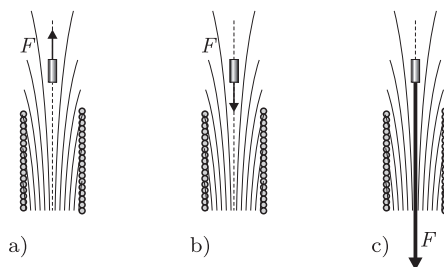


6. Predavanje

April 8, 2020

1 Dijamagnetizam, paramagnetizam i feromagnetizam

Različiti materijali ponašaju se različito u magnetnom polju. Razmotrimo ogled prikazan na Slici 1. Neka je pomoću solenoida realizovano magnetno polje. Na krajevima solenoida polje nije homogeno. Ukoliko se naprave uzorci od različitih materijala u obliku štapića, a zatim se svaki od njih unese u oblast nehomogenog magnetnog polja primećuje se sledeće. Određeni uzorci teže da izađu iz oblasti jačeg magnetnog polja što se manifestuje slabom silom vertikalno naviše. Ovi materijali nazivaju se dijamagnetični. Druga klasa uzoraka teži da se nađe u oblasti jačeg magnetnog polja što se manifestuje slabom silom vertikalno naniže. Ovi materijali nazivaju se paramagnetičnim. Kod treće grupe uzoraka ispoljava se vrlo jaka sila (mnogo veća od prethodne dve) koja teži da uvuče uzorak u oblast jačeg magnetnog polja. Ovi materijali nazivaju se feromagnetni.



Slika 1 Eksperiment sa materijalima koji imaju različite magnetne osobine. a) Dijamagnetični materijali; b) paramagnetični materijali; c) feromagnetni materijali.

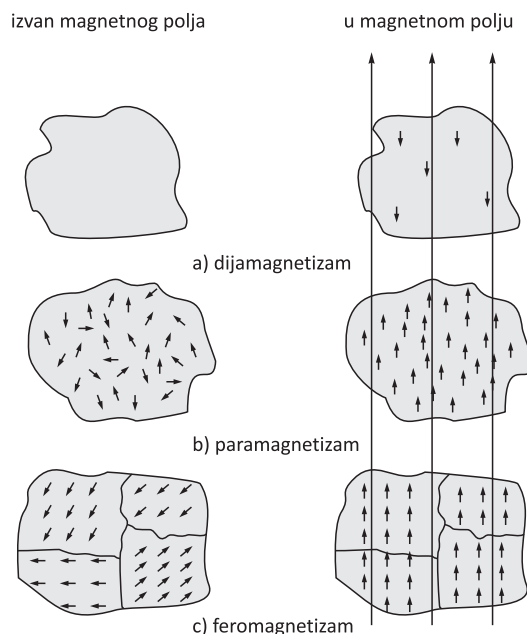
Sušтина magnetnih osobina materijala je postojanje mikrostruja na nivou atoma. Posmatrajmo uprošćenu sliku atoma vodonika, gde se elektron kreće oko jezgra po kružnoj putanji. Pošto je elektron naelektrisana čestica, možemo smatrati da njegovo kretanje oko jezgra predstavlja malu struju jačine

$$I = \frac{e}{T} \quad (1)$$

gde je e elementarno naelektrisanje, a T vreme potrebno da elektron obiđe jezgro. Dakle možemo smatrati da kretanje elektrona oko jezgra po kružnoj putanji predstavlja zatvorenu strujnu konturu. Ova zatvorena strujna kontura stvara sopstveno magnetno polje atoma. Unošenje ovakvog atoma u spoljašnje magnetno polje izaziva pojavu elektromagnetne indukcije u ovoj mikrokonturi. Elektron pod dejstvom spoljašnjeg polja smanjuje brzinu kretanja oko jezgra.

Molekuli ili atomi dijamagnetičnih materijala sastoje se iz većeg broja elektrona koji kruže po složenim putanjama oko jezgra. Međutim u odsustvu spoljašnjeg polja putanje su takve da se magnetna polja strujnih kontura elektrona međusobno poništavaju. Dakle osnovna strukturna jedinica dijamagnetičnog materijala (može biti atom ili molekul) nema sopstveno magnetno polje. Pod dejstvom spoljašnjeg polja u osnovnoj strukturnoj jedinici dijamagnetičnog materijala dolazi do indukovanja struja koje generišu polje koje teži da poništi spoljašnje polje. Sa druge strane, osnovne jedinice (atomi ili molekuli) paramagnetnih materijala imaju sopstveno magnetno polje. Unošenjem paramagnetičnog materijala u spoljašnje polje dominantan je efekat preusmeravanja nasumično raspoređenih sopstvenih polja konstituenata u pravcu spoljašnjeg polja. Naime i kod paramagnetnih materijala, javlja se dijamagnetičan efekat, ali je on zamaskiran zbog već prisutnog permanentog magnetnog polja. Kod

feromagnetnih materijala, osnovni konstituenti takođe imaju sopstveno magnetno polje, ali su grupe konstituenata već usmerene u određenim oblastima (domenima). Pri unošenju feromagnetnog materijala u spoljašnje polje, svi domeni zauzimaju istu orijentaciju što rezultuje u pojavi veoma jakog sopstvenog magnetnog polja. Klasifikacija materijala prema magnetnim osobinama sumirana je na Slici 2.



Slika 2 Magnetni materijali u spoljašnjem homogenom magnetnom polju. a) Dijamagnetični materijali u odsustvu polja nemaju sopstveno polje konstituenata; unošenjem dijamagnetika u spoljašnje polje indukuje se sopstveno polje suprotne orijentacije. b) Paramagnetični materijali imaju sopstveno magnetno polje konstituenata, ali su nasumično raspoređena; u prisustvu spoljnog polja postoji tendencija da se sopstvena polja konstituenata orijentišu u pravcu spoljašnjeg polja; c) feromagnetni materijali imaju sopstveno magnetno polje konstituenata orijentisano u jednom pravcu unutar određenih oblasti; u prisustvu spoljašnjeg polja dolazi do preusmeravanja sopstvenog polja svih oblasti.

Kvantitativan opis dijamagnetizma, paramagnetizma i feromagnetizma sledi zakone kvantne fizike. U tom smislu data objašnjenja magnetnih osobina materijala samo su fenomenološkog karaktera.

2 Naizmenične struje

Teoriju o naizmeničnim strujama naučiti iz praktikuma-RLC kolo.

3 Rezonancija u RLC kolu

S obzirom na izraz za impedancu RLC kola

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad (2)$$

i Omov zakon za naizmenične struje, izraz za efektivnu jačinu struje u RLC kolu je

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{Z} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (3)$$

Vidimo da u slučaju kada je reaktivni otpor jednak nuli

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = 0 \quad (4)$$

efektivna vrednost struje je maksimalna i iznosi

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{R}. \quad (5)$$

Dakle kada je zadovoljen uslov (3), kažemo da se RLC kolo nalazi u stanju rezonancije. Stanje rezonancije se može postići za date vrednosti induktivnosti L i kapaciteta C postavljenjem kružne frekvencije na vrednost koja je prema (3)

$$\omega = \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (6)$$

U uslovima rezonancije, RLC kolo se ponaša kao da nema kalema i kondenzatora. Na Slici 1 je prikazana zavisnost efektivne jačine struje od frekvencije naizmenične struje prema izrazu (2). Vidi se da pri porastu frekvencije naizmenične struje od nulte vrednosti, jačina struje dostiže maksimum. Nakon toga daljim porastom jačina struje opada. S obzirom na izraz za faznu razliku između napona i struje

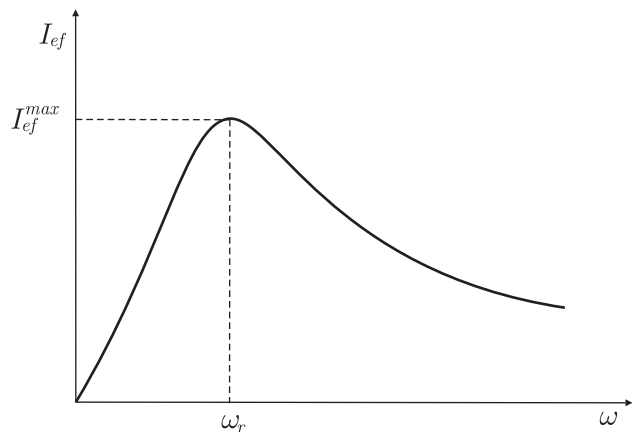
$$\varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (7)$$

zaključujemo da u uslovima rezonancije nema fazne razlike. Zbog ovoga na otporniku se oslobađa i maksimalna efektivna snaga

$$P_{ef}^{max} = RI_{ef}^2. \quad (8)$$

Stanje rezonancije može se postići i pri konstantnoj frekvenciji napona izvora naizmenične struje, promenom vrednosti induktivnosti ili kapaciteta. Prema uslovu (3) jasno je da je vrednost induktivnosti pri kome je RLC kolo u rezonanciji

$$L = \frac{1}{\omega^2 C}, \quad (9)$$



a kapaciteta

$$C = \frac{1}{\omega^2 L}. \quad (10)$$

ZADATAK:

RLC kolo se sastoji od redno vezanog otpornika električne otpornosti $R = 50\Omega$, kalema induktivnosti $L = 0,2H$ i kondenzatora kapaciteta $C = 30\mu F$. Ako je RLC kolo priključeno na izvor naizmeničnog napona efektivne vrednosti $\mathcal{E}_{ef} = 24V$ podesive frekvencije, odrediti:

- Rezonantnu frekvenciju kola ν_R , i efektivnu struju koja teče pri rezonanciji;
- Ako se frekvencija podesi na dva puta veću od rezonantne, kolika će efektivna jačina struje teći kroz kolo?

REŠENJE:

a) Rezonantna frekvencija prema (2) je

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,3H \cdot 30 \cdot 10^{-6}F}} = 408s^{-1}, \quad (1)$$

A s obzirom na vezu

$$\omega = 2\pi\nu, \quad (2)$$

sledi

$$\nu_r = \frac{\omega_r}{2\pi} = 65Hz. \quad (3)$$

Efektivna jačina struje pri rezonanciji je

$$I_{ef} = \frac{\mathcal{E}_{ef}}{R} = 0,48A. \quad (4)$$

b) Prema uslovu zadatka nova frekvencija je

$$\omega = 2\omega_r = 816s^{-1}, \quad (5)$$

pa je impedanca

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = 132\Omega. \quad (6)$$

efektivna jačina struje je

$$I_{ef} = \frac{\mathcal{E}}{Z} = 0,18A. \quad (7)$$

ZADATAK:

RLC kolo se sastoji od redno vezanih elemenata: otpornik električne otpornosti $R = 80\Omega$, kalem induktivnosti $L = 400mH$ i kondenzator promenljivog kapaciteta. Ako je RLC kolo povezano na izvor frekvencije $\nu = 80Hz$ i efektivnog napona $\mathcal{E}_{ef} = 10V$, odrediti:

- kapacitet kondenzatora pri kome će RLC kolo biti u rezonanciji;
- efektivnu vrednost jačine struje u kolu kao i napon na kalemu i kondenzatoru pri rezonanciji;
- faznu razliku $\varphi[^\circ]$ između struje i napona pri kapacitetu kondenzatora koji je dva puta manji od rezonantnog. Kolika se tada snaga oslobađa u kolu?

REŠENJE:

a) Kapacitet kondenzatora pri kome će RLC kolo biti u rezonanciji je prema (3) odnosno (9)

$$C = \frac{1}{\omega^2 L}, \quad (1)$$

gde je

$$\omega = 2\pi\nu = 503s^{-1}. \quad (2)$$

Dakle

$$C = \frac{1}{503^2 \cdot 0,4} F = 9,88 \cdot 10^{-6} F = 9,88 \mu F. \quad (3)$$

b) Efektivna jačina struje pri rezonanciji je

$$I_{ef} = \frac{\mathcal{E}}{R} = 0,125 A. \quad (4)$$

Napon na kalem i kondenzatoru pri rezonanciji je isti zbog uslova (3). Dakle

$$U_{ef}^L = U_{ef}^C = I_{ef} Z_L = I_{ef} \omega L = 25,2 V, \quad (5)$$

što je napon veći od napona izvora!

c) Nov kapacitet je

$$C' = \frac{C}{2} = 4,94 \mu F. \quad (6)$$

Fazna razlika je

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C'}}{R} = \arctan \frac{503 \cdot 0,4 - \frac{1}{503 \cdot 4,94 \cdot 10^{-6}}}{80} = -68,3^\circ. \quad (7)$$

Snaga koja se oslobađa u ovom slučaju je

$$P_{ef} = \mathcal{E}_{ef} I_{ef} \cos \varphi \quad (8)$$

pri čemu je efektivna jačina struje

$$I_{ef} = \frac{\mathcal{E}}{Z} \quad (9)$$

Impedanca je

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C'} \right)^2} = 217 \Omega. \quad (10)$$

Sledi jačina struje prema (9) i rezultatu (10)

$$I_{ef} = 0,0461 A. \quad (11)$$

konačno efektivna snaga je

$$P_{ef} = 10 \cdot 0,0461 \cdot \cos(-68,3^\circ) W = 0,17 W. \quad (12)$$

Ekvivalentan izraz za efektivnu snagu je i

$$P_{ef} = R I_{ef}^2 = 0,17 W. \quad (13)$$