

Histerezis magnetic

Scopul lucrării:

- Trasarea dependentelor: $\Phi(I)$, $B(H)$ și $M(H)$.
- Determinarea energiei pierdute la remagnetizare, E
- Calcularea magnetizării remanente M_r , a câmpului coercitiv H_c , a magnetizării de saturatie M_s și a permeabilității magnetice relative μ_r .

Teoria lucrării

Reacția unui material la aplicarea unui câmp magnetic exterior H este caracterizată prin *inducția magnetică* B care reprezintă intensitatea câmpului magnetic în interiorul materialului pentru că momentele magnetice ale atomilor tind să se alinieze cu câmpul exterior

În vid, între inducția magnetică B și intensitatea câmpului magnetic H există relația

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

Dacă este ales un material feromagnetic se poate observa că densitatea fluxului magnetic generat în material nu este proporțională cu câmpul H aplicat.

O substanță introdusă în câmp magnetic se magnetizează. Prin definiție magnetizarea M reprezintă momentul magnetic al unității de volum :

$$\vec{M} = d\vec{m} / dV$$

În general, \vec{M} depinde de intensitatea câmpului magnetic, \vec{H} , sub o formă destul de complicată

$$\vec{M} = \vec{M}(\vec{H}).$$

Separând magnetizația permanentă de cea temporară,

$$\vec{M} = \vec{M}_p + \vec{M}_t(\vec{H}),$$

iar pentru mediile fără magnetizație permanentă,

$$\vec{M} = \vec{M}_t(\vec{H}),$$

Între \vec{M} și \vec{H} există relația:

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}.$$

în care χ_m este susceptibilitatea magnetică.

În general, deoarece

$$\vec{B} = \mu_0 [\vec{H} + \vec{M}(\vec{H})],$$

Inducția magnetică este o funcție mai simplă sau mai complicată de \vec{H} , după felul cum și \vec{M} depinde de \vec{H} .

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \chi_m \vec{H})$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H},$$

în care

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$$

este permeabilitatea mediului. În particular, în vid $\mu = \mu_0$.

Pentru caracterizarea mediilor izotrope se folosește deseori și mărimea adimensională

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0},$$

numită *permeabilitatea relativă* a mediului. Ea este o constantă de material, dependentă de natura și starea mediului.

În funcție de *susceptivitatea magnetică* χ_m a materialului materialele se împart în :

- materiale *diamagnetice* cu $\chi_m \approx -10^{-5}$ (deci $\mu_r = 1 + \chi_m \leq 1$), adică magnetizația este slabă și de sens contrar câmpului exterior;
- materiale *paramagnetice* cu $\chi_m \approx 10^{-4} \dots 10^{-3}$, (deci $\mu_r = 1 + \chi_m \geq 1$) adică magnetizația este slabă și de același sens cu câmpul exterior;
- materiale *feromagnetice* cu $\chi_m = 10^2 \dots 10^5$, adică materialele se magnetizează puternic .

Diamagnetismul. substanțe diamagnetice se caracterizează printr-o susceptibilitate negativă, $\chi_m < 0$, și independentă de temperatură. În prezența câmpului magnetic, în corpul diamagnetic ia naștere un curent indus care produce un moment magnetic dirijat în sens contrar câmpului magnetic exterior. Diamagnetismul se datorește mișcării orbitale a electronilor păturilor atomice.

Paramagnetismul este fenomenul prin care, în absența unui câmp magnetic exterior, momentele magnetice ale atomilor dintr-un material se află în stare de dezordine termică, dar ele dobândesc un anumit grad de aliniere în direcția unui câmp magnetic H aplicat din exterior; deoarece numai o parte neînsemnată a momentelor magnetice reușesc să se orienteze, magnetizația materialelor paramagnetice este foarte redusă și variază liniar cu intensitatea câmpului magnetic .

Feromagnetismul

Fierul, cobaltul, nichelul, anumite lantanide și unele aliaje ale acestora chiar cu elemente nemagnetice (C, Si, Al) prezintă proprietatea de feromagnetism

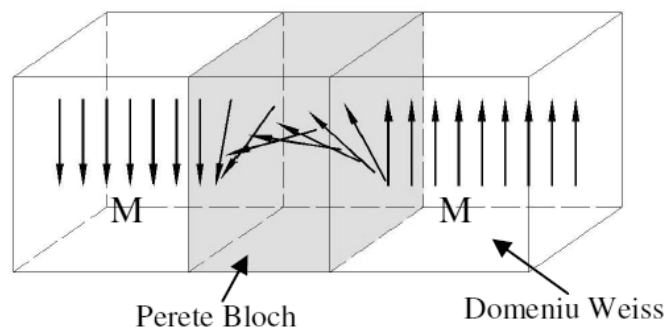
Feromagnetismul se manifestă numai în stare solidă la temperatură joasă, când materialul este încălzit peste o anumită temperatură numită punctul Curie, acesta își pierde proprietatea de feromagnetism și devine paramagnetic.

În materialele magnetice există grupe întinse de atomi posedând momente magnetice permanente. În metalul nemagnetizat acești atomi au orientări întâmplătoare și momentele lor se compensează. Sub influența unui câmp magnetic, acești magneți elementari se orientează cu spinii paralel și își păstrează această orientare și după îndepărtarea câmpului. S-a demonstrat că pentru anumite tipuri de rețele cristaline, orientarea paralelă a spinilor electronici este mai stabilă (sau metastabilă) decât cea opusă (*antiparalelă*).

Feromagnetismul este fenomenul prin care momentele magnetice ale atomilor din anumite domenii ale unui material sunt practic aliniat în aceeași direcție și sens. Zona în care există aceeași orientare a momentelor magnetice (posedă o magnetizație spontană) se numește *domeniu magnetic* sau *domeniu Weiss*. Domeniile magnetice sunt separate între ele prin straturi în care are loc o tranziție a orientării spinilor. Aceste straturi de tranziție poartă numele de *perete Bloch*.

Un monocristal (sau într-un material policristalin fiecare grăunte cristalin) poate conține mai multe domenii Weiss separate de pereți Bloch; în mod evident, limitele dintre grăunți sunt pereți Bloch datorită deranjamentului din rețea existent în aceste zone.

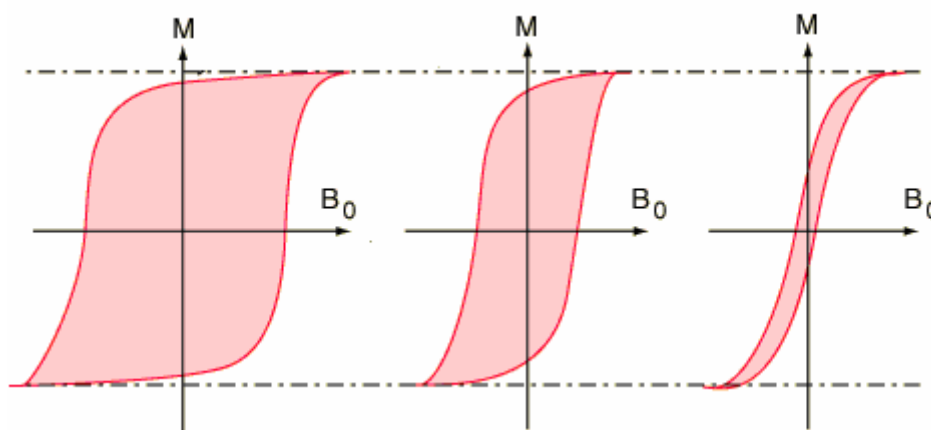
În absența unui câmp magnetic exterior suma vectorială a orientării magnetice a domeniilor poate fi nulă iar materialul nu apare afectat de nici o magnetizație spontană. Când se aplică un câmp magnetic exterior acestui material, domeniile magnetice a căror orientare este apropiată de cea a câmpului vor crește prin deplasarea pereților Bloch.



Principala caracteristică a materialelor feromagnetice o constituie variația neliniară a inducției magnetice cu intensitatea câmpului magnetic. Variația neunivocă a inducției magnetice într-un material feromagnetic asociată variației ciclice a intensității câmpului magnetic se numește *ciclu histerezis*.

Suprafața ciclului histerezis reprezintă energia consumată pe unitatea de volum de material, pentru reorientarea momentelor magnetice a domeniilor și pentru deplasarea pereților Bloch, în timpul unui ciclu complet de variație a câmpului magnetic exterior. Această energie este disipată sub formă de căldură.

Materialele la care se menține starea de magnetizare după anularea câmpului exterior (suprafața ciclului histerezis mare)) sunt materiale *magnetic dure* iar cele la care magnetizația dispare (suprafața ciclului histerezis mică) sunt materiale *magnetic moi*.

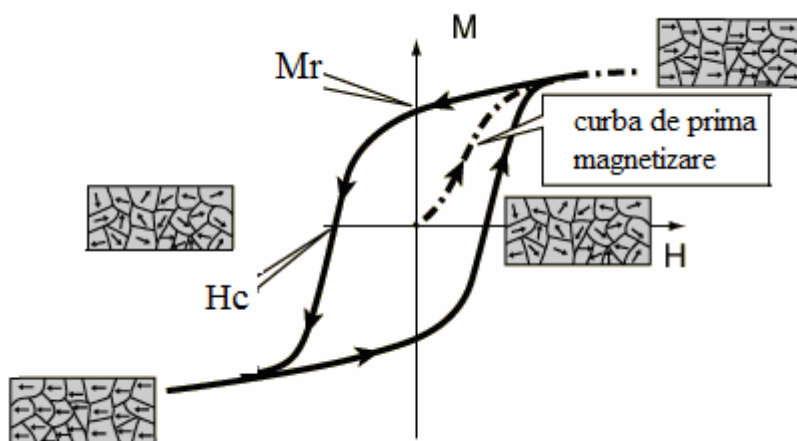


Curba de histerezis

Ciclu histerezis are următorii parametri caracteristici:

- *inducția de saturație* B_s este valoarea limită pe care o poate atinge inducția magnetică, oricât de mare ar fi intensitatea câmpului magnetic;
- *inducția remanentă* B_r este valoarea inducției magnetice care se manifestă în material atunci când intensitatea câmpului se reduce la zero;
- *câmpul coercitiv* H_c este valoarea câmpului magnetic de sens opus care anulează inducția remanentă a materialului.

În regim staționar se poate trasa curba $B = f(H)$ mărind treptat curentul de excitație. Dacă materialul nu a mai fost magnetizat, prin creșterea intensității câmpului de la 0 la H_{max} se obține *curba de primă magnetizare*. Aceasta prezintă o porțiune aproape liniară în care inducția crește practic liniar cu intensitatea câmpului inductor după care creșterea inducției este mai puțin pronunțată. Se parcurge o zonă de cot –zona cotului de saturație– după care, dincolo de punctul căruia i se atribuie valoarea maximă a intensității câmpului, H_{max} , inducția nu mai crește oricât s-ar mări intensitatea câmpului. De la valoarea maximă a câmpului, materialul se află în stare de saturație magnetică.



Micșorându-se intensitatea câmpului de la H_{max} către 0, se constată că valorile inducției rămân mai mari decât cele anterioare și că, la anularea câmpului inductor, materialul rămâne cu *inducția remanentă* B_r . Pentru a o anula, trebuie să se crească intensitatea câmpului, în sens contrar celui inițial, până la o valoare $-H_c$ numită *câmp coercitiv*.

Continuându-se variația câmpului inductor până la $-H_{max}$ și înapoi până la $max + H$, se parcurge o curbă închisă numită *ciclu de histerezis magnetic*. După 4 – 5 parcurgeri ale ciclului acesta începe să fie parcurs în mod identic - se spune că ciclul de histerezis s-a stabilizat.

Fie un transformator cu N_1 și N_2 spire atunci:

$$H = \frac{N_1}{L} I \quad \text{și} \quad B = \frac{\Phi}{N_2 A}$$

unde: A este secțiunea feromagnetului și N/L este densitatea de spire a bobinei primare
Fluxul magnetic Φ se calculează ca integrala tensiunii U_s indusă în bobina secundarului.
Aria curbei de histerezis $B(H)$ este:

$$\int B dH = \frac{E}{V}$$

și corespunde densității de energie pierdute la remagnetizarea materialului demagnetizat.
Aria curbei $\Phi(I)$ ne da energia pierdută E la magnetizare pentru $N_1 = N_2$.

$$\int \Phi dI = \int N_2 A B \frac{L}{N_1} dH = \frac{N_1}{N_2} V \int B dH = \frac{N_1}{N_2} E$$

3. Montajul experimental

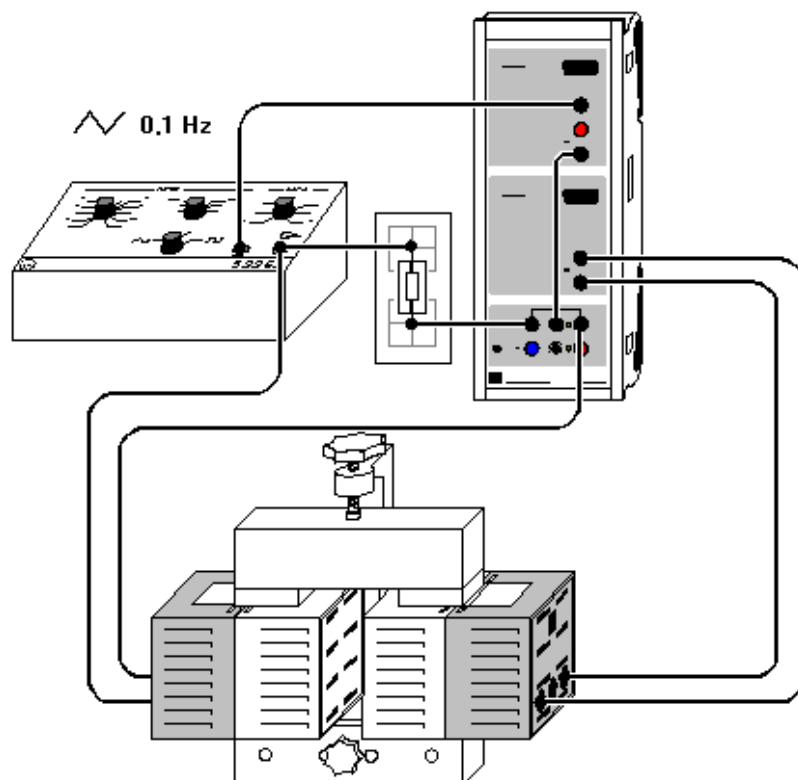
Echipament CASSY Hysteresis Lab (without POWER-CASSY) - LD

PC cu Windows 98 și CASSY Lab software

STE rezistentă cu 1Ω , 2W

Miez de fier în forma de U

Doa bobine cu $N_1=N_2=500$ spire



4. Modul de lucru

Setari:

- se selecteaza semnalul de iesire -dinti de fierastrau
- frecventa aproximativ 0,1 Hz
- amplificarea 1-2V (recomandat 1V)
- trigger la $I = 0 A$

- Se face dublu clic pe CASSY si se selecteaza CASSY Hysteresis Lab (without POWER-CASSY)
- Se deschide settings U_B , se selecteaza "correct", se pune prima valoare la "0 V" si se face clic pe "Correct Offset"
- Se demagnetizeaza miezul transformatorului prin izbirea de mai multe ori a fetei terminale a clemei si a fetei terminale a miezului in forma de U
- Se porneste masuratoarea cu F9
- Se opreste masuratoarea tot din F9 dupa o perioada a curbei histeresis sau la $F = 0Vs$ (in acest caz miezul nu mai trebuie demagnetizat din nou)
- Trasarea dependentelor: $\Phi(I)$, $B(H)$ si $M(H)$.
- Se selecteaza o curba care porneste din zero este simetrica si bine centrata.
- Se calculeaza integrala : clic mouse dreapta, se selecteaza "Calculate integral", "Peak area" si se afisaza cu F6
- Se salveaza datele cu F2

5. Prelucrarea datelor experimentale

- Aria curbei $\Phi(I)$ se determina energia pierduta la remagnetizare, E pentru $N_1 = N_2$
- Din dependenta $B(H)$ se determina permeabilitatea magnetica relativa μ_r ,
- Din dependenta $M(H)$ se determina magnetizarea remanenta M_r , campul coercitiv H_c , si magnetizarea de saturatie M_s .

6. Intrebari

- a. Ce este un domeniu de magnetizare?
- b. Ce este permeabilitatea magnetica si permeabilitatea relativa?
- c. Ce este curba de histeresis si cum se poate obtine?
- d. Ce reprezinta punctul de saturatie si curba de magnetizare?
- e. Cum se poate calcula energia disipata pe intreg ciclul histeresis?

7. Bibliografie

CASSY Lab-LD

Anexa 1

Funcționarea transformatorului

Transformatorul are cel puțin două înfășurări, 1-înfășurarea primară, 2-înfășurarea secundară, așezate pe un circuit magnetic (miez magnetic) din tole de oțel electrotehnic. Mărimile care se referă la înfășurarea primară se notează cu indicele 1, iar cele care se referă la înfășurarea secundară se notează cu indicele 2. Miezul magnetic are rolul de a asigura calea de închidere a câmpului magnetic, în acest fel cuplajul magnetic dintre cele două înfășurări este mult mai bun, aproape întreg fluxul magnetic produs de una din înfășurări o străbate și pe cealaltă.

Înfășurarea primară este alimentată de la o sursă de tensiune electromotoare cu tensiune variabilă sinusoidal în timp. În circuitul acesteia apare un curent i , de asemenea variabil sinusoidal în timp, care va produce prin circuitul magnetic un flux magnetic variabil în timp. Circuitul electric al înfășurării primare fiind inductiv, curentul din înfășurarea primară este defazat în urma tensiunii de alimentare cu 90° .

Presupunem o variație sinusoidală a fluxului magnetic prin secțiunea miezului:

$$\phi = \phi_{\max} \sin \omega t$$

Înfășurările primară și secundară fiind străbătute de un flux magnetic variabil în timp se vor induce în acestea tensiunile electromotoare:

$$u_{e1} = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -N_1 \frac{d\phi}{dt} = -\omega \phi_m N_1 \cos \omega t$$

$$u_{e2} = -\frac{d\Psi_2}{dt} = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -\omega N_2 \cos \omega t$$

Cele două tensiuni electromotoare induse sunt defazate cu 90° în urma fluxului magnetic inductor Φ . Valorile efective ale tensiunii electromotoare induse în înfășurările transformatorului sunt:

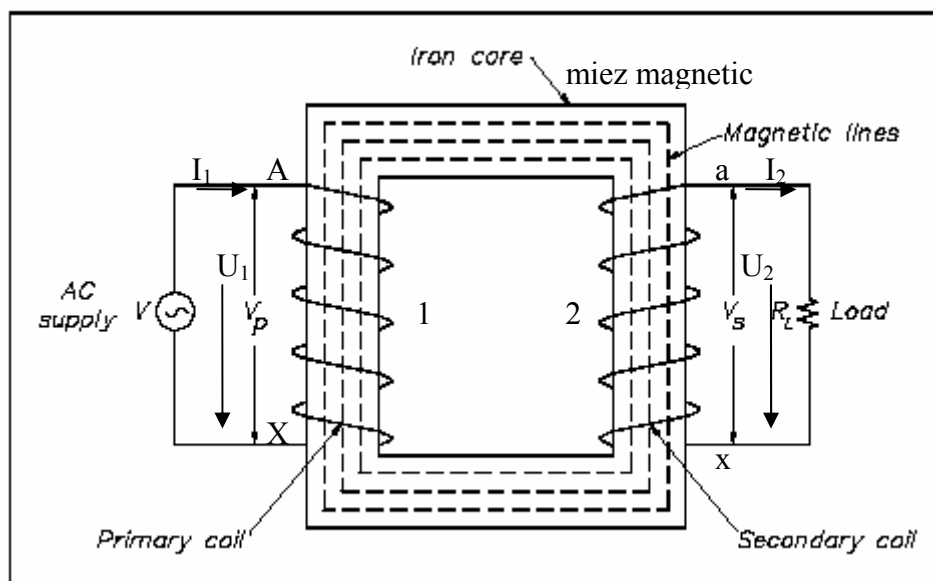
$$U_{e1} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N_1 \phi_m, \quad U_{e2} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N_2 \phi_m$$

Se observă că raportul dintre valorile efective ale t.e.m. este:

$$\frac{U_{e1}}{U_{e2}} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

k – se numește raport de transformare al transformatorului.

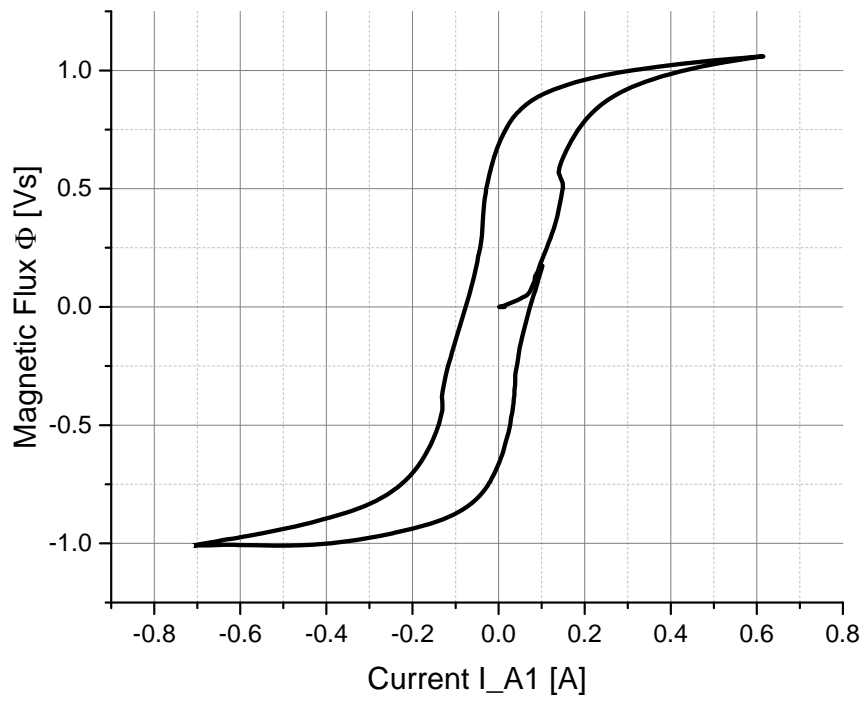
Transformatorul poate fi coborâtor de tensiune, dacă $U_1 > U_2$, sau ridicător de tensiune, când $U_1 < U_2$.



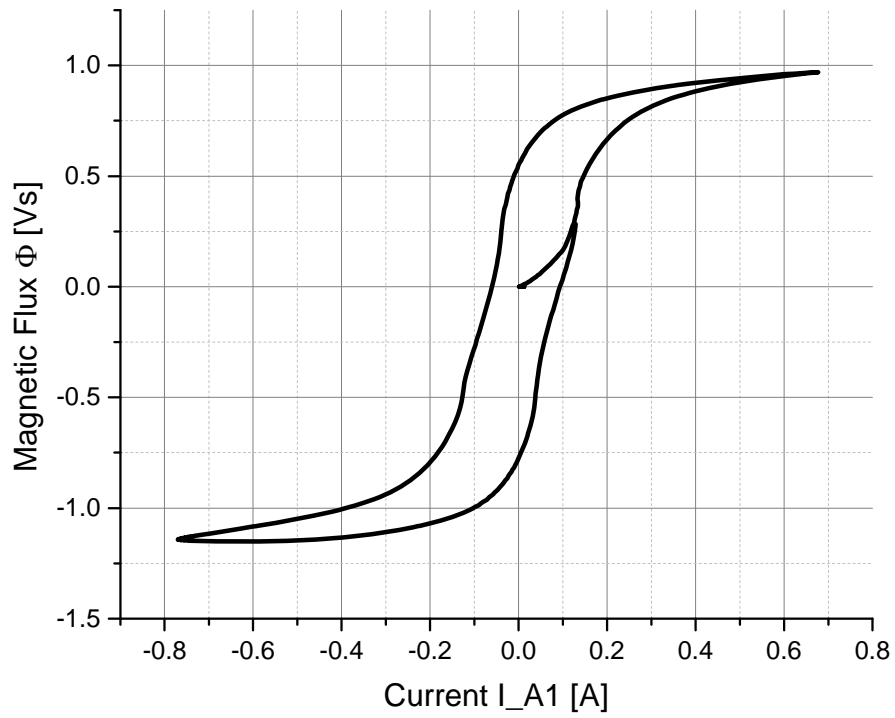
Capetele înfășurărilor transformatorului se notează cu literele A, B, C, sau a, b, c – începuturile și cu literele X, Y, Z sau x, y, z sfârșiturile înfășurărilor.

Sensurile de referință pentru tensiuni sunt de la borna A spre X pentru U_1 respectiv de la borna a spre x pentru U_2 . Pentru curenți sensurile de referință sunt asociate cu cele ale tensiunilor după regula de la receptor pentru înfășurarea primară, respectiv după regula de la generator pentru înfășurarea secundară.

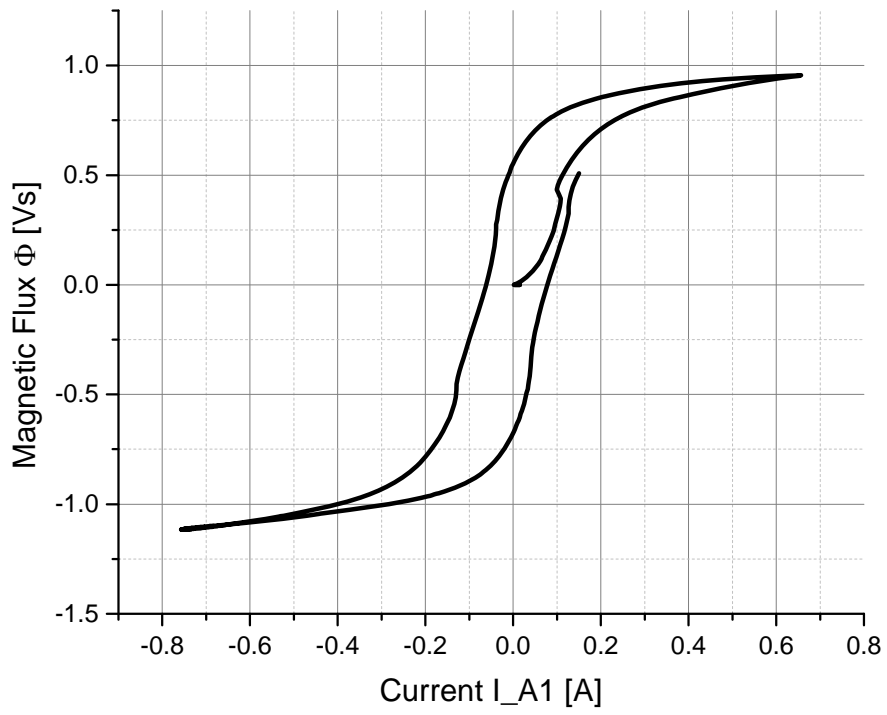
Test 1



Test 2



Test 3



Test 4

