

Magnetismo nella materia

Correnti parassite

Siccome $\nabla \times E = -\dot{B}$ nascono E "ruotanti" che generano correnti parassite $J = \sigma E$ che dissipano energia per effetto Joule $WJ = E \cdot J$ riscaldando i trasformatori. Ridotte mettendo lamine di ferro separate da isolanti

Campi E 'ruotanti' e correnti parassite $J = \sigma E$ nascono anche quando un ferromagnete entra in B: la forza magnetica su J agisce come attrito, in maniera da conservare l'energia.

Trasformatore

Per trasportare una data potenza $W = V I$ da una centrale elettrica al luogo di consumo conviene utilizzare un grosso V ed una piccola I, in modo da ridurre la potenza RI^2 dissipata per effetto Joule lungo la linea di trasmissione. Però la corrente va trasformata a basso voltaggio. È possibile farlo usando l'induzione magnetica che necessita di correnti alternate (la corrente continua darebbe $\Phi B = cte$).

$\mu_r \gg 1$ consente di costruire pratici trasformatori di corrente alternata.

$$L_1 = \frac{\Phi_{B1}(I_1)}{I_1} = \frac{\mu S N_1^2}{\ell}, \quad L_2 = \frac{\Phi_{B2}(I_2)}{I_2} = \frac{\mu S N_2^2}{\ell}$$

COEFFICIENTI DI AUTO-INDUZIONE

Due circuiti vengono avvolti N_1 ed N_2 volte attorno ad un magnete toroidale di lunghezza l: dentro $B = \mu(N_1 I_1 + N_2 I_2)/l$

$$M = \frac{\Phi_{B2}(I_1)}{I_1} = \frac{\Phi_{B1}(I_2)}{I_2} = \frac{\mu S N_1 N_2}{\ell}$$

MUTUA INDUZIONE

$$\mathcal{E}_2 / \mathcal{E}_1 = M / L_1 = N_2 / N_1$$

Trasformatore ideale

$$M = \frac{\mu S N_1 N_2}{\ell} \sim 14 \text{ Henry}, \quad L_1 = \frac{\mu S N_1^2}{\ell} \sim 3400 \text{ Henry}$$

Ferromagnetismo

Un materiale: come se $\mu_0 \rightarrow \mu$

Condizioni di raccordo in assenza di J_{free} :

$$\Delta B_{\perp} = 0, \quad \Delta H_{\parallel} = 0$$

Due materiali con diversi μ : risolvere in ognuno, e raccordare sulla superficie di separazione.

$$\begin{cases} \Phi_B = 0 \\ \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = I_{free}^{conc} \end{cases}$$

Formule generali

INTRODUZIONE

Alcuni materiali detti paramagnetici sono attratti: $\mu > \mu_0$, come dipoli \uparrow
Altri detti diamagnetici sono respinti: $\mu < \mu_0$, come se fossero dipoli \downarrow

Sono dipoli magnetici, un fenomeno analogo alla dielettricità: un B nella materia induce dipoli μ con densità $M = n\mu$ che correggono B

possono essere propri o indotti

Diamagnetismo $\mu < \mu_0$: materia con dipoli magnetici indotti schermo B.

Paramagnetismo $\mu > \mu_0$: materia con dipoli magnetici propri aumenta B

Si osserva poi il ferromagnetismo $\mu \gg \mu_0$.

Tanti dipoli magnetici μ con densità volumetrica n producono la densità di magnetizzazione $M \equiv n\mu$. Pensandoli come tante correnti che girano, un M costante genera una densità di corrente "di magnetizzazione" sulla superficie del materiale magnetizzato:

$$\mathbf{J}_{mag} = \mathbf{M} \times \mathbf{n}$$

In generale: $\mathbf{J}_{tot} = \mathbf{J}_{free} + \mathbf{J}_{mag} \quad \mathbf{J}_{mag} = \nabla \times \mathbf{M} \quad \Rightarrow \quad \oint \mathbf{M} \cdot d\mathbf{s} = I_{mag}^{conc}$

SIMILITUDINI

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{E} &= \rho / \epsilon_0 \\ \rho &= \rho_{free} + \rho_{pol} \\ \rho_{pol} &= -\nabla \cdot \mathbf{P} \\ \nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho_{free} \\ \mathbf{D} &= \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon \mathbf{E} \\ \mathbf{P} &\approx \chi_e \epsilon_0 \mathbf{E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} \\ \mathbf{J} &= \mathbf{J}_{free} + \mathbf{J}_{mag} \\ \mathbf{J}_{mag} &= \nabla \times \mathbf{M} \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J}_{free} \\ \mathbf{H} &= \mathbf{B} / \mu_0 - \mathbf{M} = \mathbf{B} / \mu \\ \mathbf{M} &\approx \chi_m \mathbf{H} \end{aligned}$$

Il trattamento generale ricalca quello della dielettricità

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_{free}, \quad \mathbf{B} \equiv \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H}$$

si ha $B = \mu H$ con $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) = \mu_0 \mu_r$