Găujăneanu Nicoleta, 424D

# Lucrarea nr. 5 - Proprietăți ale materialelor feromagnetice și ferimagnetice la semnal mare

## 1. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a determina permeabilitatea complexă relativă a materialelor feromagnetice în funcție de frecvență, de a evidenția curba de histerezis care caracterizează aceste materiale și influența intre fierului asupra proprietăților de material.

Noțiuni teoretice:

Fe, Ni, Co sunt câteva materiale reprezentative pentru clasa materialelor feromagnetice. Acestea se caracterizează prin domenii magnetizate spontan de saturație, dar orientate dezordonat în absența unui câmp magnetic exterior.

Plasarea acestor materiale în câmp magnetic are ca rezultat orientarea momentelor dipolare ale domeniilor în direcția câmpului exterior. În medii magnetice sunt valabile relațiile:

$\text{rot}\,\vec{H} = \vec{j}$, $\text{div}\,\vec{B} = 0$, $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$

$\vec{H}$ → intensitate câmp magnetic; $\vec{j}$ → polarizare magnetică; $\vec{B}$ → inducție mag; $\vec{M}$ → magnetizarea materialului

Caracteristicile cele mai importante ale materialelor feromagnetice sunt curbele de magnetizare obținute prin aplicarea unui câmp progresiv crescător unui material inițial demagnetizat.

Dependența dintre permeabilitatea de amplitudine $\mu_a$ și intensitatea câmpului H este descrisă de curba Rayleigh, care se poate aproxima printr-o dreaptă pentru valori reduse ale câmpului de vârf.

2. Tabelele şi graficele împreună cu relaţiile de calcul folosite pentru reprezentarea $\mu(H_{max})$ şi $B_{max}(H_{max})$

$H = k_X * nr.div/$orizontala $\quad B = k_Y * nr.div/$verticala

Constantele $k_X$ si $k_Y$ s-au calculat cu:

$$k_x = \frac{A_x N_1}{R_1 l_e}\left[\frac{A/m}{div}\right] \qquad k_y = \frac{A_y RC}{N_2 A_e}\left[\frac{T}{div}\right]$$

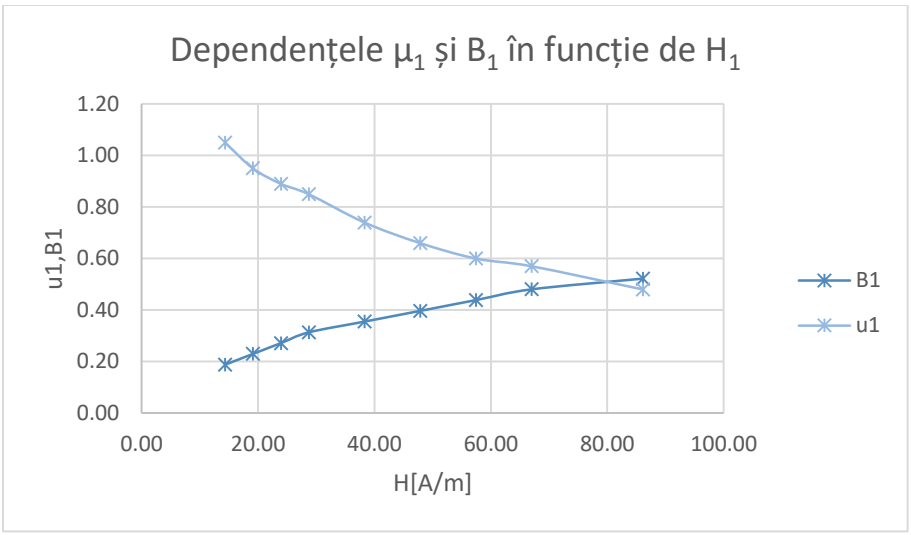
$l_e$ = 190 mm, $N_1 = N_2$ =1000 spire, $R_1$ =22 Ω, R =240 k Ω, $A_e$ =190 mm$^2$, C=3.3 µF.

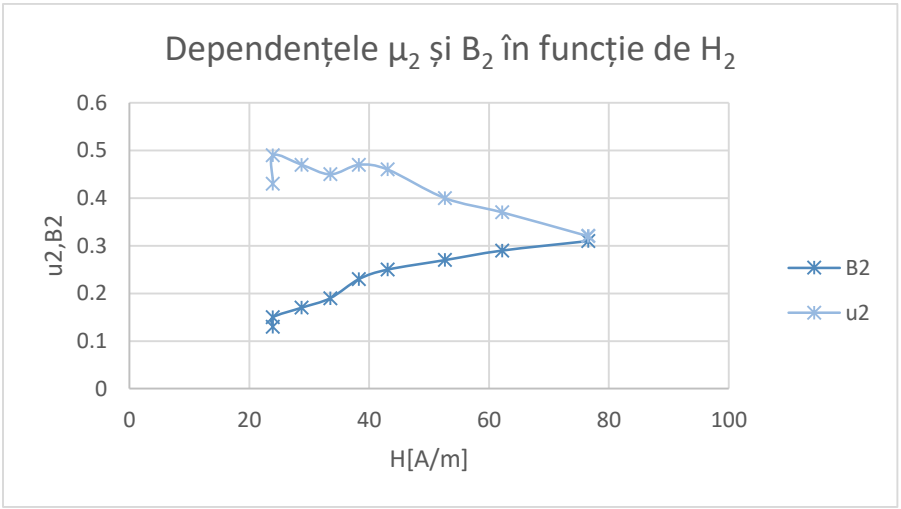
$k_x$ = (Ax*N1)/ (R1*le) = (0.2*1000) / (22*190*$10^{-3}$) = 47.8 A/(m*div).

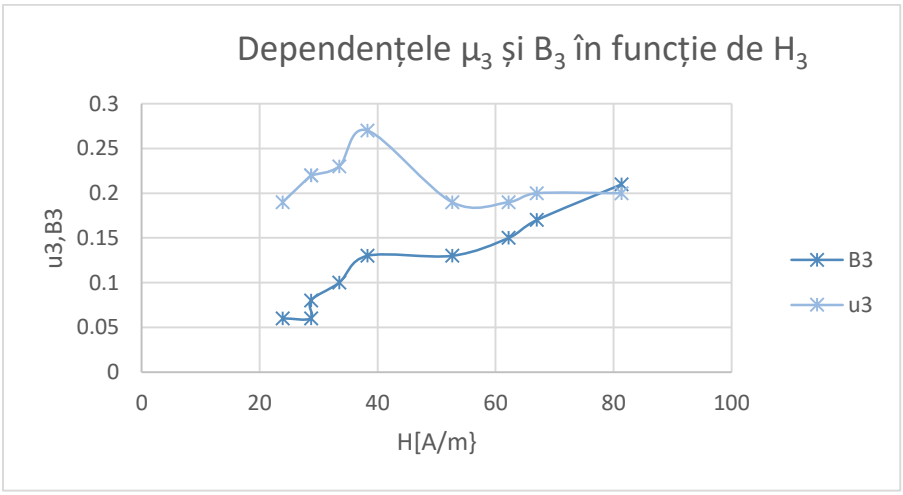
$k_y$ = (Ay*R*C)/(N2*Ae) = (5*$10^{-2}$*240*$10^{3}$*3.3*$10^{-6}$) / (1000*190*$10^{-6}$) = 0.21T/div

Tabel 5-1 f=50Hz

| | Amplitudinea vârf la vârf a semnalului sinusoidal [mV] | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tr1 | $H_{max}$ [div] | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.8 |
| | H [A/m]* | 14.355 | 19.140 | 23.925 | 28.710 | 38.280 | 47.850 | 57.420 | 66.990 | 86.130 |
| | $H_c$ [div] | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.9 |
| | $H_c$ [A/m]* | 9.570 | 14.355 | 19.140 | 23.925 | 28.710 | 33.495 | 38.280 | 38.280 | 43.065 |
| | $B_{max}$ [div] | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.5 |
| | $B_{max}$ [T]* | 0.187 | 0.229 | 0.270 | 0.312 | 0.354 | 0.395 | 0.437 | 0.478 | 0.520 |
| | $B_{rem}$ [div] | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 1.8 |
| | $B_{rem}$ [T]* | 0.125 | 0.146 | 0.166 | 0.208 | 0.250 | 0.291 | 0.333 | 0.333 | 0.374 |
| | $\mu_1 = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$ | 1.036 | 0.952 | 0.898 | 0.864 | 0.735 | 0.656 | 0.605 | 0.567 | 0.480 |
| Tr2 | $H_{max}$ [div] | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.6 |
| | H [A/m]* | 23.925 | 23.925 | 28.710 | 33.495 | 38.280 | 43.065 | 52.635 | 62.205 | 76.560 |
| | $H_c$ [div] | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.45 |
| | $H_c$ [A/m]* | 9.570 | 9.570 | 11.963 | 11.963 | 14.355 | 14.355 | 14.355 | 19.140 | 21.533 |
| | $B_{max}$ [div] | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 |
| | $B_{max}$ [T]* | 0.125 | 0.146 | 0.166 | 0.187 | 0.229 | 0.250 | 0.270 | 0.291 | 0.312 |
| | $B_{rem}$ [div] | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| | $B_{rem}$ [T]* | 0.062 | 0.062 | 0.083 | 0.104 | 0.104 | 0.125 | 0.125 | 0.146 | 0.166 |
| | $\mu_2 = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$ | 0.415 | 0.485 | 0.460 | 0.444 | 0.476 | 0.461 | 0.408 | 0.372 | 0.324 |
| Tr3 | $H_{max}$ [div] | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 1.7 |
| | H [A/m]* | 23.925 | 28.710 | 28.710 | 33.495 | 38.280 | 52.635 | 62.205 | 66.990 | 81.345 |
| | $H_c$ [div] | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| | $H_c$ [A/m]* | 9.570 | 9.570 | 9.570 | 14.355 | 14.355 | 19.140 | 19.140 | 19.140 | 23.925 |
| | $B_{max}$ [div] | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1.0 |
| | $B_{max}$ [T]* | 0.062 | 0.062 | 0.083 | 0.104 | 0.125 | 0.125 | 0.146 | 0.166 | 0.208 |
| | $B_{rem}$ [div] | 0.1 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | $B_{rem}$ [T]* | 0.021 | 0.021 | 0.031 | 0.042 | 0.042 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 |
| | $\mu_3 = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$ | 0.206 | 0.171 | 0.230 | 0.247 | 0.259 | 0.188 | 0.186 | 0.197 | 0.203 |

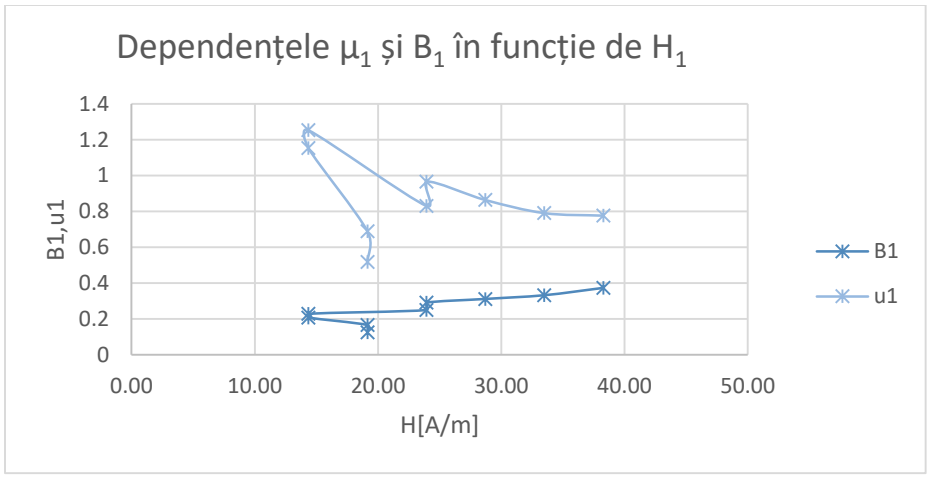

Dependențele μ1 și B1 în funcție de H1
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
u1,B1
0.00
20.00
40.00
60.00
80.00
100.00
H[A/m]
B1
u1

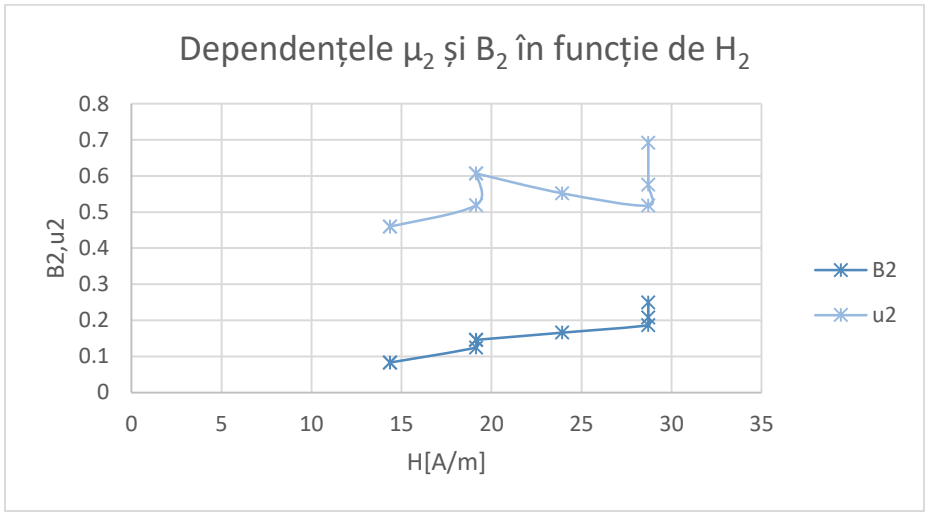

Dependențele μ2 și B2 în funcție de H2
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
u2,B2
0
20
40
60
80
100
H[A/m]
B2
u2

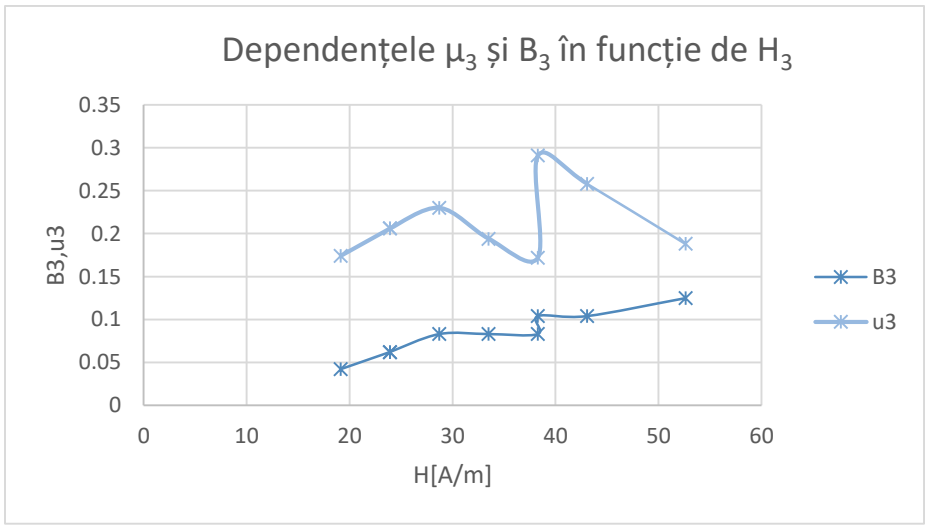

Dependențele μ3 și B3 în funcție de H3
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
u3,B3
0
20
40
60
80
100
H[A/m}
B3
u3

Tabel 5-1 f=75Hz

| | Amplitudinea vârf la vârf a semnalului sinusoidal [mV] | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tr1 | $H_{max}$ [div] | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| | H [A/m]* | 19.140 | 19.140 | 14.355 | 14.355 | 23.925 | 23.925 | 28.710 | 33.495 | 38.280 |
| | $H_c$ [div] | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 |
| | $H_c$ [A/m]* | 14.355 | 14.355 | 9.570 | 11.963 | 14.355 | 14.355 | 19.140 | 21.533 | 23.925 |
| | $B_{max}$ [div] | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |
| | $B_{max}$ [T]* | 0.125 | 0.166 | 0.208 | 0.229 | 0.250 | 0.291 | 0.312 | 0.333 | 0.374 |
| | $B_{rem}$ [div] | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| | $B_{rem}$ [T]* | 0.083 | 0.125 | 0.146 | 0.166 | 0.187 | 0.208 | 0.229 | 0.250 | 0.270 |
| | $\mu_1 = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$ | 0.519 | 0.690 | 1.153 | 1.253 | 0.831 | 0.967 | 0.864 | 0.791 | 0.777 |
| Tr2 | Hmax [div] | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| | H [A/m]* | 14.355 | 14.355 | 19.140 | 19.140 | 19.140 | 23.925 | 28.710 | 28.710 | 28.710 |
| | $H_c$ [div] | 0.10 | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | $H_c$ [A/m]* | 4.785 | 4.785 | 9.570 | 9.570 | 9.570 | 9.570 | 11.963 | 11.963 | 11.963 |
| | $B_{max}$ [div] | 0.40 | 0.40 | 0.60 | 0.70 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | 1.20 |
| | $B_{max}$ [T]* | 0.083 | 0.083 | 0.125 | 0.146 | 0.146 | 0.166 | 0.187 | 0.208 | 0.250 |
| | $B_{rem}$ [div] | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.40 | 0.50 | 0.50 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| | $B_{rem}$ [T]* | 0.062 | 0.062 | 0.083 | 0.083 | 0.104 | 0.104 | 0.125 | 0.125 | 0.125 |
| | $\mu_2 = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$ | 0.460 | 0.460 | 0.519 | 0.607 | 0.607 | 0.552 | 0.518 | 0.576 | 0.692 |
| Tr3 | $H_{max}$ [div] | 0.40 | 0.50 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.80 | 0.90 | 1.10 |
| | H [A/m]* | 19.140 | 23.925 | 23.925 | 28.710 | 33.495 | 38.280 | 38.280 | 43.065 | 52.635 |
| | $H_c$ [div] | 0.100 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.250 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.350 |
| | $H_C$ [A/m]* | 4.785 | 9.570 | 9.570 | 9.570 | 11.963 | 14.355 | 14.355 | 14.355 | 16.748 |
| | Bmax [div] | 0.20 | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.50 | 0.50 | 0.60 |
| | $B_{max}$ [T]* | 0.042 | 0.062 | 0.062 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | 0.104 | 0.104 | 0.125 |
| | $B_{rem}$ [div] | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| | $B_{rem}$ [T]* | 0.021 | 0.021 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.042 | 0.042 | 0.042 | 0.042 |
| | $\mu_3 = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$ | 0.174 | 0.206 | 0.206 | 0.23 | 0.194 | 0.172 | 0.291 | 0.258 | 0.188 |


Dependențele μ1 și B1 în funcție de H1
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
B1,u1
0.00
10.00
20.00
30.00
40.00
50.00
H[A/m]
B1
u1


Dependențele μ2 și B2 în funcție de H2
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
B2,u2
0
5
10
15
20
25
30
35
H[A/m]
B2
u2


Dependențele μ3 și B3 în funcție de H3
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
B3,u3
0
10
20
30
40
50
60
H[A/m]
B3
u3

(3.) Calculul grosimii interfierului pentru mierul în 3 :

$\mu_e = \frac{\mu'}{1+\Gamma\mu'}$ (pentru permeabilitate efectivă a mierului)

$\Gamma = \frac{\delta}{l} \Rightarrow \delta = \Gamma \cdot l$

- $f = 50\,Hz$

$\mu_2 = 3649,012$

$\mu_3 = 1824,506$

$\mu_3 = \frac{\mu_2}{1+\Gamma\cdot\mu_2} \Rightarrow \mu_2 = \frac{\mu_2 - \mu_3}{\mu_2 \cdot \mu_3} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Gamma = 0,274 \cdot 10^{-3}$

$\delta = \Gamma \cdot l \Rightarrow \delta = 0,274 \cdot 10^{-3} \cdot 190 = 52,06\,\mu m.$

- $f = 75\,Hz$

$\mu_2 = 3765,204$

$\mu_3 = 1917,251$

$\mu_3 = \frac{\mu_2}{1+\Gamma\cdot\mu_2} \Rightarrow \mu_2 = \frac{\mu_2 - \mu_3}{\mu_2 \cdot \mu_3} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Gamma = 0,2559 \cdot 10^{-3}$

$\delta = \Gamma \cdot l = 48,62\,\mu m.$

## 4. Răspunsuri la probleme și întrebări

1. Asemănări între materiale feromagnetice și ferimagnetice:
- au aceleași tipuri de pierderi
- prezintă domenii de valori apropiate pentru $H_{max}$, $H_c$, $B_{max}$ și $B_{rem}$
- au aceeași comportare a ciclului histerezis

Deosebiri:
- se înregistrează pierderi mai mici în cazul materialelor ferimagnetice la frecvențe înalte

2. Relația care definește permeabilitatea efectivă a unui miez cu întrefier:

$$\mu_e \simeq \frac{\mu}{1+\Gamma\cdot\mu} \Rightarrow \mu_e \simeq \frac{\mu}{1+\frac{\delta}{l_m+\delta}\cdot\frac{A}{A_f}}$$

$$\Gamma = \frac{\delta}{l_m+\delta}\cdot\frac{A}{A_f}$$

$A$ - arie miez, $l_m$ - lungime miez, $A_f$ - arie întrefier
$\Gamma$ - factor de demagnetizare.

3. Permeabilitatea și domeniul Rayleigh pentru un material feromagnetic.

Permeabilitatea de amplitudine este data de panta ciclului de histerezis din zona III.

Curba Rayleigh descrie dependența dintre permeabilitatea de amplitudine și intensitatea câmpului H. Această curbă se poate aproxima printr-o dreaptă în cazul valorilor reduse ale câmpului.

4. Odată cu creșterea frecvenței de lucru, crește și aria ciclurilor de histerezis, ceea ce determină pierderi mai mici.

5. Întrefierul are rolul de a micșora valoarea permeabilității complexe și a pierderilor date de partea imaginară, crescând astfel factorul de calitate al materialului.

6. Prezența întrefierului determină pierderi mai mici, deci influențează prop. materialului.

7. Semnul minus apare în urma transformării permeabilității în complex.

$$\mu = \mu' - j\mu'' = \frac{\underline{B}'}{\mu_0 \underline{H}} = \frac{B}{\mu_0 H} \cdot e^{-j\delta_\mu}$$

8. $$\operatorname{tg}\delta = \frac{R}{\omega L_0} \Rightarrow \delta = \operatorname{arctg}\frac{R}{\omega L_0}$$

$$\mu = \frac{\underline{\mu}}{1 + \frac{\delta}{l_m + \delta} \cdot \frac{A}{A_\delta} \cdot \underline{\mu}}$$

9. La inducții mici, pierderile prin histerezis sunt mici datorită dependenței neliniare dintre B și H.

10. Puterea și factorul de pierderi scad odată proporțional cu rezistivitatea, ceea ce determină necesitatea unor tole cât mai groase în realizarea miezurilor feromagnetice.

## Concluzii și comentarii

La frecvențe mari ciclul histerezis este liniar pe când la frecvențe mai mici (ex: 50Hz) acesta prezintă atât forme liniare cât și neliniarea, ceea ce înseamnă că se intră într-o zonă de pierderi.
Zona fără pierderi este prezentată ca un fel de ovol.

În prezenta lucrare mi s-a evidențiat și avantajul întrefierului, acesta menținând schimbări de reticiență cu nivelul fluxului.
Acest lucru încurajează alegerea bobinelor cu întrefier în detrimentul celor clasice.

Ciclul de histerezis la frecventa de 50 Hz si la frecventa de 400 Hz :