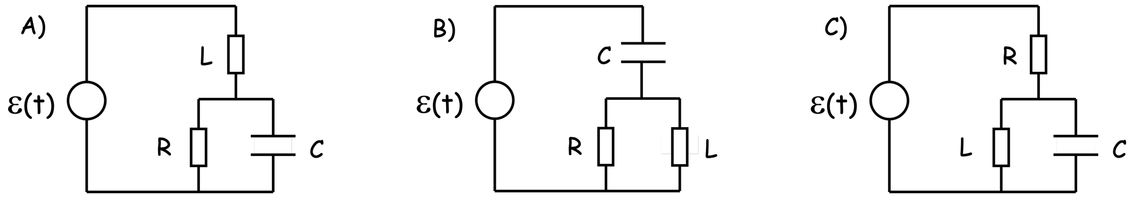
b)

$$\chi = \frac{M}{H} = 0.918;$$

c)

$$B = \mu_0(H + M) = 0.778 \text{ T}.$$

Esercizio 3



Per i tre circuiti in figura alimentati da un generatore $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \cos \omega t = \hat{\mathcal{E}}$ si determinino:

a) le espressioni delle correnti a frequenza nulla $\hat{I}_A(0)$, $\hat{I}_B(0)$ e $\hat{I}_C(0)$ e a frequenza infinita $\hat{I}_A(\infty)$, $\hat{I}_B(\infty)$ e $\hat{I}_C(\infty)$;

b) le espressioni delle impedenze $\hat{Z}_A(\omega)$, $\hat{Z}_B(\omega)$ e $\hat{Z}_C(\omega)$ e delle frequenze di risonanza ω_A, ω_B e ω_C;

c) le espressioni delle correnti alla frequenza di risonanza $\hat{I}_A(\omega_A)$, $\hat{I}_B(\omega_B)$ e $\hat{I}_C(\omega_C)$ e delle loro fasi alla frequenza di risonanza $\phi_A(\omega_A)$, $\phi_B(\omega_B)$ e $\phi_C(\omega_C)$.

Svolgimento:

a)

$$\hat{I}_A(0) = \frac{\mathcal{E}_0}{R}, \qquad \hat{I}_B(0) = 0, \qquad \hat{I}_C(0) = \frac{\mathcal{E}_0}{R},$$

$$\hat{I}_A(\infty) = 0, \qquad \hat{I}_B(\infty) = \frac{\hat{\mathcal{E}}}{R}, \qquad \hat{I}_C(\infty) = \frac{\hat{\mathcal{E}}}{R};$$

b)

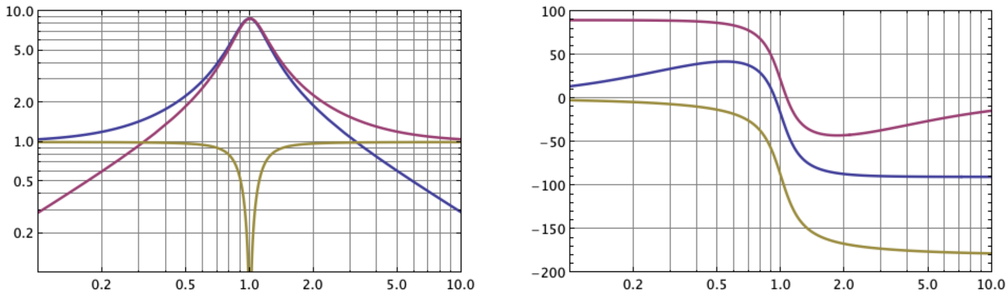
$$\hat{Z}_A(\omega) = \frac{R(1 - \omega^2 CL) + i\omega L}{1 + i\omega CR}, \qquad \hat{Z}_B(\omega) = \frac{\omega L - iR(1 - \omega^2 CL)}{\omega C(R + i\omega L)},$$

$$\hat{Z}_C(\omega) = \frac{R(1 - \omega^2 CL) + i\omega L}{1 - \omega^2 CL}, \qquad \omega_A = \omega_B = \omega_C = \sqrt{\frac{1}{CL}};$$

c)

$$\hat{I}_A(\omega_A) = \hat{\mathcal{E}} \left(\frac{RC}{L} - i\sqrt{\frac{C}{L}} \right), \qquad I_B(\omega_B) = \hat{\mathcal{E}} \left(\frac{RC}{L} + i\sqrt{\frac{C}{L}} \right), \qquad \hat{I}_C(\omega_C) = -i\,0,$$

$$\phi_A(\omega_A) = -\arctan \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad \phi_B(\omega_B) = \arctan \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad \phi_C(\omega_C) = -\frac{\pi}{2}.$$


10.0
5.0
2.0
1.0
0.5
0.2
0.2
0.5
1.0
2.0
5.0
10.0
100
50
0
−50
−100
−150
−200
0.2
0.5
1.0
2.0
5.0
10.0