

Meritve magnetnega polja z indukcijo

Uvod

Magnetno polje merimo z majhno tuljavico z veliko ovoji, postavljeno z osjo vzporedno zunanjemu magnetnemu polju. Napetost v tuljavici se inducira samo pri spremembi magnetnega polja - kadar prekinemo tok, ki napaja elektromagnet, ali premaknemo tuljavico iz področja polja. Inducirano napetost U izračunamo iz enačbe

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} = -NS\frac{dB}{dt}\cos\alpha, \quad (1)$$

kjer je Φ magnetni pretok, N število obojev, S ploščina tuljavice, B gostota magnetnega polja in α kot med osjo tuljavice in smerjo magnetnega polja B .

Pri izračunu inducirane napetosti U na merilni tuljavici moramo upoštevati, da je navitje porazdeljeno med notranjim (r_1) in zunanjim radijem (r_2), slika 1. Na majhnem delu dN celotnega navitja N pri radiju r se inducira napetost

$$dU = -\frac{dB}{dt}\pi r^2 \cos\alpha dN. \quad (2)$$

Gostota navitja naj bo konstantna, torej

$$\frac{dN}{2\pi r dr} = \frac{N}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} \quad (3)$$

od koder sledi

$$dU = -\frac{dB}{dt}\pi r^2 \cos\alpha \frac{2Nr dr}{r_2^2 - r_1^2} \quad (4)$$

in po integriranju v mejah med r_1 in r_2

$$U = -\frac{N}{2}\frac{dB}{dt}\pi \cos\alpha \frac{r_2^4 - r_1^4}{r_2^2 - r_1^2} = -N\frac{dB}{dt}\pi \frac{r_2^2 + r_1^2}{2} \cos\alpha = -N\hat{S}\frac{dB}{dt}\cos\alpha, \quad (5)$$

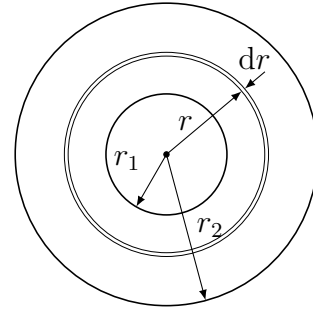
kjer smo s \hat{S} označili $\pi \frac{r_2^2 + r_1^2}{2}$. Inducirana napetost je sorazmerna s spremembo gostote magnetnega polja $\frac{dB}{dt}$, nas pa zanima vrednost gostote magnetnega polja B , zato izhod iz merilne tuljavice priključimo na integrator, slika 2 levo. Integrator je posebno elektronsko vezje, ki na svojem izhodu ustvari napetost sorazmerno s časovnim integralom vhodne napetosti. Izhodna napetost U_{iz} je potem

$$U_{iz} = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U dt. \quad (6)$$

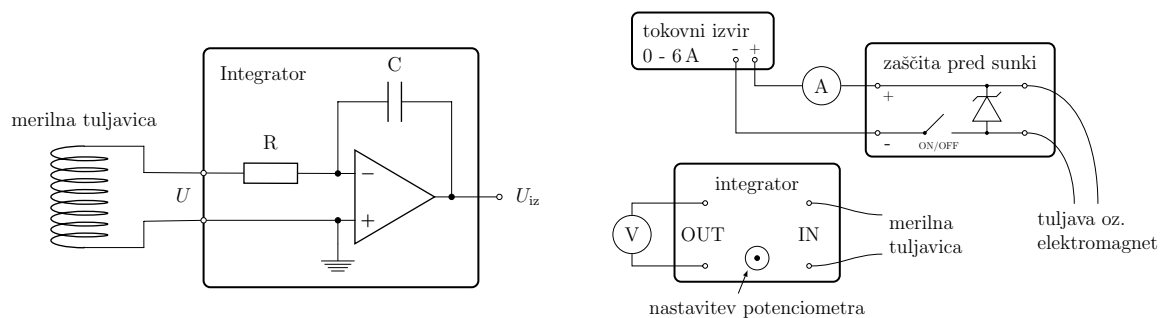
Vstavimo za U izraz za inducirano napetost v tuljavici, enačba (5), in dobimo

$$U_{iz} = \frac{N\hat{S}}{RC}(B_2 - B_1)\cos\alpha. \quad (7)$$

Privzamemo, da je $\cos\alpha = 1$, B_2 merjeno magnetno polje in $B_1 = 0$ T za področje zunaj magnetnega polja.



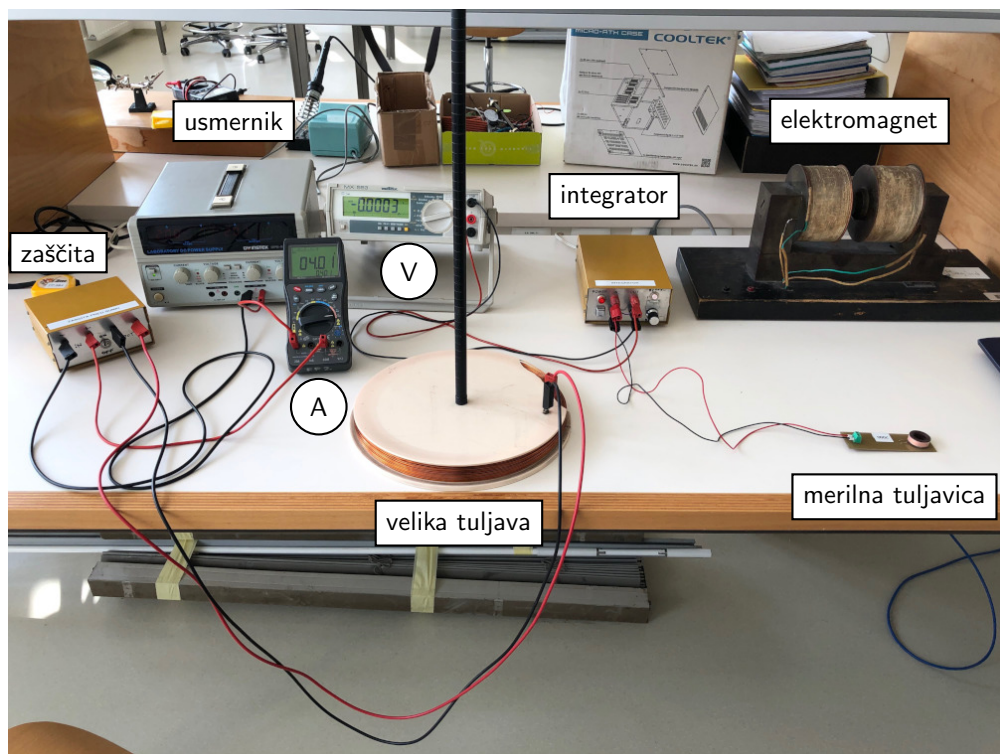
Slika 1: Presek merilne tuljavice z označenimi dimenzijami.



Slika 2: (levo) Skica mehanizma merjenja magnetnega polja z merilno tuljavico priključeno na integrator. (desno) Shema vezave merjenja magnetnega toka.

Potreščine

- dve merilni tuljavici z notranjim premerom $2r_1 = (18.0 \pm 0.1)$ mm in zunanjim premerom $2r_2 = (23.0 \pm 0.5)$ mm, prva z $N_1 = 2000$, druga pa z $N_2 = 200$ navoji
- integrator z $R = (10.0 \pm 0.5)$ k Ω in $C = (1.0 \pm 0.1)$ μ F
- voltmeter, ampermeter, šolski usmernik omejen na 6 A toka, zaščita pred sunki
- velika tuljava s premerom $2r_0 = (250 \pm 2)$ mm z $N_3 = 200$ ovoji z navpičnim nosilcem za merilno tuljavico
- elektromagnet na lesenem nosilcu



Slika 3: Postavitev eksperimenta z označenimi potrebščinami.

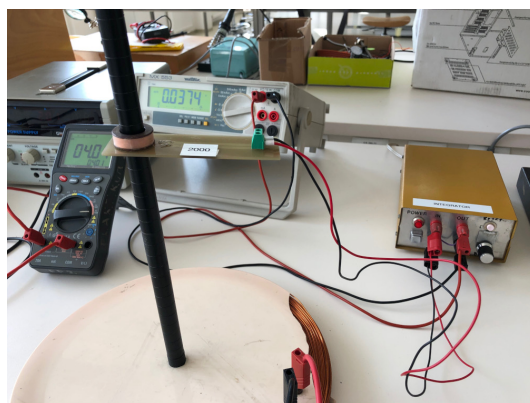
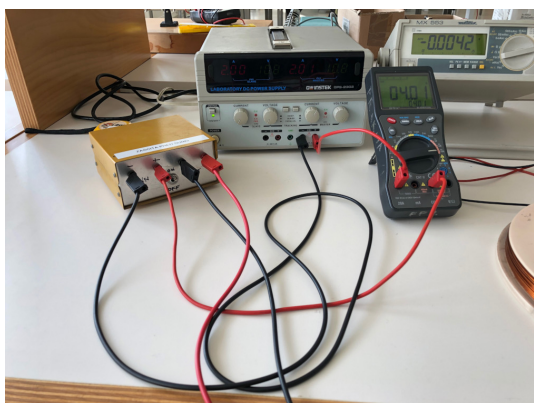
Naloga

1. Izmeri odvisnost gostote magnetnega polja B na osi tokovne zanke z oddaljenostjo od njenega središča.
2. Izmeri relacijo med jakostjo električnega toka I in gostoto magnetnega polja B v elektromagnetu.

Navodilo

A. Krožni tokovodnik - vodoravno postavljeno veliko tuljavo ($2r_0 = 250$ mm) priključi preko ampermetra in zaščite pred sunki na šolski usmernik, slika 2 desno. Tok naj bo približno 4 A.

Merilno tuljavico z večjim številom navojev natakni na navpični nosilec, ki je v osi velike tuljave, in jo priključi na integrator. Izhod integratorja poveži z voltmetrom, kot kaže slika 4. Zaradi neidealnosti elektronskih elementov izhod integratorja "leze" tudi, kadar na vhod pripeljemo ničlo. Lezenje ustavimo s primerno nastavitvijo potenciometra na integratorju, ničlo pa nastavimo s tipko reset.



Slika 4: Meritev magnetnega polja v osi velike tuljave z večjo merilno tuljavico.

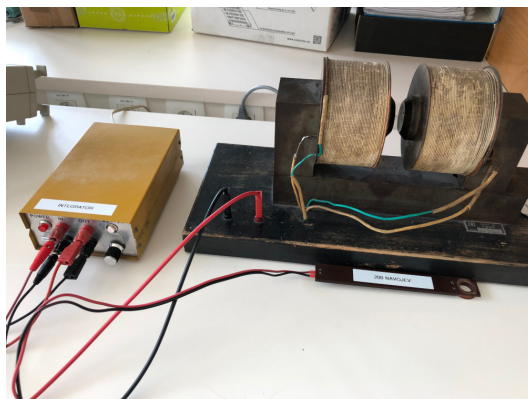
Izmeri gostoto magnetnega polja B na osi krožnega tokovodnika (tuljave) kot funkcijo razdalje h od njenega središča. Dobljeno odvisnost $B(h)$ nariši na graf in jo primerjaj s teoretično krivuljo $B_{\text{zanka}}(h)$ za tokovno zanko radija r_0 po kateri teče tok I_0

$$B_{\text{zanka}}(h) = \frac{N_3 \mu_0 I_0 r_0^2}{2(r_0^2 + h^2)^{3/2}}. \quad (8)$$

Način primerjave izberi sam in sicer tako, da bo razvidna podobna funkcijska odvisnost meritev in teoretične krivulje. Premisli ali zgornja enačba ustrezno opisuje odvisnost gostote magnetnega polja v osi tuljave od razdalje do njenega središča.

B. Šolski usmernik veži z elektromagnetom pritrjenim na leseno stojalo. Na integrator priključi tuljavico z manj navoji, kot kaže slika 5. Elektromagnet je sestavljen iz dveh

isto orientiranih navitij na ogrodju iz (magnetno) mehkega železa¹ z režo med njima. V slednji sondiramo gostoto magnetnega polja.



Slika 5: Meritev gostote magnetnega polja B v reži elektromagneta v odvisnosti od toka napajanja I .

Z izmeničnim vlečenjem oz. potiskanjem tuljavice v režo izmeri odvisnost gostote magnetnega polja B od toka napajanja I v intervalu od 0 A do 5 A. Meritve nariši na graf $B(I)$. Izkaže se, da smo se daleč od nasičenega stanja železa in zato je dobljena zveza med B in I precej linearna.

Iz naklona premice izračunaj kolikšno naj bo število ovojev na dolžinsko enoto (N/L) dolge prazne tuljave, ki bi imela enako zvezo med B in I kot obravnavan elektromagnet, če je v prazni tuljavi gostota magnetnega polja podana z enačbo

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L}, \quad (9)$$

pri čemer je N število ovojev in L dolžina tuljave.

Literatura

- [1] Fathi Habashi. *Alloys: Preparation, Properties, Applications*. Wiley, 1998.

¹Jeklo z majhno vsebnostjo ogljika, ki je ustrezno žarjeno tako, da se v magnetnem polju močno magnetizira in izven le-tega demagnetizira. Ima razmeroma ozko histerezo zanko. [1]