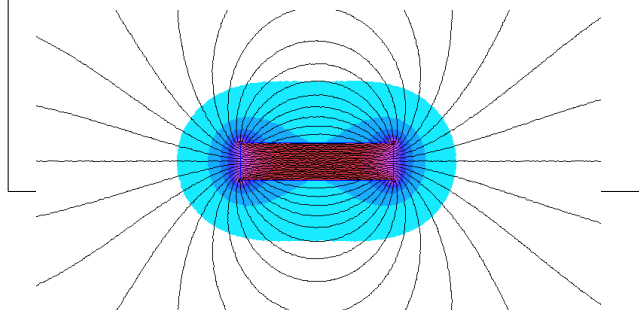


ELEKTROMAGNETIZAM

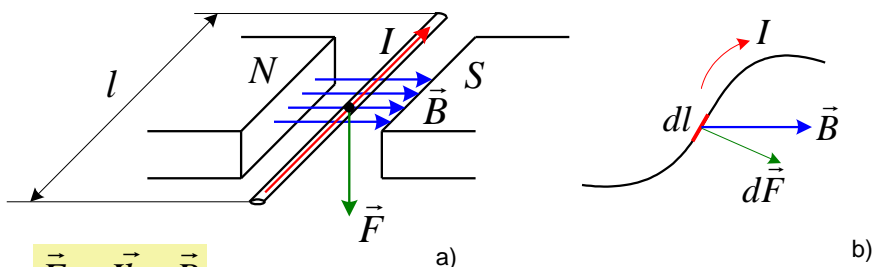
Elektromagnetizam je oblast elektrotehnike koja proučava električne i magnetne pojave u prirodi. **Magnetizam** je pojava kojom se opisuje privlačna ili odbojna sila između materijala. **Magnetno polje** okružuje provodnik sa strujom i njegov smer zavisi od smera struje (pravilo desne zavojnice).

MAGNETNA INDUKCIJA

Vektor magnetne indukcije je jedna od najvažnijih veličina kojom se opisuje magnetno polje. Magnetno polje može biti: **homogeno** i **nehomogeno**. **Magnetne linije** ili **linije magnetne indukcije** su zamišljene linije kojima se vizuelno prikazuje magnetno polje, i koje imaju osobinu da im se tangenta u svakoj tački poklapa sa \vec{B} . Jedinica magnetne indukcije – T (tesla).



ELEKTROMAGNETNA SILA



$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

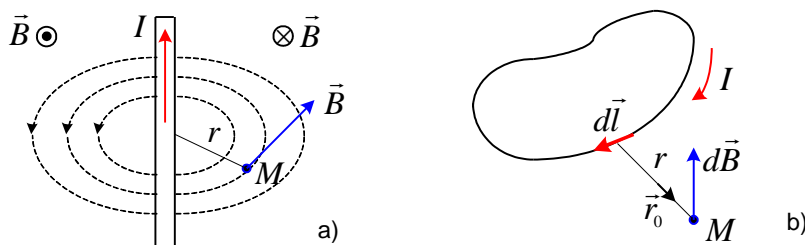
Intenzitet vektora \vec{F} je $F = IlB \sin(\vec{l}, \vec{B})$

Pravac je normalan na ravan koju obrazuju vektori \vec{l} i \vec{B}

Smer se određuje po pravilu desne zavoynice, prevodeći \vec{l} u \vec{B} najkraćim putem

$$F = IlB \quad \text{- sl. a)} \quad \vec{F} = \int d\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B} \quad \text{- za krivolinijski provodnik, sl. b)}$$

BIO-SAVAROV ZAKON



Intenzitet magnetne indukcije u nekoj tački polja oko dugog pravolinijskog provodnika srazmeran je jaćini struje, a obrnuto srazmeran rastojanju od provodnika. **Pravac** vektora magnetne indukcije se poklapa sa tangentom na magnetnu liniju u toj taćki, a **smer** se određuje po pravilu desne zavoynice u odnosu na smer struje u provodniku, sl. a).

$$B = k \frac{I}{r}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2} \quad \text{- Laplasov zakon, sl. b)}$$

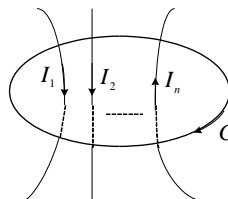
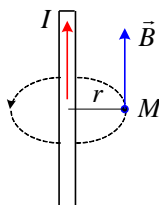
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \quad \text{- magnetna permeabilnost vakuum}$$

AMPEROV ZAKON

$\oint_C \vec{B} d\vec{l}$ - cirkulacija vektora magnetne indukcije duž zatvorene konture

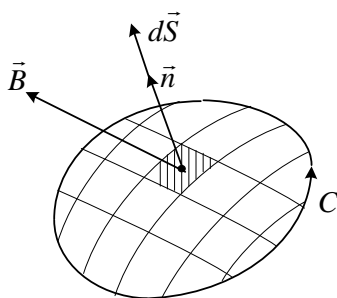
$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = B \cdot 2r\pi = \frac{\mu_0 I}{2r\pi} 2r\pi = \mu_0 I$$

$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I$$



Cirkulacija vektora magnetne indukcije duž proizvoljne zatvorene konture C u vakuumu jednaka je proizvodu magnetne permeabilnosti vakuuma i algebarskog zbira struja obuhvaćenih tom konturom.

MAGNETNI FLUKS



$$d\vec{S} = dS \cdot \vec{n} \quad \text{PDZ u odnosu na smer } C$$

Elementarni magnetni fluks:

$$d\phi = \vec{B} d\vec{S} = B dS \cos(\vec{B}, d\vec{S})$$

Magnetni fluks kroz površinu S:

$$\phi = \int_S \vec{B} d\vec{S} = B dS \cos(\vec{B}, d\vec{S})$$

Kada je površina ravna i polje homogeno:

$$\phi = \vec{B} \vec{S} = BS \cos(\vec{B}, \vec{S}) = BS$$

$$\phi_u = B_u S_u = \text{veber} = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}$$

Zakon o konzervaciji magnetnog fluksa:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Fluks vektora magnetne indukcije kroz ma koju zatvorenu površinu jednak je nuli, tj. polje \vec{B} vektora je bezizvorno.

Magnetno polje u materijalnoj sredini

Namagnećenost materije se objašnjava postojanjem **magnetnih momenata** u atomima i molekulima materije. Elektroni u atomima se kreću po orbiti i oko sopstvene ose (spin). Kretanje po orbiti je ekvivalentno elementarnoj strujnoj konturi, kojoj odgovara magnetni moment $|\vec{m}| = IS$.

Deo materije se može zameniti velikim brojem elementarnih strujnih kontura koje se nalaze u vakuumu, tzv. **Amperovim mikro strujama**.

Namagnećenost materije se karakteriše vektorom **magnetizacije**:

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}}{\Delta V} \quad \begin{array}{l} \text{- vektorski zbir svih magnetnih momenata svih Amperovih struja} \\ \text{- element zapremine} \end{array}$$

Kada se materija unese u strano magnetno polje, usled elektromagnetnih sila elementarne strujne konture nastoje da se postave tako da im se normale poklope sa smerom spoljašnjem magnetnog polja.

Vektor jačine magnetnog polja: Uopšten Amperov zakon:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad H_u = \frac{A}{m}$$

$$\oint_c \vec{H} d\vec{l} = \sum I$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

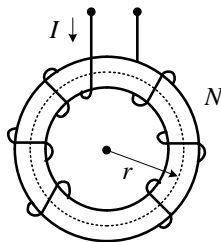
$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{- relativna permeabilnost materijala}$$

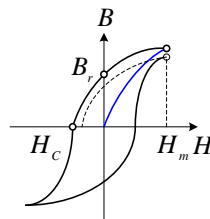
Prema vrednosti relativne permeabilnosti materijali se dele na:

1. dijamagnetici $\mu_r < 1 \quad B = \mu H$
2. paramagnetici $\mu_r > 1 \quad B = \mu H$
3. feromagnetici $\mu_r \gg 1$

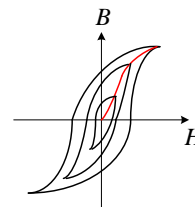
Feromagnetici imaju jako izražene magnetne osobine, zavisnost između magnetne indukcije i jačine polja nije linearna (gvožđe, nikal, kobalt...).



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



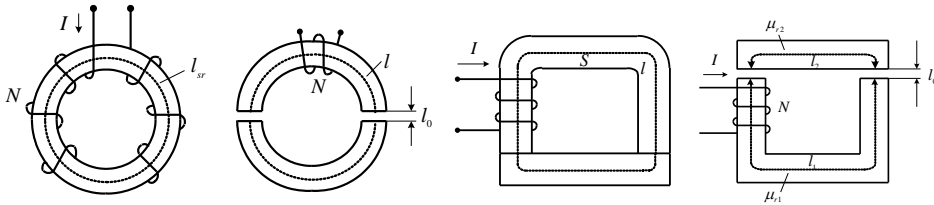
Kriva magnećenja ili ciklus histereza



— prvobitna kriva magnećenja

— osnovna kriva magnećenja

MAGNETNO KOLO



Magnetno kolo je put po kome se zatvara magnetni fluks i koji može biti sačinjen od različitih tela i sredina.

Magnetno kolo može biti 1. **linearno** i 2. **nelinearno**,

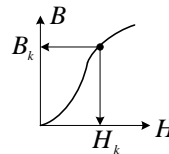
1. Sačinjeno je od linearnih materijala.

2. Sačinjeno je od nelinearnih materijala.

$$\phi = \frac{M}{R_m} = \frac{NI}{R_m} \quad \text{Kap-Hopkinsonov zakon}$$

M – magnetopobudna sila

R_m – magnetna otpornost kola



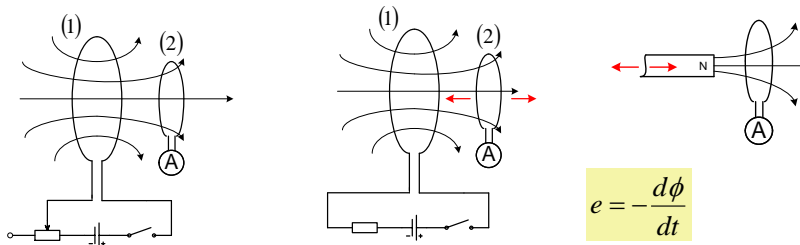
$$B_k = \frac{\phi}{S_k} \rightarrow H_k$$

$$\oint_c \vec{H} d\vec{l} = NI$$

FARADEJEV ZAKON

Jedna od najvažnijih osobina vremenski promenljivih polja je **elektromagnetna indukcija**.

Do pojave elektromagnetne indukcije dolazi u sledećim slučajevima:



$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

Indukovana elektromotorna sila u zatvorenoj konturi srazmerna je izvodu fluksa po vremenu, tj. brzini promene fluksa kroz tu konturu.

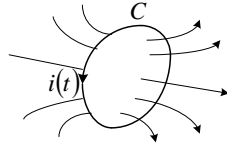
Smer indukovanе ems određuje se po pravilu desne zavoynice u odnosu na smer obilaženja po konturi ili prema **Lencovom zakonu**: indukovana ems ima takav smer u kolu da svojim dejstvom teži da spreči uzrok svog nastajanja.

Ako je provodnik prav i kreće se konstantnom brzinom kroz homogeno polje:

$$e = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l}$$

SAMOINDUKCIJA I MEĐUSOBNA INDUKCIJA

Samoindukcija



$$e_s = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = Li \quad L = \frac{\phi}{i}$$

$$e_s = -L \frac{di}{dt}$$

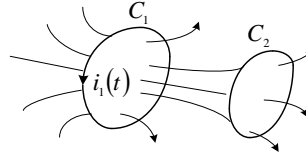
Induktivnost:

$L_u = \text{henri} = \text{H}$



L - koef. samoindukcije

Međusobna indukcija



$$\phi_{12} = L_{12}i_1 \quad e_{m12} = -\frac{d\phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{di_1}{dt}$$

$$\phi_{21} = L_{21}i_2 \quad e_{m21} = -\frac{d\phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{di_2}{dt}$$

$$L_{12} = L_{21} = \frac{\phi_{12}}{i_1} = \frac{\phi_{21}}{i_2}$$

L_{12}, L_{21} - koef. međusobne indukcije

Energija i sile u magnetnom polju

Energija kondenzatora je

$$W_m = \frac{1}{2} \mu H^2 V = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} V = \frac{1}{2} BHV$$

Gustina energije magnetnog polja je

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} = \frac{1}{2} BH$$

Privlačna sila elektromagneta je

$$F = \frac{B^2 S}{\mu_0}$$

TEST PITANJA

1. Napisati izraz za elektromagnetnu silu na pravolinijski provodnik.
2. Formulisati Bio-Savarov zakon.
3. Formulisati Amperov zakon.
4. Čemu je jednak magnetni fluks?
5. Čemu je jednak vektor jačine magnetnog polja?
6. Uopšten Amperov zakon.
7. Formulsati Faradejev zakon.
8. Čemu je jednak koeficijent samoindukcije?
9. Čemu je jednak koeficijent međusobne indukcije?
10. Napisati izraze za energiju magnetnog polja.
11. Čemu je jednaka privlačna sila elektromagneta?

Napomena: za UI (usmeni ispit) svaki naslov na početku slajda je pitanje (11).