

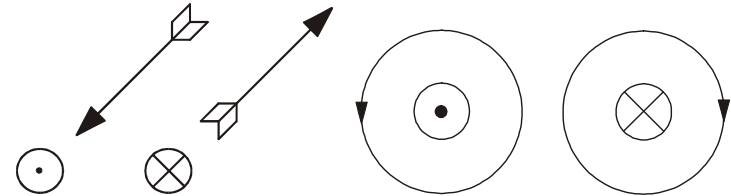
Sadržaj

ELEKTRODINAMIKA.....	84
ELEKTRODINAMIKA - ZADACI	86
ZADACI ZA VJEŽBU	91
RJEŠENJA.....	92

Elektrodinamika

Označavanje smjera struje
kroz poprečno skiciran vodič

Pravilo desne ruke
(za smjer polja oko vodiča)



Osnovne veličine i jedinice magnetskog polja

Veličina	U vakuumu	U materijalima	SI jedinica
Jakost magnetskog polja, H	H	H	amper po metru A/m
Magnetska indukcija (gustoća toka), B	$B = \mu_0 \cdot H$	$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$	tesla $T = \frac{V \cdot s}{m^2}$
Magnetski tok	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$	weber $Wb = T \cdot m^2$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} Tm/A$ – apsolutna magnetska permeabilnost, μ_r – relativna magnetska permeabilnost (bez dimenzije), S – površina kroz koju prolazi magnetska indukcija B , α – kut vektora B i normale na površinu S .

Klasifikacija magnetskih materijala

Tip materijala	Trajni magnetski momenti	Domene	Relativna magnetska permeabilnost	Ponašanje u nehomogenom magnetskom polju	Primjeri
Dijamagnetici	nema	nema	$\mu_r < 1$	izlaze iz područja jačeg polja	bismut, grafit, voda, bakar
Paramagnetici	postoje, ali neuređeni	nema	$\mu_r > 1$	ulaze u područje jačeg polja	kisik, zrak, aluminij
Feromagnetici	postoje, uređeni ^a	postoje	$\mu_r \gg 1$	jako privučeni u područje jačeg polja	željezo, kobalt, nikal

^a kod feromagneta su magnetski momenti domena paralelni

Primjeri vrijednosti magnetske indukcije (u blizini polova)

Mjesto, uređaj	B (T)	Mjesto, uređaj	B (T)
Srce pri otkucaju	10^{-11}	Najjači stalni magnet	oko 2
Prosječno polje zemlje	$4,7 \cdot 10^{-5}$	Supravodički magneti	10
Mali školski magnet	10^{-3}	Najjače trajno polje u laboratoriju	35,5
Mali električni stroj	0,005-0,02	Najjače trenutno polje u laboratoriju	2500
Tipični elektromagnet	0,1	Neke neutronske zvijezde	$7 \cdot 10^8$

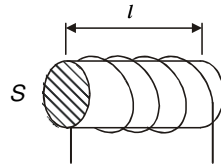
Podjela feromagnetskih materijala

Materijal	Koercitivno polje H_c	Primjena	Primjeri metala i legura
Meki magnetski	< 100 A/m	jezgre namota uređaja sa izmjeničnom strujom i elektromagneta	obično željezo, dinamo – lim, hipernik, mumetal, permaloj, supermaloj
Tvrđi magnetski	> 4000 A/m	stalni magneti, mali električni strojevi, zvučnici, držači	čelik, kuniko, alniko, tikoal, vikalaj, magniko

Induktivitet zavojnice L

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

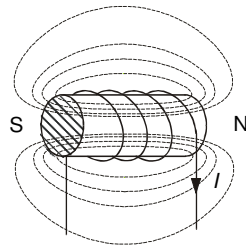
N – broj zavoja zavojnice
 S – površina poprečnog presjeka
 $\mu_0 \cdot \mu_r$ – magnetska svojstva materijala



Magnetsko polje zavojnice:

Energija polja:

$$W = \frac{I^2 \cdot L}{2}$$



Princip rada motora:

Sila F , na vodič koji se nalazi u magnetskom polju magnetske indukcije B i protjecan električnom strujom jakosti I

$$F = B \cdot I \cdot l$$

Princip rada generatora:

Inducirani napon e kada se vodič duljine l giba brzinom v unutar magnetskog polja indukcije B

$$e = B \cdot l \cdot v$$

Elektrodinamika - zadaci

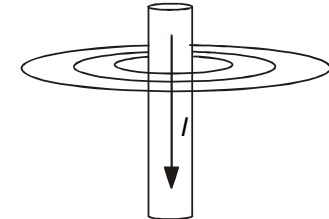
- 6.1. Kolika je jakost magnetskog polja na udaljenosti 1, 2 i 5 cm od vodiča kroz koji teče struja jakosti 100 A ?

$$H = \frac{I}{2r\pi}$$

$$H_1 = \frac{100 \text{ A}}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 3,14159} = 1590 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$H_2 = 795 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$H_3 = 318 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$



Slika 6-1.

- 6.2. Kolika je privlačna sila između dva vodiča duljine 25 cm ako kroz jednog teče struja od 200 A, a kroz drugog od 150 A. Vodiči su paralelni i udaljeni 1 cm.

$$F = B \cdot I \cdot l = B_1 \cdot I_2 \cdot l$$

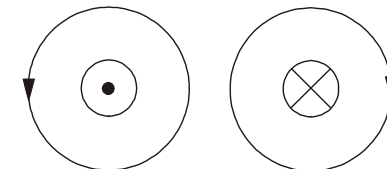
$$B_1 = \mu \cdot H_1 = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I_1}{2r\pi}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}, \mu_r = 1$$

$$F = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2r\pi} \cdot l = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2r\pi} \cdot l = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{r}$$

$$F = 0,15 \text{ N}$$

- 6.3. Kroz dva paralelna vodiča teče struja u međusobno suprotnim smjerovima. Da li se oni privlače ili odbijaju?

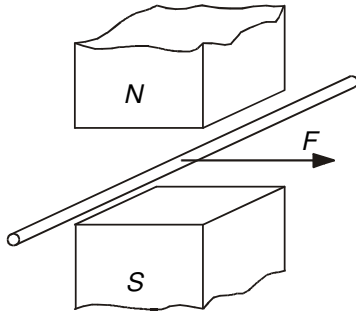


Slika 6-2.

Magnetska polja između vodiča se međusobno zbrajaju. Kako je magnetsko polje u sredini veće nego s lijeve i desne strane ove slike, sila ima smjer koji uzrokuje odbijanje vodiča silom F .

PRIMIJETITE DA JE OVAKAV SLUČAJ PRISUTAN KOD KABELA KOJI NAPAIAJU JEDNOFAZNA TROŠILA (S DVA VODIČA).

- 6.4. Kolika je jakost i smjer struje kroz vodič ako na njega djeluje sila od 1 N u smjeru kao na slici ako je indukcija magneta 0,5 T i obuhvaća 10 cm duljine vodiča.

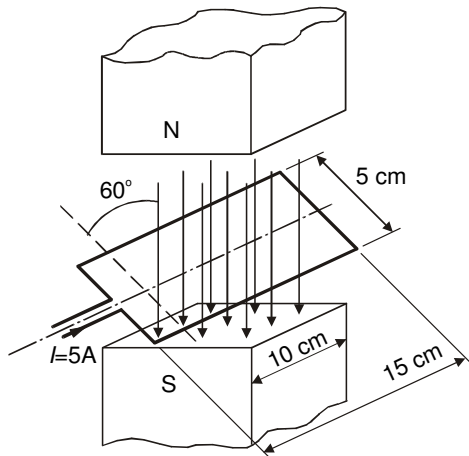


Slika 6-3.

$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$I = \frac{F}{B \cdot l} = \frac{1 \text{ N}}{0,5 \text{ T} \cdot 0,1 \text{ m}} = 20 \text{ A}$$

- 6.5. Žičana petlja prema slici, obuhvaćena je na duljini od 10 cm homogenim magnetnim poljem indukcije 1,2 T. Kroz petlju, koja je oko svoje osi zaokrenuta za 60 stupnjeva u odnosu na smjer magnetskih silnica, teče struja jakosti 5 A. Koliki je moment koji djeluje na petlju i kojeg je smjera? Petlja je kvadratnog oblika dimenzija 5 cm x 15 cm.



Slika 6-4.

$$M = F \cdot d \cdot \cos \alpha = B \cdot I \cdot l \cdot d \cdot \cos \alpha$$

$$M = 15 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

- 6.6. U zavojnici induktiviteta 2,4 H, mijenja se struja brzinom od 12 A/s. Koliki je napon samoindukcije?

$$e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{napon samoindukcije}$$

$$\Phi = \frac{\mu \cdot N \cdot S \cdot I}{l} \quad \text{magnetski tok zavojnice}$$

$$d\Phi = \frac{\mu \cdot N \cdot S}{l} di$$

$$e = N \cdot \frac{\mu \cdot N \cdot S}{l} \cdot \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

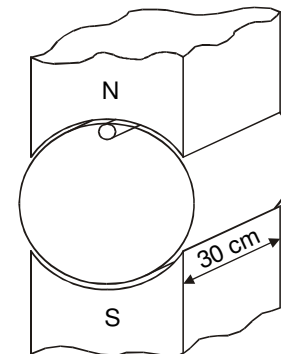
$$e = 2,4 \text{ H} \cdot 12 \text{ A/s} = 28,8 \text{ V}$$

- 6.7. Inducirani napon na krajevima ravnog vodiča, koji se giba homogenim magnetskim poljem je 1,5 V, a gustoća tog homogenog magnetskog polja je 1 T. Kojom se brzinom vodič giba ako je 15 cm njegove duljine zahvaćeno homogenim magnetskim poljem.

$$e = B \cdot l \cdot v$$

$$v = \frac{e}{B \cdot l} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- 6.8. Koliki je napon induciran u vodiču smještenom u magnetskom polju indukcije 1T. Vodič ima duljinu od 30 cm i nalazi se na rotoru promjera 20 cm koji se okreće brzinom od 3000 okretaja u minuti.



Slika 6-5.

$$v = \frac{3000 \cdot d \cdot \pi}{60} = 31,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$U = B \cdot l \cdot v = 9,42 \text{ V}$$

- 6.9. Koliki će biti inducirani napon u vodiču duljine 25 cm koji je prema normali magnetskih silnica nagnut za 30 stupnjeva ako je magnetska indukcija 0,8 T a brzina gibanja vodiča 5 m/s u smjeru navale magnetskih silnica.

$$u = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

$$u = 0,8 \text{ T} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 5 \text{ m/s} \cdot \sin 30$$

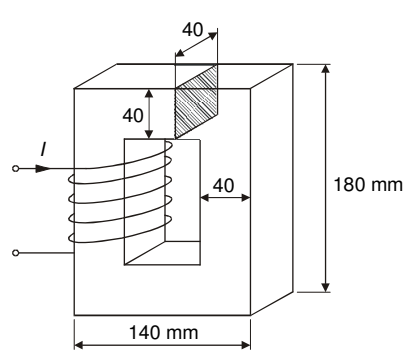
$$u = 0,5 \text{ V}$$

- 6.10. Unutar zavojnice duljine 10 cm potrebna je jakost magnetskog polja od 4000 A/m. Kolika mora biti jakost struje koja teče zavojnicom, ako zavojnice ima 100 zavoja?

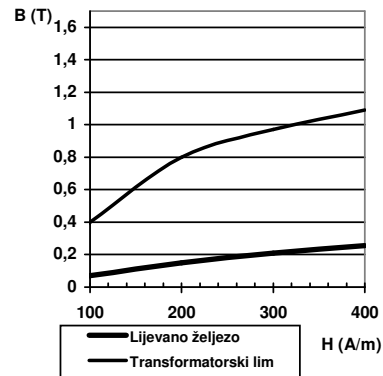
$$H = \frac{I \cdot N}{l} \rightarrow I = \frac{H \cdot l}{N}$$

$$I = \frac{4000 \text{ A/m} \cdot 0,1 \text{ m}}{100} = 4 \text{ A}$$

- 6.11. Zatvoreni homogeni magnetski krug sastavljen je od transformatorskih limova prema slici. Koliko zavoja treba imati zavojnica, ako njome teče struja 0,5 A koja kroz jezgru uzrokuje magnetski tok od $1,6 \cdot 10^{-3}$ Vs.



Slika 6-6.



Slika 6-7.

$$\Phi = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}$$

$$S = (40 \cdot 10^{-3})^2 = 16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

uz $B = \frac{\Phi}{S} = 1 \text{ T}$ iz dijagrama očitavamo $H = 325 \text{ A/m}$

$$H = \frac{I \cdot N}{l} \Rightarrow N = \frac{H \cdot l}{I}$$

$$l = 2(60 + 20 + 20) \text{ mm} + 2(100 + 20 + 20) \text{ mm} = 0,48 \text{ m}$$

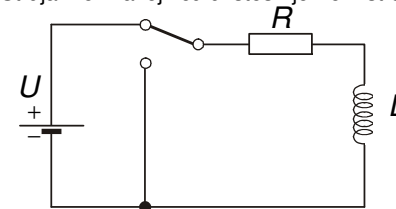
$$N = \frac{325 \text{ A/m} \cdot 0,48 \text{ m}}{0,5 \text{ A}} = 312 \text{ zavoja}$$

- 6.12. Koliki je induktivitet zavojnice od 20 namotaja ako je ukupni magnetski otpor zavojnice $20 \cdot 10^4 \text{ A/Vs}$?

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad L = \mu \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

$$L = \frac{N^2}{\frac{l}{\mu S}} = \frac{N^2}{R_m} = \frac{20^2}{20 \cdot 10^4 \text{ A/Vs}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 2 \text{ mH}$$

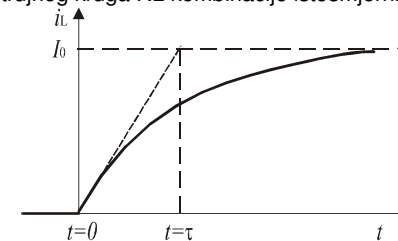
- 6.13. Struja kroz zavojnicu u istosmjernom strujnom krugu



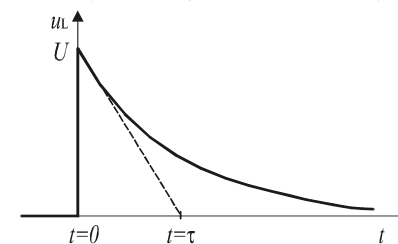
Slika 6-8.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Uključenje strujnog kruga RL kombinacije istosmjernim napajanjem:



$$i_L = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

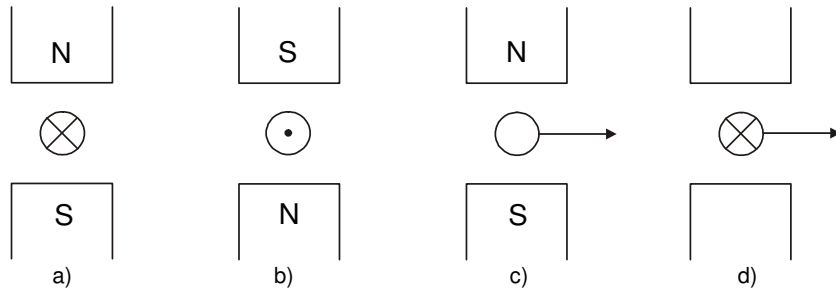


Slika 6-9.

$$u_L = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

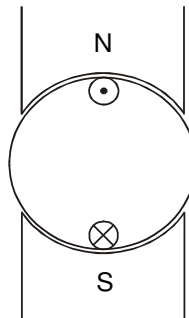
ZADACI ZA VJEŽBU

1. Koliko jaka struja mora teći kroz dva paralelna vodiča koji su dugački 30 m i međusobno udaljeni 25 mm da oni jedan na drugi djeluju silom od 6 N?
2. Kolikom silom privlači vodič duljine $l = 25 \text{ cm}$ kojim teče struja $I_1 = 200 \text{ A}$ drugi vodič sa strujom $I_2 = 150 \text{ A}$, ako su vodiči međusobno udaljeni $a = 1 \text{ cm}$?
3. S kolikom silom F potiskuje magnetsko polje indukcije $B = 0,9 \text{ T}$, 20 cm dugi vodič kojim teče struja $I = 100 \text{ A}$?
4. Pravilom lijeve ruke treba na slici 6-10. pronaći u slučaju a) i b) smjer potiskivanja vodiča; u slučaju c) smjer struje u vodiču; u slučaju d) polove magneta:



Slika 6-10.

5. Treba ustanoviti i označiti smjer okretanja motora na slici 6-11.



Slika 6-11.

Rješenja

1. $I = 158 \text{ A}$
2. $F = 0,15 \text{ HA}^2/\text{m}$
3. $F = 18 \text{ N}$
4. a – potisak ulijevo; b – potisak ulijevo; c – struja ima smjer prema nama; d – dolje je sjeverni pol.
5. Smjer vrtnje istovjetan je sa smjerom potiska vodiča. Pravilom lijeve ruke utvrdit će se da je gornji vodič potiskivan udesno, a donji vodič ulijevo. Sile koje djeluju na vodiče tvore par sila koji zakreće rotor.