

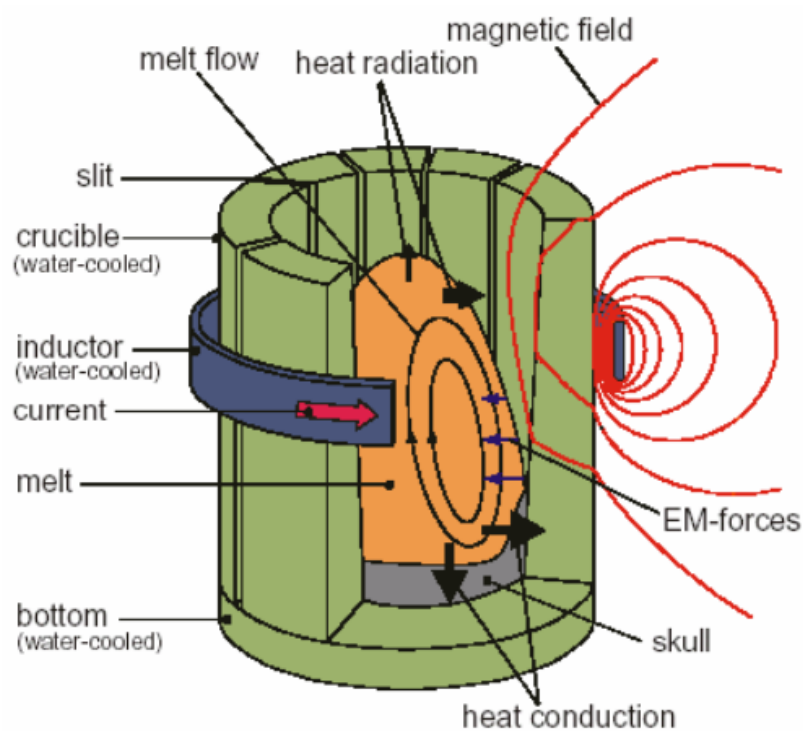
Latvijas Universitātes
Fizikas un matemātikas fakultāte
Fizikas maģistra studiju programma
1. kurss

Andris Potrebko

Laboratorijas darbs nr 10
**Augstfrekvences strāvu sadalījumu pētīšana uz
vadošu objektu virsmām.**

2018. gada 30. novembrī

1 Teorētiskais pamatojums



Att. 1: Darbā pētītā fizikālā problēma. Tīģelis, kurš ievietots spolē, kas rada magnētisko lauku. Magnētiskais lauks tīģeļa iekšienē nokļūst caur spraugām tīģelī un rada virpuļstrāvas metālā tīģeļa iekšienē (1).

Darba mērķis ir kvalitatīvi izpētīt magnētisko lauku, kurš inducējas tīģeļa iekšienē (1. attēls): tā aksiālo sadalījumu, atkarīgu no spraugu skaita tīģelī un frekvences.

Par tīģeļa konstanti sauc skaitli K :

$$K = \frac{dH^2N}{b\pi R^2}, \quad (1.1)$$

kurš raksturo attiecību starp magnētisko lauku tīģeļa iekšienē (B_{in}) un ārpusē (B_{ex}) šādā veidā:

$$\eta = \frac{B_{in}}{B_{ex}} = \frac{K}{K+1} \quad (1.2)$$

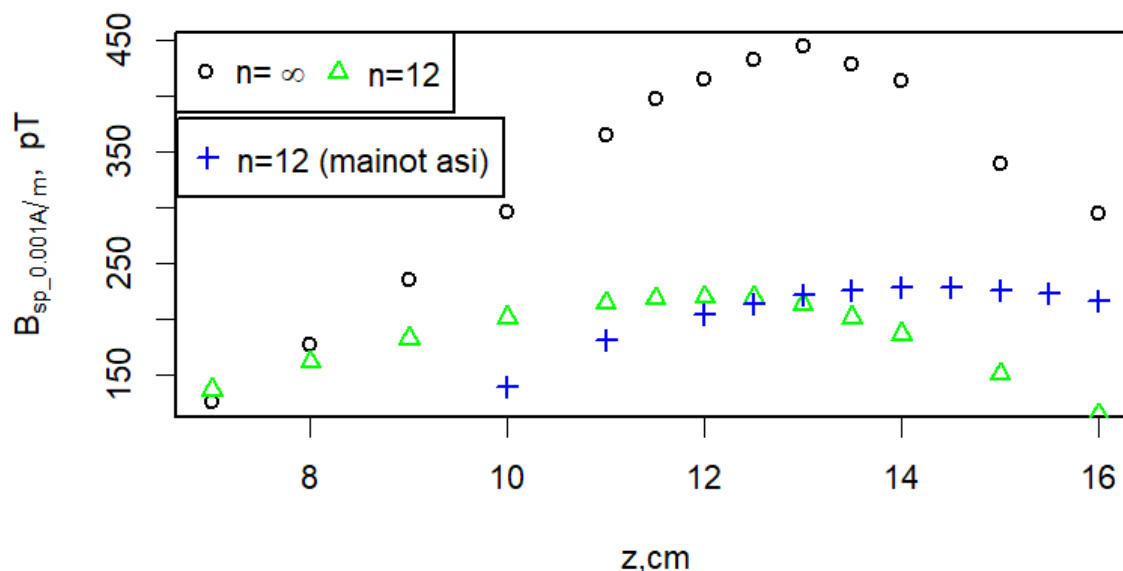
H - indukcijas spoles augstums, d - tīģeļa efektīvais spraugu platums (tas var būt lielāks par spraugas platumu par diviem skinslāņu biezumiem ($2 \cdot \delta$)), N - spraugu skaits, b - tīģeļa biezums tīģeļa platums, R - indukcijas spoles rādiuss.

Darbā tiks iegūta sakarība starp $K(N)$, kas ir lineāra sakarība $K = k \cdot N$. Izmantojot iegūto slīpuma koeficientu k un vienādojumu (1.1), var iegūt tīģeļa spraugas efektīvo platumu:

$$d_{eff} = k \cdot \frac{(b \cdot \pi \cdot R^2)}{H^2} \quad (1.3)$$

2 Mērījumu rezultāti un datu apstrāde

2.1 Magnētiskā lauka sadalījums uz spoles ass ar tajā ievietotu tīģeli un bez tā.



Att. 2: Magnētiskā lauka uz 0,001A/m lielu strāvas lineāro blīvumu spolē ($B_{sp0,001A/m}$) sadalījums pa spoles asi dažādiem gadījumiem: bez spolē ievietota tīģeļa (analogiski ar to, ka spraugu skaits $n = \infty$), ar ievietotu tīģeli, kuram spraugu skaits $n=12$. Lai varētu salīdzināt sadalījuma asimetriskumu, pievienoti arī datu punkti mērījumiem, kurā tīģelis spolē ir ievietots otrādi.

2.1.1 Aprēķinu piemēri:

$$B_{sp0,001A/m} = \frac{0,001 \cdot U_s}{I_{sp} N} \frac{1}{2\pi f S_m N_m} = \frac{0,001 \cdot 18,6}{52,0 \cdot 1137} \frac{1}{2\pi \cdot 47,7 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot 138} = 124 pT$$

2.2 Magnētiskā šķērslauka maksimuma atbilstības teorijai pārbaude

2.2.1 Aprēķinu piemēri:

Iegūtās tīģeļa spraugu platumu d_{eff} vērtības un to salīdzinājums ar patieso spraugas platuma un skinslāņa summu apkopotas 3. sadaļā. Lai iegūtu d_{eff} tika izmantoti 3. attēlā redzamo datu lineāro regresiju slīpuma koeficienti. Saskaņā ar vienādojumu 1.3

$$d_{eff} = k \cdot \frac{(b \cdot \pi \cdot R^2)}{H^2} = 0,1852 \cdot \frac{0,005 \cdot \pi \cdot 0,035^2}{0,04^2} = 0,00223m$$

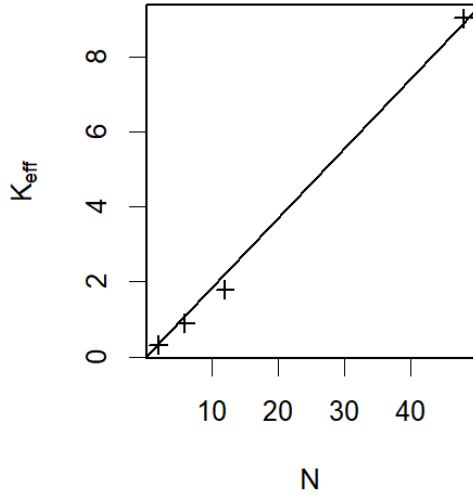
$$d_{eff,T} = d + 2 \cdot \delta = 0,0005 + 2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi \mu_0 \sigma f}} = 0,00216mm$$

d_{eff} kļūda tika iegūta ar relatīvo kļūdu saskaitīšanas metodi.

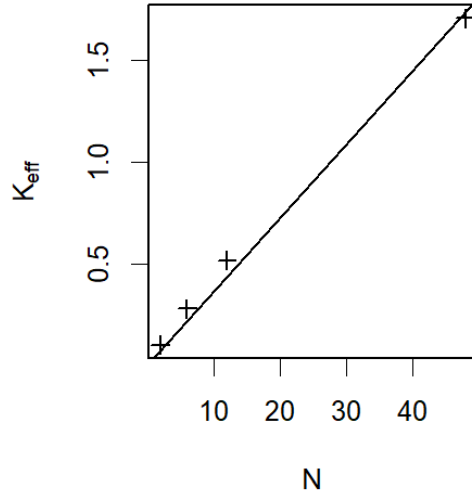
2.3 Spoles impedances izmaiņas.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{4,67}{0,259} = 18,0\Omega$$

Teorētiskās impedances sarēķināšana:



(a) $f=9690\text{Hz}$



(b) $f=200.4\text{ kHz}$

Att. 3: Efektīvās tīģeļa konstantes atkarība no spraugu skaita pie divām indukcijas spoles frekvences vērtībām. Datu punkti aproksimēti ar taisni, kurai uzdots šķērsot punktu (0,0). Iegūti taisņu slīpuma koeficienti $k = 0.1852 \pm 0.0059$ (a) un $k = 0.0362 \pm 0.0013$ (b), kuri pēc tam izmantoti tīģeļa spraugu platuma noteikšanai.

$$\Omega = \mu \frac{1}{\mu_0} \quad (2.1)$$

$$X_L = 2\pi fL,$$

kur induktivitāte galīga garuma spolei:

$$L = \mu_0 \mu n_0^2 V \frac{1}{1 + 0,45 \frac{d}{l}}$$

Tukšas spoles serdes tilpums $V = H\pi R^2$, savukārt gadījumā, kad daļu spoles serdes aizņem alumīnijs vai dzelzs, tilpums, caur kuru var plūst magnētiskais lauks samazinās. $V = H\pi(R - r - \delta)^2$. Kur r

Dzelzs gadījumā arī jāņem vērā, ka spoles induktivitāte skinslānī pieaug, jo tam magnētiskā caurlaidība $\mu \gg 1$.

Iegūtie rezultāti apkopoti 3. sadaļā.

3 Rezultāti

1. Iegūtie efektīvie tīģeļa spraugu platumi (2.2. sadaļa):

- Pie frekvences 9,69 kHz
 - $d_{eff} = 2.23 \pm 0.07\text{mm}$
 - $d + 2\delta = 2.16\text{mm}$
- Pie frekvences 200,4 kHz
 - $d_{eff} = 0.435 \pm 0.015$
 - $d + 2\delta = 0.864\text{mm}$

2. Spoles impedance pie frekvences 9,73kHz (2.3. sadaļa):

- Tukšai serdei
 - Izmērīts $Z = 18,03 \pm 1,26\Omega$

- Teorētiski $Z = 20,76\Omega$
- Dzelzs serdei izmērīts $Z = 20,64 \pm 1,44\Omega$
- Alumīnija serdei
 - Izmērīts $Z = 12,80 \pm 0,90\Omega$
 - Teorētiski $Z = 12,21\Omega$

4 Secinājumi un darba analīze

1. Magnētiskā lauka uz $0,001\text{A/m}$ lielu strāvas lineāro blīvumu spolē ($B_{sp0,001A/m}$) sadalījums pa spoles asi redzams 2. attēlā. Redzam, ka bez ievietota tīģeļa sadalījums ir simetrisks, bet, ievietojot tīģeli, parādās asimetrija, kas izskaidrojama ar to, ka tīģeļa apakšējā daļa ir slēgta un magnētiskais lauks tajā nevar iekļūt. Asimetriju vislabāk var novērot, apskatot punktus mērījumiem ar tīģeli, kur tīģelis ievietots otrādi. Ievērojam, ka maksimums katrā no gadījumiem ir nobīdīts uz savu pusi. Varam novērot arī to, ka magnētiskais lauks ir kļuvis vājāks, kas vienkārši skaidrojams, ar to, ka magnētiskais lauks vairs nevar brīvi iekļūst tīģeļa centrā.
2. Sadaļā 3 redzam, ka pie frekvences $f=9,69\text{ kHz}$ iegūtā efektīvā spraugas platuma vērtība labi sakrīt ar $d + 2\delta$, bet pie frekvences $f=200\text{ kHz}$ d_{eff} sanāk divas reizes mazāks nekā tam vajadzētu būt, turklāt tas pat sanāk mazāks par pašas spraugas platumu $d=0,5\text{mm}$.
3. Mērot impedances izmaiņas spolei, tajā ievietojot dzelzs vai alumīnija serdi, apstiprinājās pieņēmums, ka, spolē ievietojot serdi, tās tilpums mainās, jo magnētiskais lauks plūst tikai caur materiāla skinslāni un neiespiežas dziļāk. Tāpēc Z ar alumīnija serdi samazinājās. Iegūtās Z vērtības gan bez serdes, gan ar Al serdi kļūdas robežās sakrīt. Z vērtības ar dzelzs serdi, neskatoties uz to, ka dzelzs skinslānis ir mazāks nekā alumīnijam, tomēr pieauga. Tas izskaidrojams ar to, ka dzelzs magnētiskā caurlaidība $\mu \gg 1$. Aprēķins netika veikts, jo μ vērtības ļoti atkarīgas no frekvences.

Literatūras saraksts

- [1] https://estudijas.lu.lv/pluginfile.php/208262/mod_resource/content/0/Apraksti/em_tigelis_v2_10_10_2011.pdf.