

Materiale electrotehnice

III Proprietati dielectrice

6. Polarizarea electrica

Materiale electrotehnice
Facultatea de Energetica, 2009-2010, anul III ISE

Prof.dr.ing.Florin Ciuprina

Polarizarea electrica

Structura disciplinei

Capitolul	Conținutul
I Proprietati generale ale cristalelor	
1	Corpuri cristaline Sări ale corpurilor Rețele cristaline Defecte ale rețelilor cristaline
2	Electroni în cristale Modele (clasice și cuantice) ale electronului. Benzii de energie asociate corpurilor cristaline. Clasificarea materialelor în conductori, semiconductori și izolatori.
II Conductia electrica	
3	Conductia electrica a metalelor. Conductia metalelor la temperaturi uzuale Supracconductibilitatea electrica.
4	Conductia electrica a semiconductorilor Mecanisme de conductie. Expresia conductivitatii intrinseci si extrinseci
5	Conductia electrica a izolatoarelor solizi Conductia in campuri slabe (Conductia electronica, Conductia ionica). Conductia in campuri intense (Străpungerea izolatoarelor solizi).
III Proprietati dielectrice	
6	Polarizarea electrica Tipuri de polarizare. Polarizarea in campuri armonice. Pierderi in dielectrice.
IV Proprietati magnetice	
7	Tipuri de magnetism

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6. Polarizarea electrica

- 6.1 Notiuni generale
- 6.2 Tipuri de polarizare
- 6.3 Permitivitatea dielectricilor in campuri armonice
- 6.4 Pierderi dielectrice

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6. Polarizarea electrica

- 6.1 Notiuni generale
- 6.2 Tipuri de polarizare
- 6.3 Permitivitatea dielectricilor in campuri armonice
- 6.4 Pierderi dielectrice

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.1 Notiuni generale

Polarizatie:
$$\mathbf{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_i (\mathbf{P}_i) \Delta V}{\Delta V} \quad \mathbf{P}_i = \epsilon_0 \chi_i \mathbf{E} = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \mathbf{E}$$

$$\mathbf{E}_0 = \mathbf{E} + \frac{\gamma}{\epsilon_0} \mathbf{P}$$
 - intensitatea campului electric local (interior)

$$\alpha = \frac{p}{E_0}, \quad \alpha \text{ [Fm}^2\text{]} - \text{polarizabilitate}$$

Tipuri de polarizare:

- polarizare de deformare
 - electronica
 - ionica
- polarizare de orientare
- polarizare de neomogenitate (interfaciala)

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6. Polarizarea electrica

- 6.1 Notiuni generale
- 6.2 Tipuri de polarizare
- 6.3 Permitivitatea dielectricilor in campuri armonice
- 6.4 Pierderi dielectrice

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.2 Tipuri de polarizare

Polarizarea de deformare electronica

$$p_e = \alpha_e E_0 \quad \alpha_e = 4\pi\epsilon_0 R^3$$

$$P_e = N_e p_e = N_e \alpha_e E_0$$

$$\chi_{ee} = \frac{N_e \alpha_e}{\epsilon_0 - \gamma N_e \alpha_e}$$

$$\epsilon_{rc} = 1 + \frac{N_e \alpha_e}{\epsilon_0 - \gamma N_e \alpha_e}$$

$$f > f_{0e} \approx 10^{14} - 10^{15} \text{ Hz} \Rightarrow P_e = 0$$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.2 Tipuri de polarizare

Polarizarea de deformare ionica

$$p_i = \alpha_i E_0 \quad \alpha_i = 8\pi\epsilon_0 a^3$$

$$P_i = N_i p_i = N_i \alpha_i E_0$$

$$\chi_{ci} = \frac{N_i \alpha_i}{\epsilon_0 - \gamma N_i \alpha_i}$$

$$\epsilon_r = 1 + \frac{N_i \alpha_i}{\epsilon_0 - \gamma N_i \alpha_i}$$

$$\epsilon_{ri} > \epsilon_{rc}$$

$$f > f_{0i} \approx 10^{13} - 10^{14} \text{ Hz} \Rightarrow P_i = 0$$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.2 Tipuri de polarizare

Polarizarea de orientare (relaxare)

$$p_o = \alpha_o E_0 \quad \alpha_o = \frac{\text{const}}{T}$$

$$P_o = N_o p_o = N_o \alpha_o E_0$$

$$\chi_{eo} = \frac{N_o \alpha_o}{\epsilon_0 - \gamma N_o \alpha_o}$$

$$\epsilon_{ro} = 1 + \frac{N_o \alpha_o}{\epsilon_0 - \gamma N_o \alpha_o}$$

$$\epsilon_{ro} > \epsilon_{ri} > \epsilon_{rc}$$

$$f > f_{0o} \approx 10^6 - 10^8 \text{ Hz} \Rightarrow P_o = 0$$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.2 Tipuri de polarizare

Polarizarea de neomogenitate (interfacciala)

$$P_n = P - P_0$$

$$\frac{\epsilon_2}{\sigma_2} \neq \frac{\epsilon_1}{\sigma_1}$$

$$\tau_1 = \frac{\epsilon_1}{\sigma_1} \quad \tau_2 = \frac{\epsilon_2}{\sigma_2}$$

$f > f_{0n} \approx 10^2 \text{ Hz} \Rightarrow P_n = 0$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6. Polarizarea electrica

- 6.1 Notiuni generale
- 6.2 Tipuri de polarizare
- 6.3 Permitivitatea dielectricilor in campuri armonice
- 6.4 Pierderi dielectrice

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.3 Permitivitatea dielectricilor in campuri armonice

$E(t) = \hat{E} \sin \omega t$

$\underline{E}, \underline{E}_0, \underline{P}, \underline{D}$

$\underline{\epsilon}_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.3 Permittivitatea dielectricilor in campuri armonice

$E(t) = \hat{E} \sin \omega t$
 $\underline{E}, \underline{D}_0, \underline{P}, \text{ și } \underline{D}$
 $\underline{\epsilon}_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6. Polarizarea electrica

- 6.1 Notiuni generale
- 6.2 Tipuri de polarizare
- 6.3 Permittivitatea dielectricilor in campuri armonice
- 6.4 Pierderi dielectrice

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.4 Pierderi dielectrice

- Pierderi prin histerezis dielectric (P_h) – numai in c.a. (prin polarizare electrica)
- Pierderi prin conductie electrica (P_c) – atat in c.c cat si in c.a (prin efect Joule)

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.4 Pierderi dielectrice

Pierderi prin histerezis dielectric

$$E(t) = E_m \sin \omega t$$

$$D(t) = D_m \sin(\omega t - \delta_h)$$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.4 Pierderi dielectrice

Pierderi prin histerezis dielectric

$$E(t) = E_m \sin \omega t \rightarrow \underline{E} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E$$

$$D(t) = D_m \sin(\omega t - \delta_h) \rightarrow \underline{D} = \frac{D_m}{\sqrt{2}} \exp(-j\delta_h) = \frac{D_m}{\sqrt{2}} (\cos \delta_h - j \sin \delta_h)$$

$$\underline{\varepsilon} = \frac{\underline{D}}{\underline{E}} = \frac{D_m}{E_m} (\cos \delta_h - j \sin \delta_h) = \varepsilon_m (\cos \delta_h - j \sin \delta_h) = \varepsilon' - j\varepsilon''$$

$$\varepsilon' = \varepsilon_m \cos \delta_h \rightarrow \text{tg } \delta_h = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon_m \sin \delta_h$$

$$p_h(t) = \frac{dw_e}{dt} = E \frac{dD}{dt} = E J_D$$

$$\underline{S}_h = \underline{E} \underline{J}_D = \underline{E} (j\omega \underline{D})^* = \underline{E}^* (j\omega \underline{\varepsilon} \underline{E}) = E^2 (-j) \omega (\varepsilon' + j\varepsilon'') = \omega \varepsilon'' E^2 - j\omega \varepsilon' E^2$$

$$= p_h + jq_h \rightarrow \boxed{p_h = \omega \varepsilon'' E^2} \quad q_h = -\omega \varepsilon' E^2$$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.4 Pierderi dielectrice

Pierderi prin conductie electrica

Efect Joule: $p = EJ \rightarrow \underline{S}_c = \underline{E} \underline{J}^* = \sigma E^2 = p_c$

$$\boxed{p_c = \sigma E^2}$$

Pierderi totale

$$p_t = p_h + p_c = \omega \varepsilon'' E^2 + \sigma E^2 = (\omega \varepsilon'' + \sigma) E^2$$

$$= (\omega \varepsilon' \text{tg } \delta_h + \sigma) E^2 = \omega \varepsilon' (\text{tg } \delta_h + \frac{\sigma}{\omega \varepsilon'}) E^2 \rightarrow \boxed{p_t = \omega \varepsilon' E^2 \text{tg } \delta}$$

$$\text{tg } \delta_c = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon'}$$

$$\text{tg } \delta = \text{tg } \delta_h + \frac{\sigma}{\omega \varepsilon'} = \text{tg } \delta_h + \text{tg } \delta_c$$

$$q_t = -\omega \varepsilon' E^2$$

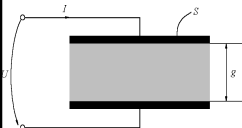
$$\text{tg } \delta = \frac{p_t}{|q_t|}$$

Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE

Polarizarea electrica

6.4 Pierderi dielectrice

Condensatorul real (cu pierderi)



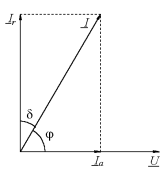
$$Q = q_0 V = -\omega \epsilon' E^2 S g = -\omega \epsilon' \frac{S}{g} U^2$$

$$Q = \frac{U^2}{X_C} = \frac{U^2}{-\frac{1}{\omega C}} = -\omega C U^2$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= q_0 V = -\omega \epsilon' E^2 S g = -\omega \epsilon' \frac{S}{g} U^2 \\ Q &= \frac{U^2}{X_C} = \frac{U^2}{-\frac{1}{\omega C}} = -\omega C U^2 \end{aligned} \right\} \rightarrow C = \frac{\epsilon' S}{g}$$

$$P = p_e V = \omega \epsilon' E^2 S g \operatorname{tg} \delta = \omega \epsilon' \frac{S}{g} U^2 \operatorname{tg} \delta$$

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P}{|Q|} \rightarrow \operatorname{tg} \delta = 1 / (\operatorname{tg} \varphi)$$


Materiale electrotehnice, Facultatea de Energetica, anul III ISE
