

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za matematiko in fiziko*



Oddelek za fiziko

# Feromagnetizem

Poročilo pri fizikalnem praktikumu III

Kristofer Čepon Povšič

Mentor: Jelena Vesić

2022/23

# Uvod

Mnogi električne spoijine in zlitine so feromagnetne. Njihova magnetna permeabilnost  $\mu$  je  $\gg 1$ , vendar ni konstantna in odvisna od jakosti magnetnega polja  $H$ . Zveza med gostoto magnetnega polja in njegovo jakostjo je nelinearna in se jo zapiše z enačbo:

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \quad (1)$$

kjer je  $\mu_0$  induksijska konstanta. Zgornji diferencialni kvocient tvori grafično magnetilno in histerezo krivuljo. Iz krivulj lahko spoznamo pomembne lastnosti o snovi.

Feromagnetna snov je magnetizirana, ko ni v zunanjem polju. Magnetizacija je posledica urejenih magnetnih ionov v feromagnetni snovi.

V makroskopskem kosu feromagnetne materije so redko vsi magnetni momenti razporejeni vzporedno in tvorijo magnetno polje. V njej se tako pojavijo domene s svojo magnetizacijo. Energija magnetnega polja je najmanjša, če se sklene magnetni pretok znotraj snovi.

V feromagnetu, ki je v magnetnem polju, se domene, ki kažejo v podobno smer kot magnetno polje povečajo, ostale pa ne. Za dovolj veliko magnetni polje se vse magnetne domene preuredijo, da kažejo vzporedno.

Odvisnost  $B(H)$  je pri manjšanju magnetne jakosti drugačna kot pri večanju - histereza. Pri  $H = 0$  je  $B \geq 0$ .  $B_R$  pri  $H_0$  rečemo remanentna gostota magnetnega polja.

Imamo feromagnetno jedro s konstantnim presekom in majhno režo s površino  $S$  navito v tuljavi z  $n$  ovoji, po kateri teče tok  $I$ . Velja:

$$U_m = \oint \vec{H} d\vec{s} = \sum I = nI \quad (2)$$

Za naš primer velja:

$$U_m = U_{fero} + U_{reza} = LH_{fero} + xH_{reza} = Njihova \quad (3)$$

kjer je  $L$  dolžina feromagneta in  $x$  širina reže.

Magnetni pretok  $\phi_m$  je:

$$\phi_m = SB_{fero} = SB_{reza} \quad (4)$$

Iz magnetnega pretoka vidimo, da je jakost magnetnega polja v reži in feromagnetu enaka. V reži pa velja zveza  $B_{reza} = \mu_0 H_{reza}$ . Pri  $I = 0$ ,  $H_{fero}$ ,  $H_{reza} \geq 0$ , dobimo zvezo:

$$H_{reza} = -\frac{L}{x} H_{fero} \quad (5)$$

Upoštevajoč enakost jakosti magnetnega polja dobimo enačbo:

$$B_{fero} = -\mu_0 \frac{L}{x} H_{fero} \quad (6)$$

# Naloga

1. Izmeri histerezo zanko transformatorskega jekla
2. Določi vrednosti gostote magnetnega polja v reži magnetnega kroga sestavljenega iz transformatorskega jekla kot funkcijo debeline reže in toka napajanja. Primerjaj izmerjeni rezultat  $B_{reza}$  pri  $I = 0$  z vrednostjo, ki jo določiš iz prej izmerjene histerezne krivulje.
3. Izmeri histerezo krivuljo za magnetni krog sestavljen iz dveh delov. Prvi del je transformatorsko jeklo, drugi del je masivni kos železa. Dodatno: Izračunaj histerezo krivuljo kosa masivnega železa.

# Potrebščine

- transformatorski krog(jarem), zaključek magnetnega kroga iz transformatorskega jekla in železa
- distančniki
- primarna tuljava ( $N_1 = 1000$ ) in sekundarna tuljava ( $N_2 = 46$ )
- elektronsko procesno vezje v škatli, ki je povezano preko USB povezave z računalnikom

# Navodilo

Magnetni krog zaključimo s kosom transformatorskega jekla ali železa, z distančniki pa izbiramo širino reže. Najprej nariši histerezo krivuljo transformatorskega jekla. Za različne debeline reže nariši histerezne krivulje in odčitaj vrednost gostote magnetnega polja pri  $U_m = 0$ . Izriši še histerezo krivuljo za magnetni krog sestavljen iz dveh delov, ki vsebuje kos masivnega železa.

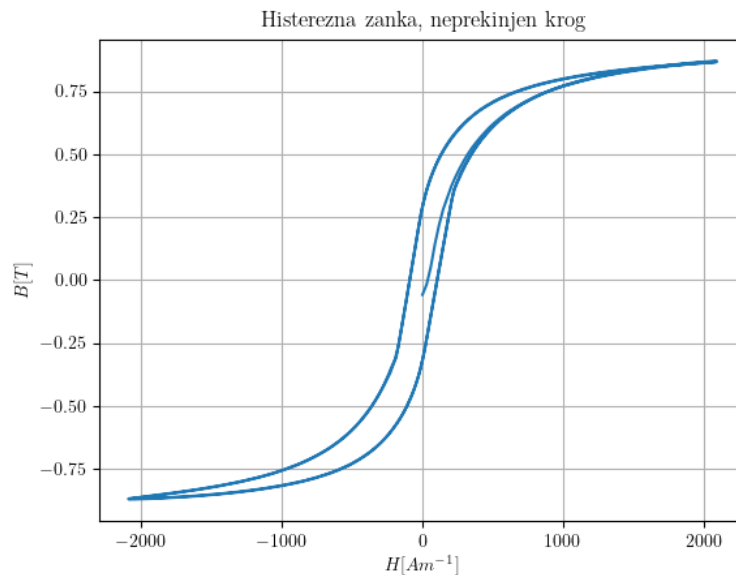
# Obdelava podatkov

## Histerezna krivulja jekla

Površino sestavlja kvadratna ploskev s stranico  $a = 4\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$ . Za obseg vzamem povprečje zunanje in notranjega obsega in dobim stranici  $b = 10.6\text{cm} \pm 0.4\text{cm}$  in  $c = 13.3\text{cm} \pm 0.4\text{cm}$ .

Na vodoravno os nanesem magnetno jakost  $H = \frac{NI}{L}$ , kjer je  $L = 2a + 2b$  in  $N = 1000$  ovojev primarne tuljave. Na navpično os nanesem magnetno gostoto  $B = \frac{F}{sN_2} - B_0$ , kjer je  $F$  zajeta iz integrala in  $S$  presek kroga,  $N_2 = 46$  število navojev sekundarne tuljave in  $B_0$  polovica razlike najmanjše in največje dosežene gostote.

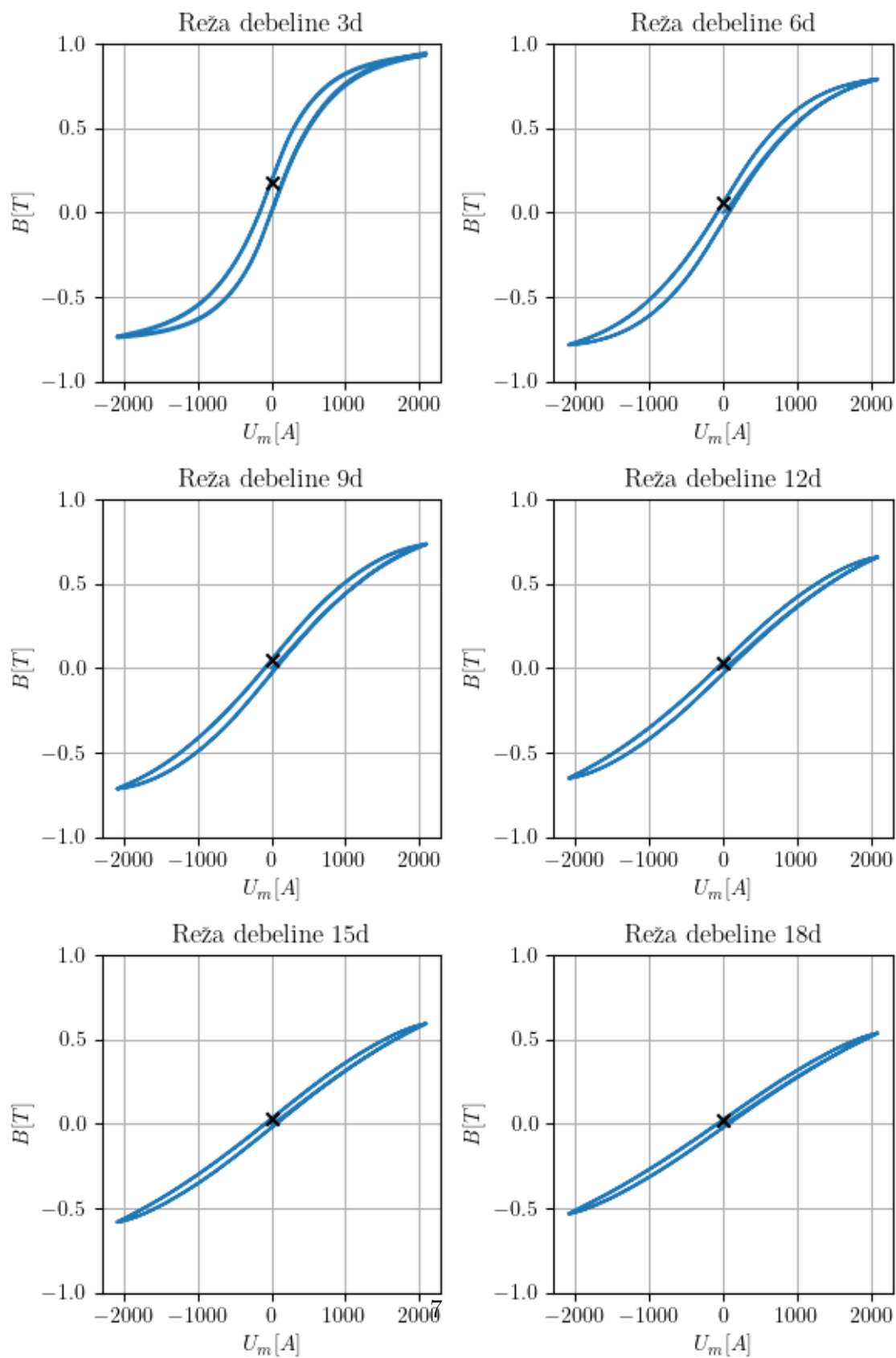
Dobimo krivuljo na grafu 1.



Slika 1: Graf prikazuje histerezo neprekinjenega kosa jekla.

## B v odvisnosti od debeline reže

Na isti način kakor prej narišem histerezo za debeline reže od 3 do 18 listkov. Ne poznam dejanske vrednosti  $H$ , zato na vodoravno os nanašam  $U_m = NI$ . Krivulje so prikazane na sliki 2.



Slika 2: Histerezne krivulje pri različnih debelinah reži



Remanentne gostote v krogu z režo lahko dobimo kot gostoto v presečiščih krivulj s premico  $U_m = 0$ . Te vrednosti lahko tudi izračunam po enačbi:

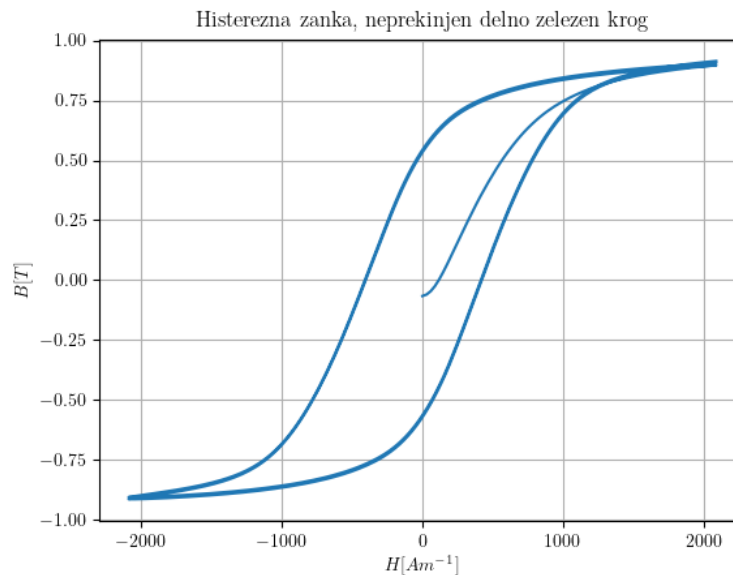
$$B = -\mu_0 \frac{L}{d} H \quad (7)$$

kjer je  $L$  notranji obseg kroga in  $d$  mnogokratnik debeline lističa. Izračunane in izmerjene vrednosti so prikazane v tabeli:

$\frac{d}{d_0}$	$B_{rac}$	$B_{izm}$	$\delta B$	$\sigma B$
3	118.4	179.3	60.8	0.5
6	73.6	55.4	18.2	0.2
9	53.4	45.0	8.4	0.2
12	41.9	33.3	8.6	0.2
15	34.5	28.5	6.0	0.2
18	29.3	23.0	6.3	0.2

## Histereza masivnega kosa železa

Ponovno narišem histerezo, kjer na vodoravni osi ponovno uporabimo  $U_m$ .



Slika 3: Graf prikazuje histerezo masivnega kosa železa in transformatorskega kroga.

Železni del kroga ima dolžino  $l$ , torej ima del iz transformatorskega jekla z dolžino  $L - l$ . Po Amperovem zakonu izrazimo vrednost, ki jo želimo izračunati

$$H_{Fe} = \frac{1}{l} (NI - (L - l)H_j) \quad (8)$$

Iz meritve delno železnega kroga poznamo v točki gostoto v železu  $B$  in tok skozi primarno tuljavo  $I$ . Ker je poleg tega magnetna gostota v jeklu in v železu enaka (krog ima konstanten presek), lahko iz meritve neprekinjenega kroga iz transformatorskega jekla za določeno gostoto  $B$  (v železu in jeklu), določimo magnetno jakost v jeklu  $H_j$ .