

LUCRAREA 3

Materiale magnetice

Scopul lucrării

Studiul comportării materialelor feromagnetice în gama de frecvență. Determinarea experimentală a variației permeabilității complexe relative cu frecvența.

Introducere teoretică

Materialele magnetice reprezintă o clasă de materiale care se caracterizează prin stări de magnetizare cu funcții de utilizare. Prin stare de magnetizare se înțelege starea materiei caracterizată prin moment magnetic al unității de volum diferită de zero. Ea este de natură atomică, fiind generată de mișcarea electronilor pe orbită și în jurul axei proprii, mișcări ce dau naștere unor momente magnetice.

Starea de magnetizare a unui material magnetic poate fi: temporară, atunci când depinde de existența unui câmp magnetic extern și se anulează odată cu acesta, sau permanentă, atunci când este independentă de existența unui câmp magnetic extern. Vectorul magnetizare conține deci în general două componente:

$$\underline{M} = \underline{M}_t + \underline{M}_p$$

Dependența dintre intensitatea câmpului magnetic și magnetizației temporare este dată de legea magnetizării temporare:

$$\underline{M}_t = \chi_m \underline{H}$$

unde χ_m este susceptibilitatea magnetică și depinde de natura materialului.

Permeabilitatea complexă și tangenta unghiului de pierderi

În domeniul liniar, interacțiunea substanței cu câmpul magnetic este caracterizată de permeabilitatea complexă relativă:

$$\underline{\mu} = \mu' - j\mu'' = \underline{B} / \mu_0 \underline{H} \quad (1)$$

unde \underline{B} este inducția magnetică

\underline{H} este intensitatea câmpului magnetic

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m este permeabilitatea absolută a vidului

Fie o bobină ideală (fără pierderi) cu inductanța xxx în vid. Introducând în interiorul bobinei un material magnetic închis, astfel încât întregul flux magnetic să circule prin material, impedanța bobinei devine:

$$\underline{Z} = j\omega L_0 \underline{\mu} = j\omega \mu' L_0 + \mu'' \omega L_0$$

(2)
Bobina cu miez magnetic este echivalentă cu o bobină fără pierderi cu inductanța $\mu' L_0$ în materialul magnetic $r_m = \mu' \omega L_0$.

Partea reală μ' a permeabilității complexe caracterizează starea de magnetizație a materialului magnetic, iar partea imaginară μ'' caracterizează pierderile în materia.

Notând cu δ_m unghiul de pierderi a materialului magnetic rezultă:

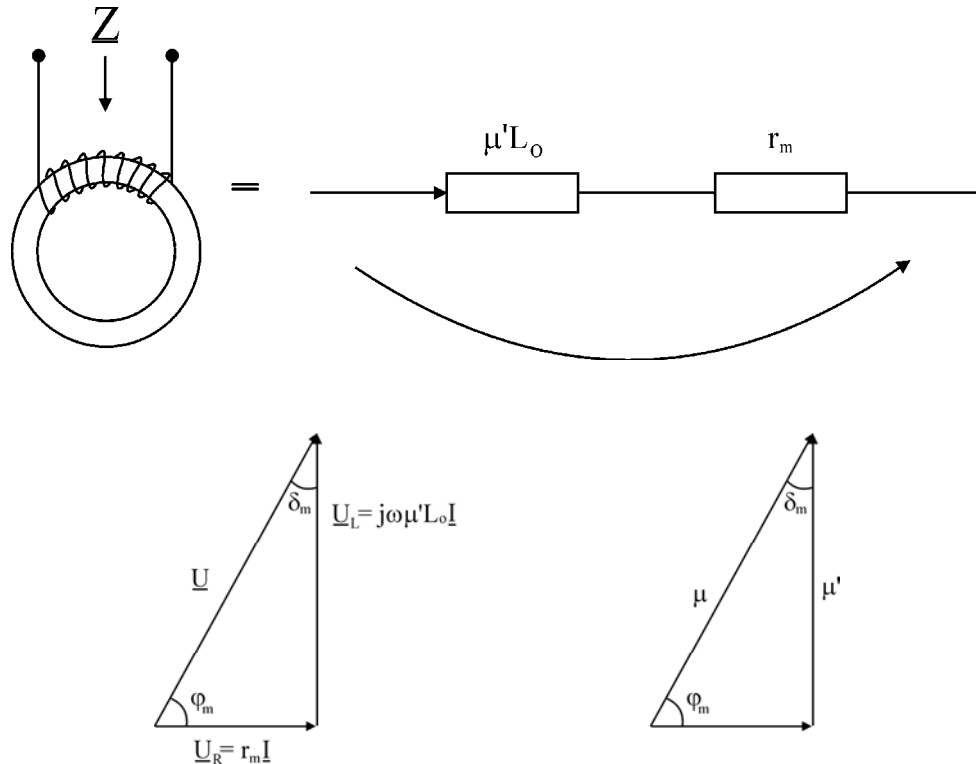


Fig. 1 Bobina ideală cu miez magnetic Bobina ideală cu miez magnetic

$$\operatorname{tg} \delta_m = U_R / U_L = r_m I / \omega \mu' L_0 I = r_m / \omega \mu' L_0 = \mu'' / \mu' \quad (3)$$

Inversul tangentei unghiului de pierderi se numește factor de calitate al materialului magnetic:

$$Q_m = -\frac{1}{\operatorname{tg} \delta_m} = \frac{\mu'}{\mu''} \quad (4)$$

Tipuri de magnetizare

În ipoteza unor pierderi în material nule ($\mu'' = 0$) relația 1 devine:

$$\underline{B} = \mu' \mu_0 \underline{H} \quad (5)$$

Notând cu \underline{M} magnetizația corpului rezultă:

$$\underline{M} = (\underline{B} - \mu_0 \underline{H}) / \mu_0 = (\mu' - 1) \underline{H} = \lambda_m \underline{H} \quad (6)$$

unde $\lambda_m = \mu' - 1$ reprezintă susceptivitatea magnetică.

Din punct de vedere al stării de magnetizare, materialele se împart în: diamagnetice, paramagnetice, feromagnetice, antiferomagnetice și ferimagnetice.

Materialele diamagnetice au $\lambda_m < 0$ deci $\mu' < 1$. Valorile lui λ_m sunt foarte mici în valoare absolută (de ordinul 10^{-6}) și sunt independente de temperatură. Materialele cu comportare diamagnetică sunt: hidrogenul, carbonul, argintul, aurul, cuprul, plumbul, zincul, germaniul, seleniul, siliciul, etc.

Materialele paramagnetice au în absența câmpului magnetic un moment magnetic propriu. Momentele magnetice, orientate haotic datorită agitației termice, tind să se orienteze în direcția câmpului aplicat. Materialele paramagnetice au deci $\lambda_m > 0$ și $\mu' > 1$, dacă valorile absolute ale susceptivității sunt mici (de ordinul 10^{-6}). Materialele cu comportare paramagnetică sunt: oxigenul, aluminiul, platina, cromul, manganul, potasiul, etc.

Materialele feromagnetice au, ca și cele paramagnetice moment magnetic propriu, dar momentele magnetice ale atomilor vecini sunt orientate identic, formând domenii de magnetizare spontană. Diversele domenii sunt orientate diferit, dar sub influența unui câmp magnetic exterior se orientează în același sens, ceea ce se materializează la nivel macroscopic prin valori foarte mari ale permeabilității magnetice, și prin dependența liniară cu histerezis a inducției de intensitatea câmpului.

Se notează: H_c – intensitatea câmpului coercitiv
 H_s – intensitatea câmpului de saturație
 B_r – inducția remanentă
 B_s – inducția de saturație

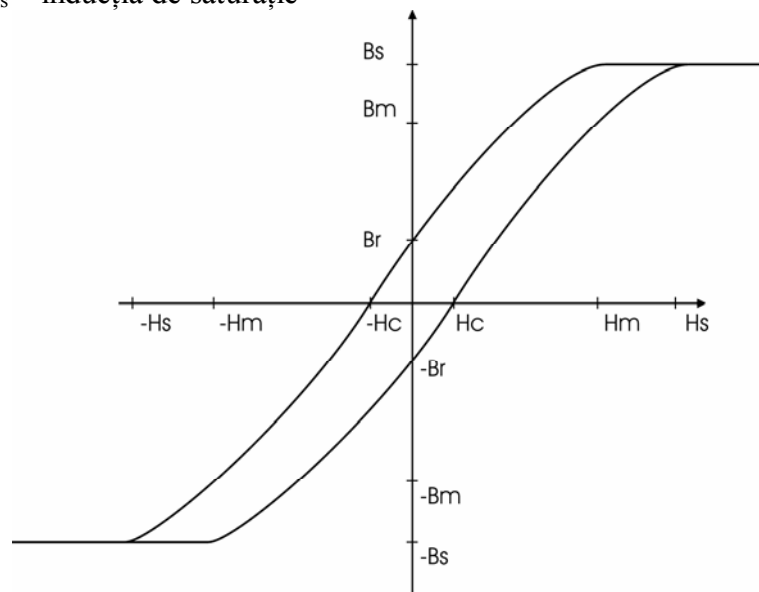


Fig. 2 Dependența $B=B(H)$ la materialele feromagnetice

Pentru caracterizarea materialului în jurul unei anumite stări (definită printr-o pereche de valori B, H) se utilizează următoarele permeabilități magnetice relative:

- permeabilitatea statică $\mu_{st} = B / \mu_0 H$
- permeabilitatea diferențială $\mu_{dif} = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} (\Delta B / \mu_0 \Delta H)_{in\ sens\ direct}$ care este proporțională cu panta curbei $B=B(H)$ cu creșterea lui H .
- permeabilitatea dinamică $\mu_d = (\Delta B / \mu_0 \Delta H)_{H \rightarrow H_0, B \rightarrow B_0}$ care este proporțională cu panta medie a ciclului deschis de material în jurul stării H_0, B_0 .
- permeabilitatea reversibilă $\mu_{rev} = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} (\Delta B_0 / \mu_0 \Delta H)_{H_0, B_0}$ care este proporțională cu panta ciclului reversibil descris în jurul stării H_0, B_0 .
- permeabilitatea inițială $\mu_i = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} (\Delta B / \mu_0 \Delta H)_{H \rightarrow 0, B \rightarrow 0}$ caracterizează panta în primul domeniu de reversibilitate (în jurul stării H_0, B_0).

Materialele feromagnetice se transformă în paramagnetice la temperaturi mai mari decât temperatura Curie (T_c).

Materialele cu comportare feromagnetică sunt: fierul, cobaltul, nichelul, gadolinul și aliajele lor.

Materialele antiferomagnetice au în structura lor două subrețele magnetice cu momente magnetice egale și orientate antiparalele. Materialele antiferomagnetice (cele mai cunoscute fiind MnO, FeO) nu au importanță practică deosebită.

Materialele ferimagnetice au de asemenea două (sau mai multe) subrețele magnetice cu momente opuse dar acestea sunt recompensate. Dependența $B=B(H)$ are forma unei curbe de histerezis ca la materialele feromagnetice. Materialele ferimagnetice au rezistivități ridicate care determină pierderi reduse prin curenți turbionari, ceea ce le avantajează față de materialele feromagnetice (bune conductoare electrice).

Materialele metalo-ceramice cu proprietăți ferimagnetice se numesc ferite. După metalul caracteristic din structura lor acestea poartă denumirea de ferite de cobalt, de nichel, etc.

Pierderi în materialele magnetice

Prin materiale magnetice se înțelege de obicei materialele fero- sau ferimagnetice. Pierderile de energie ale câmpului magnetic în material sunt de mai multe tipuri.

Pierderile prin curenți turbionari se datorează curenților induși în material și sunt invers proporționale cu rezistivitatea acestuia. Într-un material feromagnetic introdus în câmp magnetic variabil se induce, conform inducției electromagnetice, tensiuni electromotoare, care generează curenți turbionari. Se arată că pentru a micșora pierderile prin curenții turbionari este necesar ca:

- grosimea materialului să fie mică (materialul utilizat sub formă de tole sau pulbere)
- rezistivitatea să fie cât mai mare (utilizarea materialelor ferimagnetice)
- scăderea conductivității materialului

Pierderile prin histerezis sunt invers proporționale cu aria ciclului histerezis. Pierderile prin histerezis depind numai de forma curbei de histerezis, reducerea lor fiind determinată de utilizarea unor materiale cu un ciclu histerezis de suprafață cât mai mică. Pierderile prin magnetizare provin din rămânerea în urmă a inducției la variații rapide ale intensității câmpului magnetic, fenomen de natura unei vâscozități termice.

Clasificarea materialelor magnetice

După forma ciclului histerezis materialele fero- și ferimagnetice se clasifică în două grupe:

- materiale magnetice moi, pentru care câmpul coercitiv este cel mult de 80A/m
- materiale magnetice dure, pentru care câmpul coercitiv este mai mare de 4000A/m

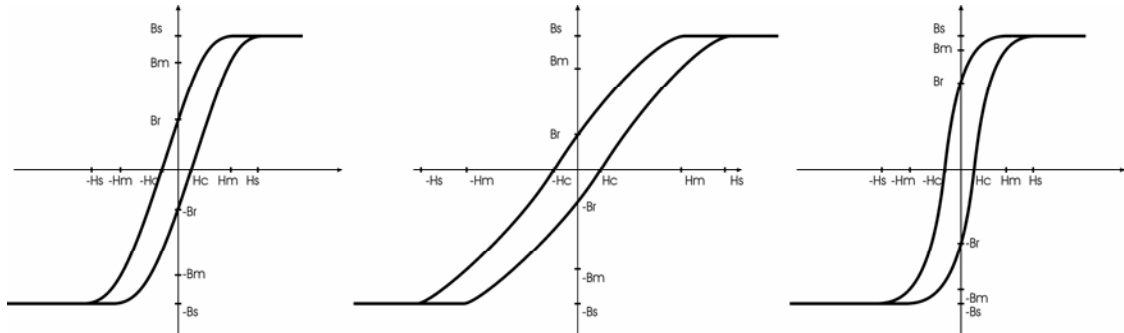


Fig. 3 Cicluri de histerezis ale materialelor magnetice moi

Materialele magnetice moi se împart la rândul lor în trei tipuri, după raportul B_r/B_m .

- a) $B_r/B_m < 0,5$ – permeabilitatea relativ mică după constanta cu intensitatea câmpului; sunt utilizate pentru miezurile bobinelor cu conductivitate constantă cu câmpul
- b) $0,5 < B_r/B_m < 0,8$ – permeabilitate mare dar puternic dependentă de câmp; se utilizează pentru miezuri de bobine și pentru transformatoare
- c) $B_r/B_m > 0,8$ – sunt denumite materiale cu ciclu histerezis dreptunghiular (CHD); sunt utilizate la fabricarea miezurilor pentru memorie și comutație

Materialele magnetice dure se clasifică de asemenea după raportul B_r/B_m (fig.)

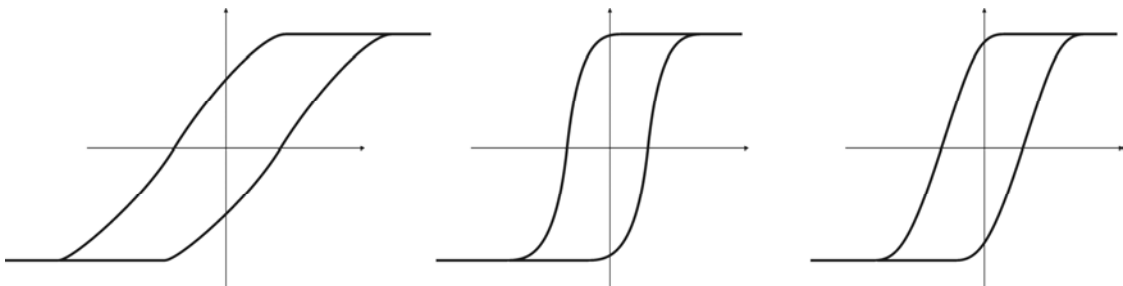


Fig. 4 Cicluri de histerezis ale materialelor magnetice dure

- a) $B_r/B_m < 0,4$ – se utilizează pentru înregistrarea magnetică a informației
- b) $B_r/B_m > 0,4$ – materiale pentru magneți permanenți; se preferă cele cu inducția remanentă cât mai mare deci cele care se apropie de forma dreptunghiulară a ciclului histerezis.

Funcțiile materialelor magnetice

Proprietățile materialelor fero și ferimagnetice le conferă acestora o largă aplicabilitate practică în îndeplinirea unor funcții specifice, ca suport material al utilizării tehnice a fenomenelor electromagnetice. Principalele funcții sunt:

- **Funcția de miez magnetic.** O bobină cu miez magnetic este echivalenta unei bobine cu vid cu inductivitate de μ_r ori mai mare. Se utilizează în special la circuitele magnetice ale mașinilor și aparatelor electrice, ale bobinelor și transformatoarelor, etc.
- **Funcția de generare a câmpului magnetostatic.** Un circuit magnetic cu întrefier, al cărui miez magnetic a fost în prealabil magnetizat până la saturație, reprezintă un magnet permanent între polii cărui există un câmp magnetostatic.
- **Funcția de înregistrare magnetică a informației.** Această funcție se bazează pe proprietatea că magnetizarea remanentă să depindă univoc de câmpul magnetic de excitație. Materialele utilizate în acest scop trebuie să aibă un câmp coercitiv mare care să împiedice efectul de ștergere a informației sub influența unor câmpuri perturbatoare.
- **Funcții neliniare și parametrice.** Caracterul neliniar al caracteristicii de magnetizare a materialelor magnetice în special al celor cu ciclu histerezis dreptunghiular, permite realizarea unor funcții de circuit neliniare și parametrice.
- **Funcția de ecran magnetic.** În vederea înlăturării acțiunii perturbatoare a unor câmpuri electromagnetice exterioare unele dispozitive și elemente electronice se ecranează.
- **Funcția de traductor piezomagnetic.** Materialele fero- și ferimagnetice suferă modificări ale dimensiunilor exterioare sub influența variației stării de magnetizare, fenomen denumit piezomagnetism. De regulă materialele piezomagnetice îndeplinesc funcția de traductor piezomagnetic, invers, transformând energia electromagnetică în energie mecanică (generatoare sonore și ultrasonore).
- **Funcția de traductor de temperatură.** Variația cu temperatura, la câmp constant, la permeabilități relative cu preponderență în apropierea temperaturii Curie, permit utilizarea acestora ca traductoare de temperatură.

Înregistrarea magnetică a informației

Aproape toate unitățile de disc din calculatoarele personale funcționează pe principii magnetice. Sunt folosite adesea și unitățile de disc cu înregistrare pur optică, ca o a doua modalitate de memorare a informațiilor; este însă foarte probabil ca sistemul la care este conectat un disc optic să folosească un mediu magnetic drept forma principală de păstrare a informațiilor. Este foarte probabil ca discurile optice și mediile optice să nu înlocuiască niciodată total memoriile pe mediu magnetic din calculatoarele personale, datorită faptului că memoriile magnetice au posibilități foarte mari în ceea ce privește creșterea densității și a performanțelor în funcționare.

Unitățile cu mediu de înregistrare magnetic, cum sunt unitățile de dischete și cele de hard-disc, funcționează folosind electromagnetismul. Acest principiu de bază al fizicii afirmă că, în jurul unui conductor prin care trece curent electric, este generat un câmp magnetic.

Câmpul astfel creat polarizează orice material magnetic aflat sub influența sa. Dacă se schimbă sensul curentului electric, atunci se inversează și polaritatea câmpului magnetic.

Motoarele electrice folosesc electromagnetismul, pentru a exercita forțe de atracție și de respingere asupra unor magneți aflați pe rotor.

Un alt efect al electromagnetismului este acela că într-un conductor aflat într-un câmp magnetic variabil se induce un curent electric. Sensul curentului electric indus se schimbă o dată cu schimbarea polarității câmpului magnetic. De exemplu, un model de generator folosit la automobile, numit alternator, funcționează prin rotirea unor electromagneți în interiorul unui stator construit din spire de fire conductoare, stator în care se pot induce curenți foarte mari. Dublul efect al electromagnetismului face posibilă înregistrarea informațiilor pe un disc și citirea lor ulterioară.

Capetele de scriere/citire din unitățile de disc (atât la dischete cât și la hard-disc) sunt piese în formă de U construite din material bun conductor de electricitate. Pe acest obiect în formă de U sunt înfășurate spire din sârmă prin care poate trece curent electric. Atunci când partea logică a unității de disc comandă trecerea unui curent electric prin spire, în capul de citire/scriere se induce un câmp magnetic. Dacă polaritatea curentului electric se schimbă, atunci se schimbă și polaritatea câmpului magnetic indus. În esență, capetele care sunt electromagneți a căror polaritate poate fi schimbată foarte rapid.

Câmpul magnetic indus în capul de citire/scriere „sare” peste întrefierul existent la capătul în formă de U al acestuia. Liniile de forță ale câmpului magnetic din întrefier se curbează către exterior trecând prin stratul magnetic al discului aflat chiar sub capul de scriere/citire, deoarece acesta oferă un traseu cu rezistență magnetică mai mică decât cea a aerului din întrefier. Câmpul magnetic care trece prin stratul activ aflat chiar sub întrefier orientează particulele magnetice în același sens cu el. Polaritatea câmpului magnetic și deci și cea a stratului magnetic de pe disc depind de sensul în care curentul electric circulă prin înfășurările capului.

Un disc constă dintr-un suport, pe care este depus un material care se poate magnetiza ușor. Materialul magnetic este de obicei oxid de fier combinat cu diverse alte elemente. Pe un disc șters polaritățile câmpurilor magnetice ale particulelor de oxid de fier sunt într-o stare de dezordine aleatoare. Câmpurile particulelor individuale fiind orientate haotic, fiecare dintre aceste câmpuri este anulat de unul de polaritate opusă, astfel încât întreaga suprafață a discului pare nepolarizată.

Particulele aflate imediat sub întrefierul capului de citire sunt orientate de câmpul magnetic al acestuia în același sens cu câmpul. După ce se produce orientarea câmpurilor individuale, acestea nu se mai anulează reciproc și, în regiunea respectivă de pe suprafața discului apare un câmp magnetic observabil. Acest câmp local este generat de mai multe particule, care acum lucrează ca o echipă, pentru a produce un câmp magnetic cumulativ, de polaritate unică, care poate fi detectat. Termenul flux este folosit pentru a descrie un câmp magnetic care are o direcție anume.

Pe măsură ce discul se rotește pe sub capul de scriere, acesta poate induce în stratul magnetic de pe suprafața discului un flux magnetic. La inversarea sensului curentului electric din înfășurarea capului, se inversează și polaritatea fluxului magnetic indus pe suprafața discului. Inversările de flux sau tranzațiile de flux sunt schimbări ale sensului orientării particulelor magnetice de pe suprafața discului.

Un cap de scriere induce pe disc tranziții de flux, pentru a înregistra informații. Pentru fiecare bit (sau biți) de informație care sunt scriși pe disc, în stratul magnetic sunt induse secvențe de tranziții de flux, pe suprafețe bine determinate, denumite celule de tranziții sau celule bit. Celulele bit sau celulele de tranziții sunt zone de pe suprafața discului, determinate

de viteza de rotație și de timpul în care capul de scriere induce tranzițiile de flux. Secvența specifică de tranziții de flux dintr-o celulă de tranziții, folosită pentru a memora un bit sau mai mulți biți de informație, se numește metodă de codificare. Logica unității de disc, controllerul, preia informațiile care trebuie înregistrate și le codează într-o serie de tranziții de flux de durate bine determinate, conform cu metoda de înregistrare folosită. Cele mai răspândite metode de înregistrare sunt: Modified Frequency Modulation (MFM – modulația în frecvență modificată) și Run Length Limited (RLL). Toate unitățile de dischetă folosesc metoda MFM. Unitățile de hard-disc folosesc fie metoda MFM, fie diferite variante ale metodei RLL.

Pe durata procesului de scriere, capului de scriere i se aplică o tensiune, inversarea polarității acestei tensiuni ducând și la inversarea polarității câmpului magnetic care se înregistrează. Tranzițiile de flux sunt înscrise exact în punctele în care se inversează polaritatea înregistrării. Oricât ar părea de ciudat, la citire, capul de citire nu scoate exact semnalele care au fost scrise; în locul acestora, capul generează un impuls de tensiune, atunci când trece peste o tranziție de flux. Dacă tranziția este de la pozitiv la negativ, impulsul indus în cap are o tensiune negativă. Dacă tranziția este de la negativ la pozitiv, impulsul va fi unul de tensiune pozitivă.

În concluzie, în timpul citirii informației de pe disc, capul devine un detector de tranziții de flux. Zonele fără tranziții de flux nu generează impulsuri. În figura de mai jos xxx se arată relațiile care există între formele de undă la scriere și la citire și tranzițiile de flux care au fost înregistrate pe disc.

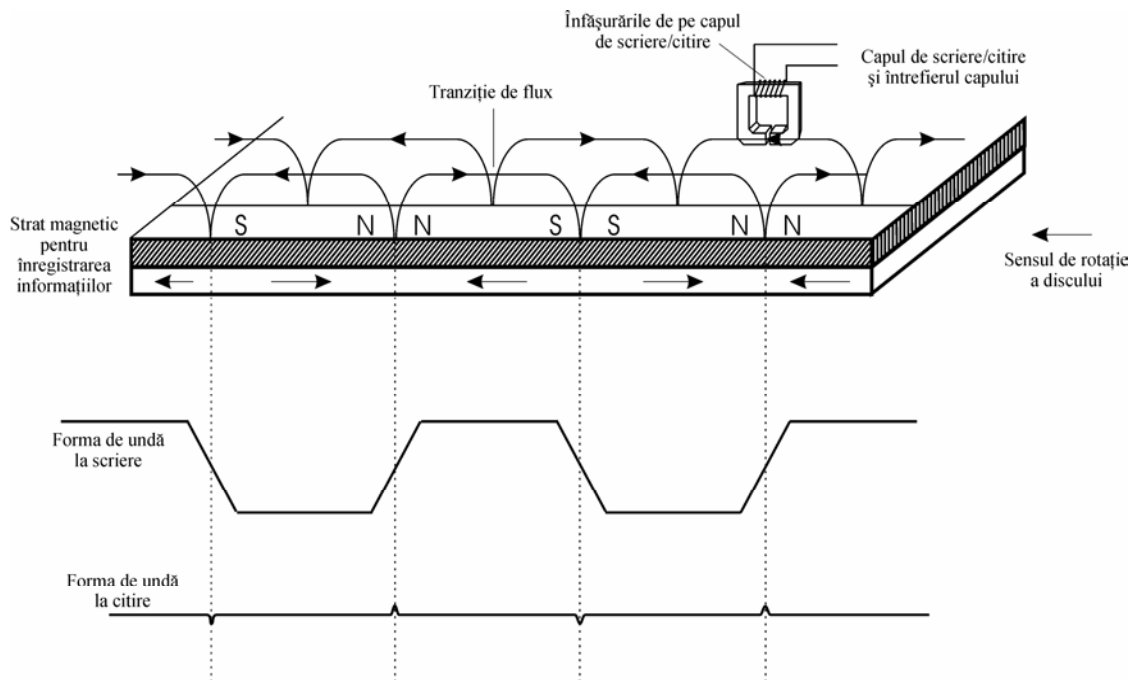


Fig. 5

Se poate imagina secvența de scriere ca fiind o formă de undă dreptunghiulară, cu valori ale tensiunii, fie pozitive, fie negative, și care polarizează continuu stratul magnetic de pe disc, fie într-un sens, fie în celălalt. Acolo unde tranzițiile formei de undă trec de la tensiunea pozitivă la cea negativă, sau invers, și fluxul magnetic de pe disc își schimbă polaritatea. La citire, capul sesizează tranzițiile de flux și scoate la ieșire o undă sub formă de impulsuri, între impulsuri semnalul având o tensiune de zero volți. Impulsurile apar numai

atunci când pe stratul magnetic apar tranziții de flux. Știind cu ce frecvență de ceas au fost scrise informațiile, circuitele logice ale unității sau ale controllerului pot stabili dacă în interiorul unei celule de tranziții date există un impuls (și deci o tranziție de flux).

Impulsurile de curent electric care se generează în capul de citire în timp ce acesta trece peste suprafața discului sunt foarte slabe și pot conține mult zgomot. Circuitele electronice foarte sensibile ale unității și ale controllerului pot să amplifice semnalul peste nivelul zgomotului și, plecând de la trenul de impulsuri slabe, să refacă informațiile, care sunt (teoretic) indice cu cele care au fost înregistrați inițial.

Concluzii. Scrierea pe disc și citirea de pe disc se fac folosind principiile de bază ale electromagnetismului. Informațiile sunt înscrise pe disc prin trecerea unor curenți electrici printr-un electromagnet (capul de scriere/citire) care generează un câmp magnetic care se păstrează pe disc. Informațiile se citesc de pe disc trecând iar capul peste suprafața discului; atunci când apar schimbări ale polarității câmpului de pe disc, în cap se induce un curent electric slab care indică prezența sau absența tranzițiilor de flux în semnalul care a fost înregistrat inițial.

BIBLIOGRAFIE

1. Cătușeanu V., Iancu O. - Materiale și componente electronice, E.D.P. 1972
2. Dragomirescu A., Svasta P. - Materiale și componente electronice, îndrumar de laborator U.P.B. 1973
3. Cătușeanu V. - Materiale pentru electronică, E.D.P. 1982