

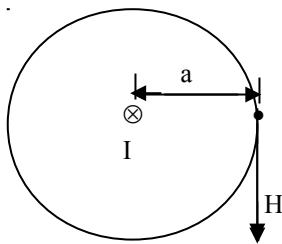
MAGNETIZAM

1. JAČINA MAGNETNOG POLJA

1.1 RAVAN PROVODNIK

a) JAČINA MAGNETNOG

Jačina magnetnog polja kod ravnog provodnika, velike dužine (beskonačne) određuje se po Bio—Savarovom zakonu (Sl.1.)



Sl. 1.

vjcin: ZBIRKA:

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{I}}{2a\pi} \left[\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{m}} \right]$$

gde je :

H.....jačina magnetnog polja (A/m)

I.....jačina struje (A)

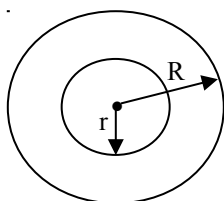
2aπ...srednja dužina magnetne linije koja prolazi kroz datu tačku (m)

a.....rastojanje tačke od ravnog provodnika (m)

Bio – Savarov zakon se može primeniti kod onih ravnih provodnika kod kojih je dužina mnogo veća od udaljenosti tačke u kojoj se traži jačina magnetnog polja. Lako je iz navedenog obrasca ustanoviti da je: $I = 2\pi rH$, pa je proizvod jačine magnetnog polja i dužine magnetne linije konstantan, tj.

$2\pi rH = \text{konst. (H} \cdot \text{a} = \text{konst.)}$ uz stalnu struju u ravnom provodniku.

b) JAČINA MAGNETNOG POLJA U UNUTRAŠNOSTI PROVODNIKA



Sl.2.

Ako u površini pravolinijskog provodnika $R^2\pi$ zamislimo deo površine $r^2\pi$ (Sl. 2.), tada će, pod uslovom iste gustine struje, biti :

$$J = \frac{I}{R^2\pi} = \frac{I'}{r^2\pi}$$

gde je: I' ...deo ukupne struje obuhvaćen površinom $r^2\pi$
 J Gustina struje (A/m^2)

Iz navedenih relacija sledi: $\frac{I'}{I} = \frac{r^2}{R^2}$; odnosno $I' = \frac{r^2}{R^2} I = 2\pi rH$

sledi konačan obrazac za određivanje jačine magnetnog polja u unutrašnjosti provodnika :

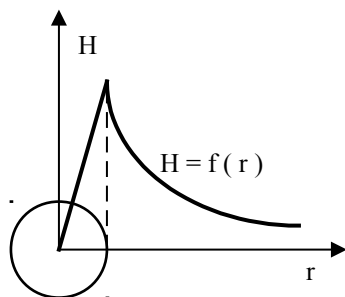
$$H = \frac{Ir}{2R^2\pi} \left[\frac{A}{m} \right] \quad ; \text{ gde je:}$$

r udaljenost bilo koje tačke od centra provodnika u unutrašnjosti provodnika.
 Rpoluprečnik provodnika

$H = f(r)$

r

Sl.3.



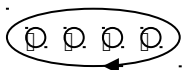
Sl.3.

Analizom navedenog izraza može se zaključiti da je jačina magnetnog polja u samom centru provodnika jednaka nuli, i da idući ka samoj površini jačina magnetnog polja linearno raste (Sl. 3.). Dakle, polje je najače na samoj površini provodnika, dok sa udaljavanjem od same površine ka vani polje opada prema nuli po hiperboli.

1.2. JAČINA MAGNETNOG POLJA NAVOJA

a) Prstenast navoj (TORUS)

Ako u neposrednoj blizini imamo nekoliko ravnih provodnika kroz koje protiče električna struja, svaki od tih provodnika stvara svoje magnetno polje. Ako su magnetne linije svih provodnika istovremeno obuhvatile sve provodnike, tada će rezultantno polje biti jednako njihovom pojedinačnom zbiru (za iste smerove struja). Sila koja stvara magnetno polje naziva se MAGNETO-MOTORNIA sila (magnetopobudna sila ili magnetni napon). Ova sila je analogna elektromotornoj sili (naponu) u električnim kolima.



Sl. 4.

Kako magnetne linije kod ravnog provodnika stvara isključivo električna struja, tada se za magnetomotornu silu (magnetopobudnu) uzima struja tog provodnika, pa je:

$$M = I, \text{ a samim tim jedinica je amper (A).}$$

Ako je to polje rezultat više pravolinijskih provodnika (Sl.4) tada je magnetomotorna sila jednaka :

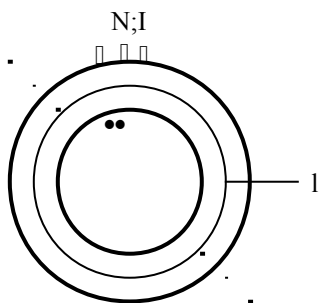
$$M = \Sigma I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \text{ (isti smerovi struja) .}$$

Za zatvorene magnetne linije koje obuhvataju istu struju više puta , kao što je slučaj kod navoja, Vredi izraz za magnetomotornu (mms) silu:

$$M = U_{\mu} = I N \text{ [A/m]}$$

gde je N broj navojaka

Karakterističan primer zatvorene magnetne linije koja obuhvata istu struju više puta je prstenast navoj (torus), (prikazan na Sl. 5.)



Sl.5.

Jačinu magnetnog polja navoja (samim tim i torusa) možemo porediti sa jačinom električnog polja kod kondenzatora ($E = U / d$), te sledi:

$$H = \frac{M}{l} \text{ [A/m]}$$

gde je : H... jačina magnetnog polja torusa (A/m)

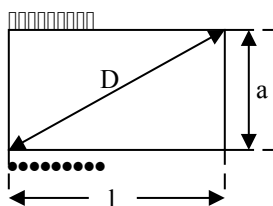
M = I N...magnetomotorna sila (magnetni napon)

l....srednja dužina magnetnih linija (m)

Konačan obrazac za jačinu magnetnog polja torusa je:

$$H = \frac{IN}{l} \text{ [A/m]}$$

b) Cevast navoj (SOLENOID)



Sl.6.

Ako cevast navoj zamislimo kao deo prstenastog navoja veoma velikog prečnika (beskonačan) tada, će taj deo navoja stvarati proporcionalnu jačinu magnetnog polja u odnosu na ceo torus, tj.

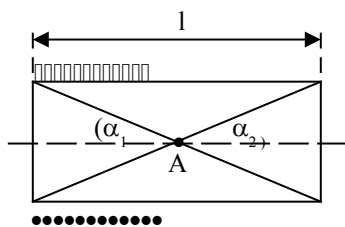
$$H = \frac{IN}{l} \text{ [A/m]}$$

gde je: l...srednja dužina magnetnih linija, a ona je ujedno jednaka dužini solenoida ako nema magnetnih rasipanja i ako je ta dužina mnogo veća od prečnika navoja (a). U protivnom ako dužina navoja nije mnogo

Sl. 6.

veća od prečnika ($D < 10a$), tada se za srednju dužinu magnetnih linija uzima dijagonala solenoida, pa je u tom slučaju jačina magnetnog polja solenoida jednaka :

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{IN}}{\mathbf{D}} = \frac{\mathbf{IN}}{\sqrt{a^2 + l^2}} \text{ [A/m]}$$



Sl. 7.

Kod tačnijih proračuna jačina magnetnog polja za bilo koju tačku u solenoidu (Sl. 7.), npr. za tačku A iznosi:

$$H_A = \frac{IN}{l} \cdot \frac{1}{2} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

gde je: - H_A jačina magnetnog polja u tački A solenoida
- α_1 i α_2 ...uglovi kojeg čine krajnji navojci i središnja osa navojka u tački A

Navedeni izraz (Sl. 7.) može se matematički dokazati (viša matematika). Ako se traži jačina magnetnog polja u samom centru solenoida, tada je $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, pa je:

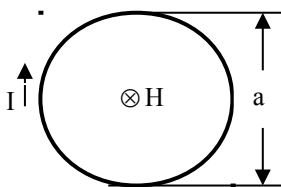
$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{IN}}{\mathbf{l}} \cos \alpha$$

Za solenoid kod kojeg je dužina l mnogo veća od prečnika a (a zanemarljivo u odnosu na l) ugao $\alpha \cong 0^\circ$, pa predhodni izraz prelazi u oblik :

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{IN}}{\mathbf{l}}$$

, što potvrđuje tačnost predhodnog izraza.

c) Navojak



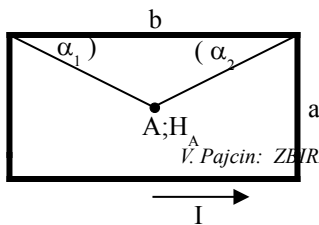
Sl. 8.

Ako solenoidu skidamo navojak po navojak, na kraju ćemo doći do jednog navojka , Sl. 8, kod kojeg se za srednju dužinu navojka uzima njegova dijagonala pa je :

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{a}} \left[\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{m}} \right]$$

, jer je $N = 1$ a $l = a$.

Za navojak pravougaonog oblika (četiri ravna provodnika), dužine stranica navojka nisu veoma velike u odnosu na udaljenost centra provodnika od stranica (a i b). Kod ovakvog navojka, a samim tim i kod ravnih provodnika manjih dužina. jačina magnetnog polja u tački A (Sl.9.) za stranicu b iznosi :



Sl.9.

$$H_A = \frac{I}{2a\pi} \cdot \frac{1}{2} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) , \text{ za } \alpha_1 = \alpha_2 \Rightarrow$$

$$H_A = \frac{I}{2a\pi} \cos \alpha$$

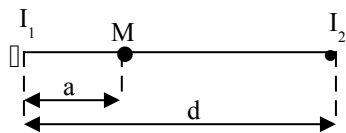
gde je: α ugao između provodnika i pravca koji spaja datu tačku (A).

Ako je provodnik veoma dug, tada ugao $\alpha \approx 0^\circ$, a samim tim dati izraz je jednak : $H_A = I / 2a\pi$, što potvrđuje tačnost predhodnog izraza (Bio Savarov zakon). To dalje znači, da kod pravougaonog navojka jačinu magnetnog polja izračunamo za četiri ravna provodnika manjih dužina i to saberemo. Ako je to kvadrat jednostavno izračunamo jačinu polja za jednu stranicu i množimo sa 4. Kod pravougaonika se izračuna jačina polja za stranicu a i b pa to saberemo. Taj zbir, na kraju, množimo sa 2

ZADACI:

1.1 Izračunati jačinu magnetnog polja na rastojanjima $a = 1, 2$ i 5 cm od dugog pravolinijsko provodnika kojim teče struja jačine $I = 10$ A.

1.2.



Sl.1.2.

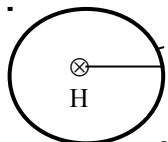
Odrediti intenzitet i smer magnetnog polja u tački M koja se nalazi između dva paralelna vrlo duga pravolinijska provodnika (Sl. 1.2.) kroz koje protiču struje I_1 i I_2 . Rastojanje između provodnika je d , a udaljenost tačke M od prvog provodnika je a .

Brojni podaci: $I_1 = 10$ A, $I_2 = 20$ A, $d = 50$ cm i $a = 5$ cm.

□..... simbol za ulaz (u pravcu pogleda)

•..... simbol izlaza (prema nama).

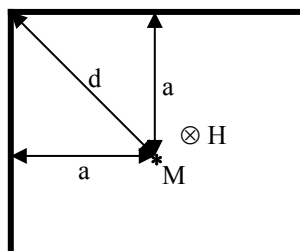
1.3.



Sl. 1.3.

Kolika jačina struje protiče kroz kružni provodnik, ako je jačina polja u centru kruga poluprečnika $a = 10$ cm, $H = 20$ A/m. Odrediti smer struje, ako je pravac polja, kao na slici 1.3, usmeren u pravcu pogleda.

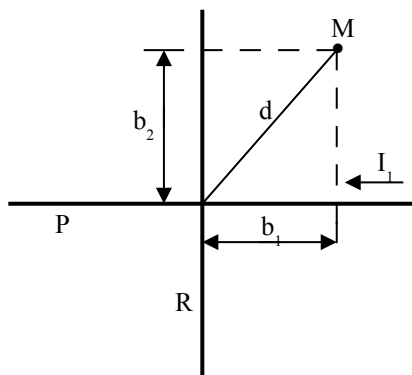
1.4.



Sl.1.4.

Dat je vrlo dug provodnik sa strujom I , savijen pod pravim uglom. Jačina magnetnog polja u tački M , čiji je položaj u odnosu na provodnik dat na Sl. 1.4, iznosi $H = 600$ A/m. Smer polja je dat na slici. Ako je $d = 14,1$ cm, naći jačinu i smer struje u provodniku.

1.5.



Sl.1.5..

Dva izolovana provodnika su ukrštena pod pravim uglom (Sl. 1.5.). Rezultantno polje u tački M iznosi $H = 200$ A/m. Jačina struje u provodniku P je: $I_1 = 50$ A, a tačka M je udaljena od provodnika R $b_1 = 6$ cm, a od provodnika P $b_2 = 8$ cm ($d = 10$ cm). Izračunati struju I_2 koja protiče kroz provodnik R , i odrediti njen smer ako je :

- H_1 i H_2 u tački M istog smera
- H_1 i H_2 u tački M suprotnog smera.

1.6. Izračunati broj navojaka solenoida dužine $l = 15$ cm, koji stvara polje jačine $H = 3\ 000$ A/m pri struji jačine $I = 0,5$ A.

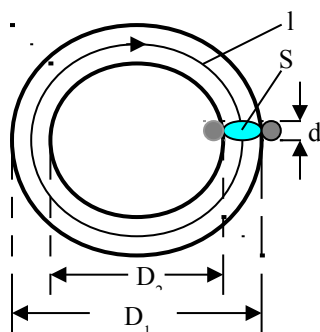
1.7. Kolika treba da bude jačina struje u kalemu dužine $l = 1$ m, sa $N = 40$ navojaka, da bi u njemu jačina magnetnog polja iznosila $H = 2$ A/m ?

1.8. Koliko navojaka treba da ima navoj da bi sa strujom od $I = 3$ A stvarao magnetomotornu silu od $M = 6000$ A ?

1.9. Kolika je jačina magnetnog polja H u vazдушnom međuprostoru nekog magneta, ako je dužina magnetnih linija koje prolaze kroz vazduh $l = 8$ mm, i ako između polova vlada magnetni napon $U_\mu = 400$ A?

- 1.10. Kolika je magnetomotorna sila potrebna da se u homogenom polju dužine 15 cm ima jačina magnetnog polja od $H = 2000 \text{ A/m}$?
- 1.11. Kolika je dužina homogenog magnetnog polja ako magnetomotorna od $M = 800 \text{ A}$ stvara u njemu jačinu magnetnog polja od $H = 2500 \text{ A/m}$?
- 1.12. Magnetomotorna sila od $M = 235 \text{ A}$ stvara jačinu magnetnog polja $H = 500 \text{ A/m}$ u prstenastom navoju. Koliki je srednji prečnik prstena?
- 1.13. U sredini cevastog navoja sa $N = 100$ navojaka, dugog $l = 12 \text{ cm}$, treba da postoji jačina magnetnog polja $H = 5000 \text{ A/m}$. Kolika je potrebna struja?
- 1.14. Solenoid prečnika $d = 20 \text{ mm}$ i dužine $l = 12 \text{ cm}$, ima gust navoj (jedan do drugog) od bakarne žice prečnika $d_1 = 0,4 \text{ mm}$ (sa izolacijom $0,6 \text{ mm}$). Kolika je jačina magnetnog polja u sredini solenoida kada se navoj priključi na napon od $U = 5,4 \text{ V}$?

1.15.



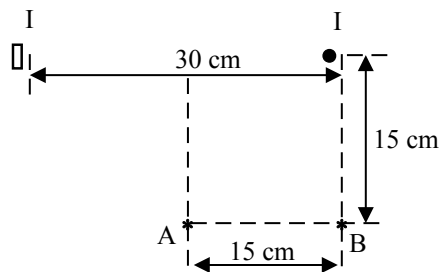
Sl.1.15

Prstenasti navoj sa jezgrom od kartona Sl. 1.15, čije su dimenzije $D_1 = 60 \text{ mm}$ i $D_2 = 50 \text{ mm}$ ima gustomotomani navoj (jedan uz drugi) sa $N = 300$ navojaka od žice prečnika $d = 0,8 \text{ mm}$ (sa izolacijom) kroz koji protiče struja od $I = 1,5 \text{ A}$.

Izračunati jačinu magnetnog polja, i obeležiti smer struje I .

- 1.16. * Izračunati jačinu magnetnog polja H kojeg stvara veoma dug pravolinijski provodnik, kružnog preseka prečnika 35 mm , kroz koji protiče struja od 350 A , u tačkama: A, B, C i D koje su udaljene od središta provodnika: $r_A = 5 \text{ mm}$, $r_B = 17,5 \text{ mm}$, $r_C = 30 \text{ mm}$ i $r_D = 70 \text{ mm}$. Na osnovu dobijenih podataka nacrtati dijagram zavisnosti H od r i dati određeni komentar.

1.17.



Sl.1.17.

Naći rezultatno magnetno polje analitički (računski) i grafički (razmera $1 \text{ cm} = 1 \text{ A/m}$) u tačkama A i B, prema Sl. 1.17, ako kroz provodnike protiče struja od 15 A u suprotnim smerovima.