

NAVOR NA (TOKO)VODNIK V MAGNETNEM POLJU

---Vsebina poglavja: Navor kot vektorski produkt ročice in sile, magnetni moment, navor na magnetni moment, d'Arsonvalov amperimeter/galvanometer.

Če na tokovodnik v magnetnem polju deluje sila, potem v primeru vpetja z ročico dolžine r deluje na vodnik navor*

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (6.1)$$

Velikost navora je torej $T = rF \sin \theta$, kjer je θ kot med smerjo vektorja ročice in sile. Smer vrtenja je pravokotna na ravnino, ki jo določata vektorja ročice in sile.

SLIKA: Na tokovodnik v magnetnem polju deluje sila. Navor deluje v smeri vektorskega produkta med silo in ročico.

Primer: Vodnik v obliki zanke (tokovna zanka) s tokom 10 A dolžine 10 cm in stranice 5 cm vpet na zgornjem vodniku kot kaže slika. Prečno na zanko, pod kotom 30° na normalo na zanko je homogeno polje 0,1 T. Kolikšen je navor na zanko?

SLIKA: Viseča zanka vpeta na zgornji stranici.

* Včasih se za navor uporablja tudi simbol M . Za pravilno smer navora je potrebno zavrteti vektor \mathbf{r} v \mathbf{F} in ne obratno.

$$\vec{r} = -\vec{e}_y r = (0, -r, 0)$$

$$\vec{F} = (F \sin \alpha, -F \cos \alpha, 0), \text{ kjer je } F = IlB.$$

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ 0 & -r & 0 \\ F \sin \alpha & -F \cos \alpha & 0 \end{vmatrix} = \vec{e}_z rF \sin \alpha$$

ali direktno z izračunom amplitude navora: $T = rF \sin \alpha = 2,5 \text{ mNm}$.

Primer: Kolikšen tok bi moral teči skozi tokovno zanko na sliki, če želimo, da se zanka postavi pod kotom 45° na osnovno lego, ko zanka visi vpeta na zgornjo stranico. $L=10 \text{ cm}$, $R=4 \text{ cm}$, $B=50 \text{ mT}$. Pri izračunu poenostavimo navor na zanko zaradi sile gravitacije tako, da upoštevamo le silo na spodnjo stranico z maso 10 g . (Magnetno polje je usmerjeno v smeri gravitacije)

$$\tan \alpha = \frac{F_B}{mg} = 1, \quad IlB = mg \quad \Rightarrow \quad I = \frac{mg}{lB} = \frac{10^{-2} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{0,1 \text{ m} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ T}} = 19,6 \text{ A}.$$

SLIKA: Slika zanke zamaknjene za kot 45° .

Navor na zanko je osnovni princip delovanja vseh vrtljivih delov pri izkoriščanju pojava magnetnega polja kot npr. prikazovalniki z vrtljivimi tuljavicami ali motorji.

Navor na tokovno zanko v magnetnem polju.

Običajno nas zanima navor na zanko v magnetnem polju. Vzemimo pravokotno zanko dolžine l in širine d , ki ima v sredini vpeto na os, kot kaže slika. Navor na tako zanko v homogenem polju, ki je za kot θ zamaknjeno od normale na površino zanke dobimo z upoštevanjem sile na stranico dolžine l . Poleg sile, ki deluje med vodniki lastne zanke (ki ne povzroča rotacijo

zanke), delujeta v zunanjem magnetnem polju na stranici zanke sili $\vec{F}_{B,l}$ na levo in $\vec{F}_{B,r}$ na desno stranico. Če označimo z \vec{d} vektor, od levega do desnega vodnika, velja

$$\vec{T} = \frac{\vec{d}}{2} \times \vec{F}_{B,d} + \left(-\frac{\vec{d}}{2} \right) \times \vec{F}_{B,l}.$$

Če je zanka v homogenem polju, velja $\vec{F}_{B,l} = -\vec{F}_{B,r}$, od koder sledi

$$\vec{T} = \frac{\vec{d}}{2} \times \vec{F}_{B,d} + \left(-\frac{\vec{d}}{2} \right) \times (-\vec{F}_{B,r}) = \vec{d} \times \vec{F}_{B,d}.$$

Z upoštevanjem, da je $\vec{F}_{B,d} = I\vec{l} \times \vec{B}$ dobimo

$\vec{T} = \vec{d} \times (I\vec{l} \times \vec{B}) = I(\vec{d} \times \vec{l}) \times \vec{B}$. Vektorski produkt $\vec{d} \times \vec{l}$ je enak površini zanke, smer pa ima pravokotno na površino, v smeri polja, ki ga povzroča tok zanke v sredini zanke. Torej je $\vec{d} \times \vec{l} = \vec{e}_n dl = \vec{e}_n A$. Z uvrstitvijo v enačbo dobimo končen izraz

$$\vec{T} = \vec{e}_n IA \times \vec{B} \tag{6.2}$$

SLIKA: Navor na pravokotno zanko v homogenem magnetnem polju. Prikaz sil na stranice zanke, smer polja in kota med vektorjem ročice in sile.

Magnetni dipolni moment.

Ugotovimo lahko, da bi enačbo (6.2) lahko zapisali tudi v splošni obliki $\vec{T} = I\vec{A} \times \vec{B}$, kjer je $\vec{A} = \vec{e}_n A = \vec{e}_n dl$ vektor, katerega absolutna vrednost je enaka površini zanke, smer pa je pravokotna na površino zanke – smer kamor kaže polje, ki ga povzroča tok zanke v središču zanke. Produkt toka in površine zanke ima poseben pomen v magnetiki (elektrotehniki) in ga imenujemo *magnetni (dipolni) moment*.

$$\vec{m} = \vec{e}_n IA, \tag{6.3}$$

To je osnovni element v magnetiki, tako, kot je električni dipolni moment osnovni element v elektrostatiki.

SLIKA: Magnetni dipolni moment si predstavljamo v obliki zankice s tokom I . Njegova velikost je enaka produktu površine zanke in toka zanke. Smer pa je pravokotna na površino zanke.

Z upoštevanjem definicije za magnetni moment lahko enačbo (6.2) za navor na zanko zapišemo tudi z magnetnim momentom kot:

$$\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} \quad (6.4)$$

Navor deluje na tokovno zanko v polju tako, da jo zasuka pravokotno na smer polja, oziroma tako, da bo smer magnetnega momenta enaka smeri polja. Hkrati lahko ugotovimo, da se zanka v magnetnem polju obrne tako, da je pretok magnetnega polja skozi zanko največji.

SLIKA: a) Zanka pravokotna na smer zunanjskega polja – navor je enak nič in b) zanka položena v smeri zunanjskega polja – navor je maksimalen in enak mB , c) zanka z magnetnim momentom v nasprotni smeri polja – navor je nič, labilna lega.

Magnetni dipolni moment je pomemben element magnetike, saj z njim na primer razložimo magnetno polje v snovi, kar bomo tudi v naslednjih poglavjih pokazali.

Primer: Določite torzijsko konstanto polžaste vzmeti galvanometra z vrtljivo tuljavico in trajnim magnetom tako, da bo odklon kazalca pri toku $100 \mu\text{A}$ enak 28° . Tuljavica z 250 ovoji je dolga 2,1 cm in široka 2,1 cm in se nahaja v homogenem polju 0,23 T.

Izračun: Tuljavica se nahaja v enako velikem polju neodvisno od kota φ , kar pomeni, da bo navor neodvisen od kota φ ter linearno odvisen od toka I . Navor lahko povečamo z večjim številom ovojev tuljave.

$$M_{\text{vzmeti}} = M_{\text{tuljave}} \Rightarrow k\varphi = NIAB$$

SLIKA: Navor na zanko v homogenem magnetnem polju.

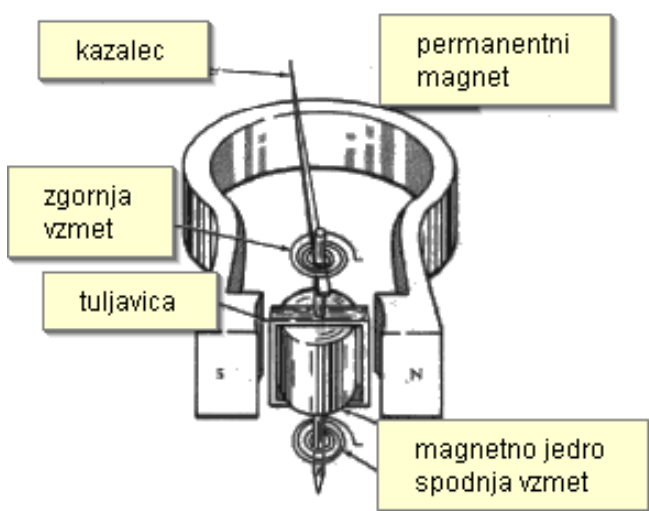
Povzetek:

1. Navor na tokovno zanko v magnetnem polju določa vektorski produkt ročice(e) in sil(e): $\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$. Po velikost je enak $T = rF \sin \theta$, kjer je θ kot med smerjo vektorja ročice in sile.
2. magnetni dipolni moment definiramo kot produkt toka in površine zanke s smerjo, ki je pravokotna na površino zanke in usmerjena enako kot polje, ki ga povzroča tok zanke v središču zanke. Velja: $\vec{m} = I\vec{A} = \vec{e}_n IA$.
3. Navor na zanko lahko izrazimo z magnetnim dipolnim momentom in je enak $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$.
4. Tokovna zanka se v magnetnem polju postavi (zarotira) pravokotno na smer polja oziroma tako, da je smer magnetnega dipolnega momenta enaka smeri polja oziroma tako, da je fluks skozi zanko največji.

Naloge:
izpit, 4. februar 2005

D'Arsonvalov ampermeter

Francoski fizik Arséne d'Arsonval je leta 1882 izumil merilnik toka na osnovi vrtljive tuljave vstavljene v radialno homogeno magnetno polje, kar je dosegel z uporabo permanentnega magnetna in železnega jedra. Sili na tuljavo v magnetnem polju nasprotuje vzmet s konstanto vzmeti.



D'Arsonvalov galvanometer ima nad tuljavico malo zrcalce, v katerega usmerimo snop svetlobe in opazujemo njen odklon.



<http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanometer>

http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Electrical_Measurements/DArsonval_Galvanometer/DArsonval_Galvanometer.html

Pokaži izdelek tovarne Magneti, ki izdeluje jedro za navitje za merilni kazalec. Pokaži še kazalec za avtomobil s trajnim magnetom s prečno magnetizacijo in dvema navitjema.

EKSPERIMENT: Sila med trajnim magnetom in tuljavico deluje kot zvočnik.

Potrebujem malo tuljavico, trajni magnet, ki gre v tuljavico in selotejp, ki drži skupaj magnet in tuljavico ter obenem deluje kot membrana. Na tuljavico priključimo vir izmeničnega toka. Ta ustvarja magnetno polje, ki deluje privlačno ali odbojno na magnetno polje trajnega magneta odvisno od polaritete signala. Nariši shemo.

V tem eksperimentu se premika trajni magnet, v zvočnikih pa se običajno premika tuljavica, ki je povezana z membrano. Nariši shemo.