

# Meritev magnetnega polja z indukcijo

Magnetno polje merimo z majhno tuljavico z veliko ovoji, postavljeno na os vzporedno zunanemu magnetnemu polju. Napetost v tuljavici se inducira samo pri spremembi magnetnega polja. To je lažje prelinemo tedi, ki napaja ~~element~~ elektromagnet, ali prenamemo tuljavico iz področja polja. Inducirano napetost  $U$  izračunamo iz enačbe:

$$U = - \frac{d\Phi}{dt} = -NS \frac{dB}{dt} \cos\alpha$$

$\Phi$  ... mag. pretok  
 $N$  ... št. obojev  
 $S$  ... ploščina tuljave  
 $B$  ... gostota mag. polja  
 $\alpha$  ... kot med osjo tuljave in smerjo polja.

Inducirano napetost priključimo na integrator in izhodna napetost  $U_{out}$  je:

$$U_{out} = \frac{-1}{RC} \int U dt$$

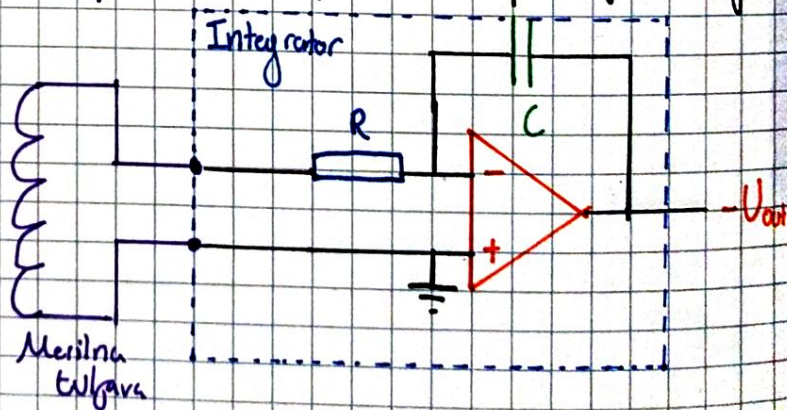
Če je  $U$  inducirana napetost v tuljavici dobimo:

$$U_{out} = \frac{NS}{RC} (B_2 - B_1) \cos\alpha$$

Privzamemo, da je  $\cos\alpha = 1$ ,  $B_2$  merjeno polje in  $B_1 = 0$  (za področje zunanj magnetnega polja).

## Potrebščine

- dve merilni tuljavi s premerom  $2r = 18 \text{ mm}$ 
  - prva z  $N_1 = 2000$
  - druga z  $N_2 = 200$
- integrator s konstanto  $RC = 0,01 \text{ s}$
- voltmeter, ampermeter, žolski usmernik omejen na 5A tedi
- tuljava  $2r_0 = 250 \text{ mm}$  z  $N_3 = 200$  ovoji z navpišnim nosilcem za merilno tuljavo
- elektromagnet na lesnem nosilcu



## Naloga

1. Na osi kotorne zanke izmeri odvisnost magnetnega polja  $B_z$  : A oddaljenostjo od ~~os~~ središča?
2. Izmeri relucijo med jakostjo električnega toka in gostoto magnetnega polja v elektromagnetu.

## Navodilo

A: Krožni tokovodnik - vodoravno postavljeno velika tuljava ( $2r_0 = 250\text{mm}$ ) priključimo preko ampermetra na šolski usmernik. Tok naj bo 4A. Merilno tuljavo z večjim št. navojev nataknemo na navpični nosilec, ki jo v osi velike tuljave, in jo priključimo na integrator. Izhod integratorja povežemo z voltmetrom - zaradi neidealnosti elektronskih elementov izhod integratorja "leze" tudi, kadar na vходу pripeljemo ničlo. Lezenje ustavimo s primerno nastavitveno potenciometra na integratorju, ničlo pa nastavimo s tipko reset.

Izmerimo gostoto magnetnega polja  $B$  na osi krožnega tokovodnika (tuljave) kot funkcijo razdalje od središča  $h$ . Dobljeno odvisnost  $B(h)$  narišemo na graf in jo primerjamo s teoretično krivuljo  $B_{zanka}(h)$  za tolikšno zanko radija  $r_0$  po kateri teče tok  $I_0$ :

$$B_{zanka} = \frac{\mu_0 I_0 r_0^2}{2(r_0^2 + h^2)^{3/2}}$$

B: Šolski usmernik zvežemo z elektromagnetom priključen na leseno stopalo. Na integrator priključimo merilno tuljavo z manj navoji. Elektromagnet je sestavljen iz dveh isto orientiranih navojev na ogrodju iz (magnetno) mehkega železa z režo med njima. V slednji sondiramo gostoto magnetnega polja. Z izmeničnim vlečenjem oz. potiskanjem tuljave v režo izmerimo odvisnost  $B(I)$  v intervalu  $I \in [0, 5]\text{A}$ . Narišemo graf. Iz naklona premice izračunamo kolikšen naj bi bil  $N/L$  dolge prazne tuljave, ki bi imela enako zvezo med  $B$  in  $I$  kot obrnjeni elektromagnet, če jo v prazni tuljavi gostota magnetnega polja podana s formulo:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L}$$

Meritev

A)  $A = 1.00$   
 $I = 17V$

Integrator leze

$b = 10^{-2} V/s$

$N = 2000$

Čvrsta

$h_{max} = 48 cm$

#	h [cm]	U [V]	B set
1	4,0 cm	0,217	0,289
2	6,5 cm	0,140	0,261
3	8,5 cm	0,164	0,235
4	10 cm	0,155	0,214
5	14 cm	0,120	0,189
6	16 cm	0,113	0,179
7	18 cm	0,118	0,170
8	1 cm	0,329	0,329
9	2 cm		0,167
10	25 cm		0,158
	30 cm		0,155
	35 cm		0,153

0,209  
 $P_i = 12 cm$

Glavna

→

→ zelo leze!

B)  $N = 200$

Integrator leze podoben  
 kot prej

#	I [A]	U [V]	B set	Vlečenje
1	0	0,630	0,622	-0,0653
2	0,5	0,550	0,550	-0,564
3	1	1,018	1,012	-1,013
4	1,5	1,492	1,488	-1,495
5	1,99	1,953	1,954	-1,973
6	2,51	2,441	2,450	-2,452
7	3	2,993	2,985	-2,908
8	3,51	3,360	3,372	-3,366
9	4,01	3,748	3,738	-3,862
10	4,5	4,262	4,272	-4,211
11	4,99	4,680	4,672	-4,670
12	0,75	0,812	0,820	-0,822
13	0,25	0,324	0,322	-0,325

0,476 A

- 4,500 V
- 4,503 V
- 4,497 V

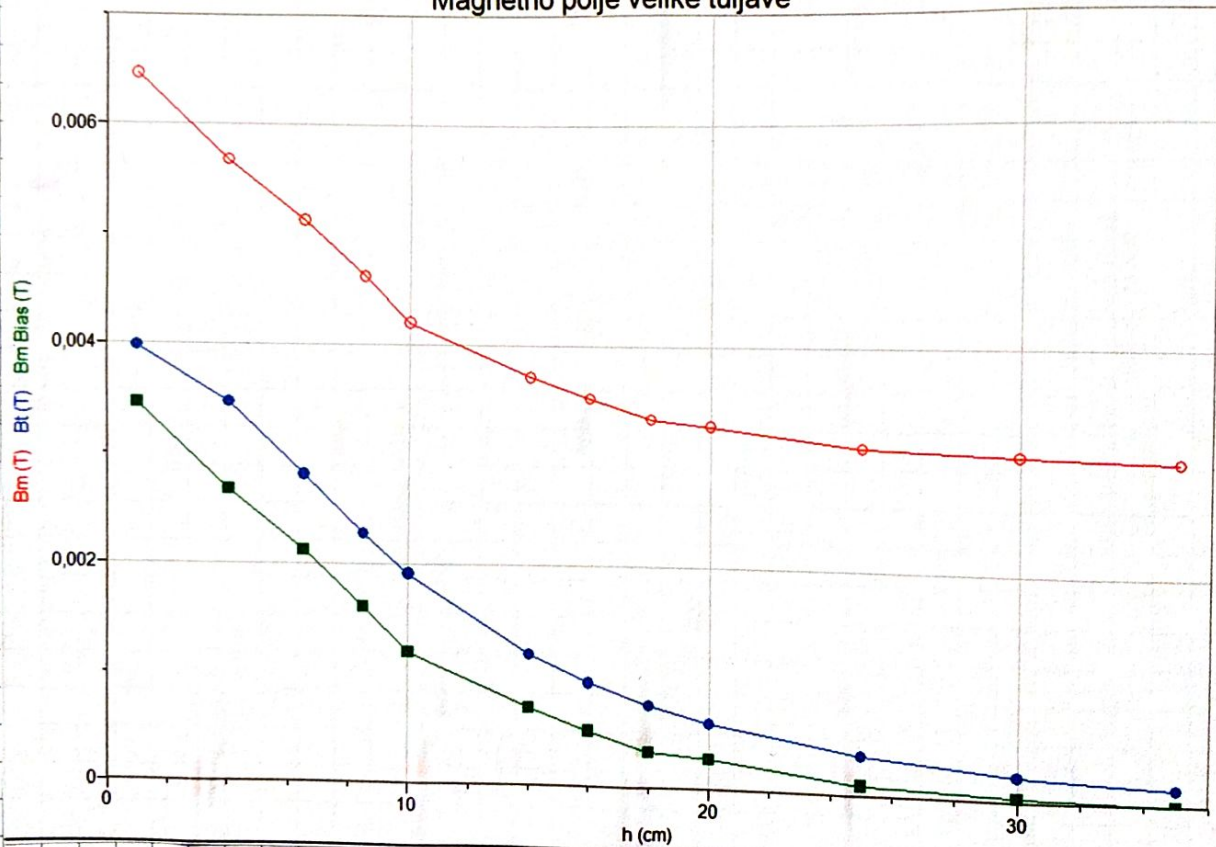
16.10.2020

vesto

A			
h [cm]	U [V]	B <sub>m</sub> [Vs/m <sup>2</sup> ]	B <sub>t</sub> [Vs/m <sup>2</sup> ]
1,0	0,329	0,00646	0,00398
4,0	0,289	0,00568	0,00347
6,5	0,261	0,00513	0,00281
8,5	0,235	0,00462	0,00227
10,0	0,214	0,00420	0,00191
14,0	0,189	0,00371	0,00119
16,0	0,179	0,00352	0,00094
18,0	0,170	0,00334	0,00075
20,0	0,167	0,00328	0,00060
25,0	0,158	0,00310	0,00036
30,0	0,155	0,00305	0,00023
35,0	0,153	0,00301	0,00015

Additional Data	
N <sub>1</sub>	2000
N <sub>2</sub>	200
N <sub>3</sub>	200
r <sub>0</sub> [m]	0,125
r [m]	0,009
RC [s]	0,01
I <sub>A</sub> [A]	4
μ <sub>0</sub> [Vs/Am]	1,25664E-06
S <sub>1</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,000254469
k [T/A]	0,01813
N/L [1/m]	14427,39559

Magnetno polje velike tuljave



$$B_m = \frac{RC}{N_1 S} U$$

$$B_t = \frac{N_3 \mu_0 I_0 r_0^2}{2 \sqrt{(r_0^2 + h^2)^3}}$$

$$B_b = B_m - \underbrace{3mT}_{\text{kot nel bias}}$$

Iz grafa je očitno, da se izmerjena funkcionalna odvisnost ujema s teoretično. Za boljšo predstavo sem narisal tudi B<sub>b</sub>, tu ima odšteto 3mT "biasa". B<sub>m</sub> in B<sub>t</sub> sem primerjal tudi v Pythonu z RMSE, po enačbi

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (B_{mi} - B_{ti})^2}{N}}$$

$$RMSE = 0,0025$$

B						
I [A]	U [V] set A	U [V] set B	U [V] set C	B [T] set A	B [T] set B	B [T] set C
0	0,0630	0,0627	-0,0653	0,00124	0,00123	0,00128
0,25	0,3240	0,3220	-0,3250	0,00637	0,00633	0,00639
0,5	0,5500	0,5500	-0,5640	0,01081	0,01081	0,01108
0,75	0,8120	0,8200	-0,8220	0,01595	0,01611	0,01615
1	1,0180	1,0120	-1,0130	0,02000	0,01988	0,01990
1,5	1,4920	1,4880	-1,4950	0,02932	0,02924	0,02937
1,99	1,9530	1,9540	-1,9730	0,03837	0,03839	0,03877
2,51	2,4410	2,4500	-2,4520	0,04796	0,04814	0,04818
3	2,8930	2,8850	-2,9040	0,05684	0,05669	0,05706
3,51	3,3600	3,3720	-3,3660	0,06602	0,06626	0,06614
4,01	3,7480	3,7380	-3,8020	0,07364	0,07345	0,07470
4,5	4,2620	4,2720	-4,2710	0,08374	0,08394	0,08392
4,76	4,5000	4,5030	-4,4970	0,08842	0,08848	0,08836
4,99	4,6800	4,6720	-4,6700	0,09196	0,09180	0,09176

Premica z strmino

Znotraj merilne napake

Strmine set A pride tudi

za set B in set C.

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L} \quad \mu = \frac{B}{I}$$

$$\Rightarrow \frac{N}{L} = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\frac{N}{L} = 14430 \frac{1}{m} \pm 70 \frac{1}{m}$$

