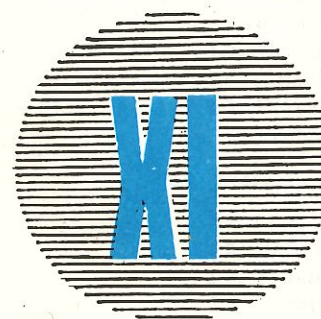


MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

NICOLAE GHERBANOVSCHI

MARIA PRODAN

ȘTEFAN LEVAI



FIZICĂ

MANUAL PENTRU CLASA A XI-a



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI

Manualul a fost elaborat pe baza programei aprobate cu nr. 39732/1987.

Manualul a fost elaborat astfel:

Cap. 1, 2, 3, 4, 5, 6 de *N. Gherbanovschi*, lector, dr.
Cap. 7 (§: 1, 2, 3) și cap. 8 de *Șt. Levai*, conf. dr.
Cap. 7 (§: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) de *M. Prodan*, prof.

Referenți:

D. Ciobotaru, conf. dr.
I. Spânulescu, conf. dr.
C. Vrejoiu, conf. dr.

ISBN 973 — 30 — 0650 — 5

Redactor: *Ileana Birsan*
Tehnoredactor: *Ana Țimpău*

CUPRINS

*Cap. 1. Curentul alternativ

1.1. Circuite de curent alternativ. Comparatie cu circuitul de curent continuu	5
1.2. Osciloscopul electronic folosit în studiul circuitelor de curent alternativ	6
1.3. Rezistor în curent alternativ	8
1.4. Circuit serie cu rezistor și bobină în curent alternativ.....	8
1.5. Circuit serie cu rezistor și condensator în curent alternativ....	12
1.6. Circuit serie cu rezistor, bobină și condensator în curent alternativ (circuit RLC serie)	16
1.7. Rezonanța circuitului serie RLC	19
1.8. Circuitul paralel RLC în curent alternativ	22
1.9. Puterea în curent alternativ	25
Probleme	30

Cap. 2. Mașini electrice rotative

2.1. Clasificarea mașinilor electrice	34
2.2. Producerea curentului alternativ monofazat. Alternatorul....	35
2.3. Sistemul trifazat. Alternatorul trifazat	37
2.4. Reversibilitatea mașinii sincrone. Motorul sincron.....	41
2.5. Mașina electrică asincronă. Motorul asincron.....	43
2.6. Mașini de curent continuu	47
2.7. Generatorul de curent continuu	49
2.8. Reversibilitatea mașinilor electrice de curent continuu. Principiul de funcționare și mărimile caracteristice ale motorului de curent continuu	51
Întrebări. Probleme	57

*Cap. 3. Transformatorul

3.1. Principiul transformatorului	60
3.2. Construcția și funcționarea transformatorului monofazat....	61
3.3. Randamentul transformatorului	63
3.4. Experimente cu transformatoare	64
Întrebări. Probleme	67

*Cap. 4. Elemente de circuit neliniare

4.1. Noțiuni introductive	70
4.2. Dioda. Caracteristici și parametri. Redresarea curentului alternativ	72
4.3. Trioda. Caracteristici și parametri. Amplificarea	82
4.4. Tetroda și pentoda	93
Întrebări. Probleme	96

4.5. Semiconductoare. Purtători de sarcină în semiconductoare.....	99
4.6. Semiconductori cu impurități. Conductivitatea electrică a unui semiconductor cu impurități	102
4.7. Joncțiunea pn. Dioda semiconductoare.....	107
4.8. Redresarea cu diode semiconductoare.....	112
4.9. Tranzistorul	115
4.10. Perspectivele tuburilor electronice în epoca dispozitivelor semiconductoare și a circuitelor integrate	121
Întrebări. Probleme	122
Cap. 5. Oscilații electromagnetice	
5.1. Circuitul oscilant. Rezonanța	125
5.2. Trioda și tranzistorul în montaje generatoare de oscilații întreținute	135
Întrebări. Probleme	142
Cap. 6. Unde electromagnetice	
6.1. Cîmpul electromagnetic	143
6.2. Propagarea cîmpului electromagnetic. Unda electromagnetică	144
6.3. Producerea undelor electromagnetice.	149
6.4. Clasificarea undelor electromagnetice	154
6.5. Emisia, propagarea și recepția undelor electromagnetice de radiofrecvență	156
6.6. Radiolocația și radioastronomie	165
Întrebări. Probleme	169
Cap. 7. Optica	
7.1. Natura electromagnetică a luminii. Mărimi și unități energetice și fotometrice	171
Probleme	178
7.2. Determinarea vitezei luminii	179
7.3. Interferența luminii	180
Probleme	191
7.4. Difracția luminii	192
Probleme	196
7.5. Reflexia și refracția luminii	197
Probleme	201
7.6. Dispersia luminii	202
7.7. Absorbția luminii	207
Probleme	208
7.8. Polarizarea luminii	209
Probleme	212
7.9. Optica geometrică	213
7.10. Instrumente optice	227
Probleme	235
Cap. 8. Noțiuni de teoria relativității restrinse	
8.1. Bazele experimentale ale teoriei relativității restrinse	239
8.2. Postulatele lui Einstein. Consecințe	246
8.3. Transformările Lorentz	251
8.4. Cinematica și dinamica relativistă	252
Probleme	255

1. CURENTUL ALTERNATIV

1.1. CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV. COMPARAȚIE CU CIRCUITUL DE CURENT CONTINUU

Se numesc *circuite de curent alternativ* circuitele electrice alimentate cu tensiuni electromotoare alternative. Aceste circuite prezintă o importanță deosebită în producerea, transmisia și utilizarea energiei electromagnetice, în electrocomunicații și automatizări.

Cele mai simple și robuste mașini electrice, generatoare sau motoare, sînt acelea de curent alternativ. Transmisia optimă la distanță a energiei electromagnetice impune transformarea tensiunii, ceea ce se poate obține cu ajutorul transformatoarelor numai în curent alternativ. Semnalele corespunzătoare vorbirii, muzicii etc., care fac obiectul transmisiilor în telecomunicații, sînt practic suprapuneri de semnale alternative. Aceste exemple explică importanța practică a studiului circuitelor în regim permanent sinusoidal (numit și regim permanent armonic), adică a acelor circuite care, dacă sînt alimentate cu tensiuni alternative sinusoidale, atunci și intensitățile curenților din toate laturile circuitului reprezintă mărimi sinusoidale de aceeași frecvență.

Circuitele (rețelele) electrice pentru producerea, transmisia și distribuția energiei sînt circuite de curent alternativ sinusoidal cu frecvența standard de 50 Hz (în America de Nord și Australia 60 Hz), numită *frecvență industrială*. Această valoare a frecvenței a fost aleasă cît mai joasă pentru că dificultățile producerii și transmisiei energiei sînt cu atît mai mari, cu cît frecvența este mai înaltă, dar suficient de mare pentru ca variațiile intensității luminoase a lămpilor cu incandescență folosite în iluminat să nu fie sesizabile vederii.

Prin comparație cu circuitul în curent continuu, aplicarea legii lui Ohm în cazul circuitului în curent alternativ prezintă aspecte noi.

Dacă într-un circuit de curent continuu condensatorul întrerupe circuitul, într-un circuit de curent alternativ condensatorul rînd pe rînd se încarcă și se descarcă, neîmpiedicînd mișcarea oscilatorie de ansamblu a electronilor de conducție, deci stabilirea curenților alternativ în circuitul care îl conține.

Prezența unei bobine într-un circuit de curent alternativ face să apară fenomenul de autoinducție care contribuie la modificarea intensității curentului alternativ.

Rezistorul are în curent alternativ același efect ca și în curent continuu: absoarbe energie electrică pe care o transformă în căldură. Deci rezistorul opune curentului alternativ aceeași rezistență ca și curentului continuu.

Studiul experimental și teoretic al legii lui Ohm în curentul alternativ se va face pentru circuite în care generatorul de alimentare constituie o sursă de energie electromagnetică, sursă care introduce în circuitul din care face parte o t.e.m. alternativă e_g dată, independentă de structura rețelei în care este conectată și între ale cărei borne căderea de tensiune interioară este neglijabilă; adică $e_g = u = U\sqrt{2} \sin \omega t$, U fiind tensiunea efectivă.

În studiul variației cu timpul a tensiunii sau a intensității curentului, a comparației fazelor și amplitudinilor mărimilor periodice, o largă utilizare o are osciloscopul electronic a cărui descriere este prezentată în paragraful care urmează.

1.2. OSCILOSCOPUL ELECTRONIC FOLOSIT ÎN STUDIUL CIRCUITELOR DE CURENT ALTERNATIV

Este un aparat care permite vizualizarea fenomenelor periodice electrice, transformând semnalele electrice în semnale optice care pot fi observate pe un ecran sau pot fi fotografiate sub forma unor imagini numite oscilograme.

Elementul mobil al osciloscopului este un fascicul foarte subțire de electroni, practic lipsit de inerție, ceea ce permite studierea proceselor oscilatorii cu frecvențe de la câțiva herți pînă la sute de megaherți (10^8 Hz).

Partea principală a osciloscopului o reprezintă tubul catodic (fig. 1.1), cu următoarele componente:

a) un tun electronic, alcătuit dintr-un termocatod (C) pentru emisia electronilor și un sistem de electrozi cilindrici (W , A_1 și A_2) puși la diferite potențiale, cu ajutorul cărora se accelerează electronii și se formează fasciculul electronic foarte subțire;

b) două perechi de plăci de deflexie pe verticală (P_y) și pe orizontală (P_x) care deviază fasciculul corespunzător tensiunilor aplicate;

c) ecranul E , format dintr-un strat de substanță luminescentă (luminofor), depus pe peretele interior al ecranului de sticlă al tubului. Luminoforul (sulfură de zinc sau sulfură de cadmiu) are proprietatea de a emite lumină cînd este bombardat cu electroni. Fasciculul electronic formează pe ecran, în absența unei tensiuni

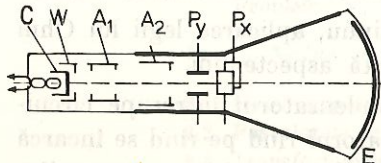


Fig. 1.1. Schema tubului catodic al osciloscopului electronic.

pe plăcile de deflexie P_y și P_x , un punct luminos (numit spot) în centrul ecranului.

Pentru vizualizarea formei curbei mărimilor de studiat, în funcție de timp, pe plăcile orizontale P_y se aplică tensiunea de studiat u_y , adică variabila dependentă, iar pe plăcile de deviere orizontală P_x o tensiune u_x care are o variație liniară în timp, în formă de dinți de ferăstrău, care constituie variabila independentă.

Sub acțiunea cîmpului electric produs de tensiunea u_x (fig. 1.2, a), în absența semnalului studiat u_y , în intervalul de timp t_1 , corespunzător porțiunii ascendente a curbei în formă de dinți de ferăstrău, fasciculul de electroni se deplasează pe ecran din punctul 1 în punctul 2 cu o viteză constantă. În intervalul de timp t_2 , foarte scurt, corespunzător porțiunii descendente a tensiunii bazei de timp u_x , fasciculul de electroni se întoarce foarte repede în poziția inițială 1 și reîncepe mișcarea sa uniformă din punctul 1 spre punctul 2.

Dacă simultan cu tensiunea u_x se aplică și semnalul de cercetat u_y (fig. 1.2, b), fasciculul de electroni, sub acțiunea cîmpurilor produse de cele două tensiuni, descrie curba luminoasă a variației în timp a tensiunii de cercetat, $u_y = f(t)$. Curba este continuă datorită persistenței imaginii luminoase pe retină. Dacă frecvența tensiunii de cercetat ν_y este egală cu frecvența tensiunii u_x , adică $\nu_y = \nu_x$, pe ecran apare curba corespunzătoare unei perioade de oscilație. Dacă $\nu_y = n\nu_x$, curba cuprinde n perioade pe ecran. Pentru a putea studia simultan două semnale pe ecranul unui tub catodic cu un singur spot, se utilizează un dispozitiv special numit *comutator electronic*, care permite aplicarea pe plăcile de deviere verticală P_y pe rînd a tensiunilor de cercetat. Curbele luminoase ale celor două tensiuni apar în același timp pe ecran datorită persistenței luminoase (postluminescență) a ecranului. Un asemenea osciloscop se numește *cu spot multiplu* și se va folosi în cele ce urmează la experimentele legate de studiul circuitului în curent alternativ.

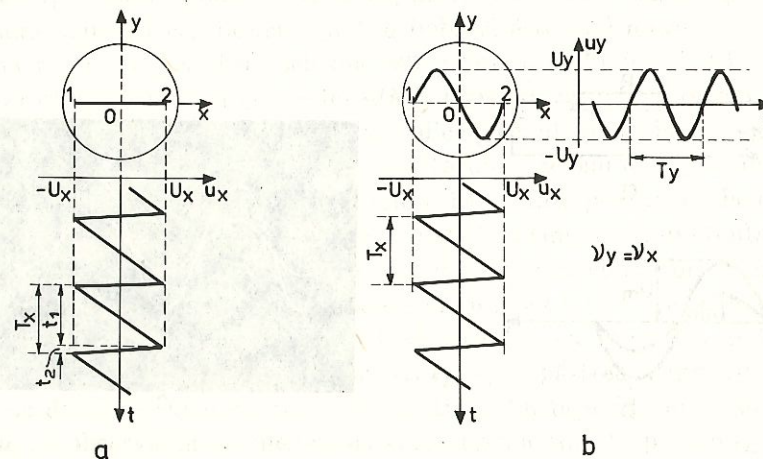


Fig. 1.2. Formarea imaginilor pe ecranul osciloscopului: a) imagine în absența semnalului de analizat, $u_y = 0$; b) imagine pentru $\nu_y = \nu_x$.

Exemplu numeric. Pe plăcile P_y ale unui osciloscop se aplică o tensiune alternativă u . Spotul luminos oscilând numai pe verticală va da pe ecran o linie luminoasă avînd lungimea $l = 50$ mm. Cunoscînd că devierea spotului luminos este de 1 mm pentru o tensiune aplicată plăcilor, egală cu 1 V, adică sensibilitatea tubului catodic este $S = 1$ mm/V, să se calculeze valoarea tensiunii efective aplicată plăcilor P_y .

Rezolvare. Lungimea liniei verticale fiind proporțională cu dublul amplitudinii tensiunii aplicate, cunoscînd și sensibilitatea tubului catodic, rezultă că $2U_m = l/S = 50$ V sau $U_m = 25$ V, de unde $U = 0,707 U_m = 17,7$ V.

1.3. REZISTOR ÎN CURENT ALTERNATIV

Circuitele care nu conțin bobine sau condensatoare opun curenților alternativi (de frecvență joasă) practic aceeași rezistență ca și curentului continuu. Căderea de tensiune produsă la trecerea curentului alternativ printr-un rezistor este, conform legii lui Ohm, $u = Ri$. Valorile instantanee u și i trec simultan prin valori maxime și nule (fig. 1.3), adică sînt în concordanță de fază, așa cum s-a arătat la paragraful 12.1.1 (clasa a X-a). Scrisă pentru valori efective, legea lui Ohm pentru circuitul cu rezistor este $U = RI$. În curent alternativ, rezistenței rezistorului i se spune *rezistența activă*, întrucît la trecerea curentului electric se disipează căldură.

1.4. CIRCUIT SERIE CU REZISTOR ȘI BOBINĂ ÎN CURENT ALTERNATIV

Experiment (a). Un circuit serie format dintr-o bobină cu multe spire, în care se poate introduce un miez de fier, dintr-un rezistor și dintr-un ampermetru de curent alternativ, este alimentat sub tensiunea alternativă u cu valoarea efectivă U constantă (fig. 1.4).

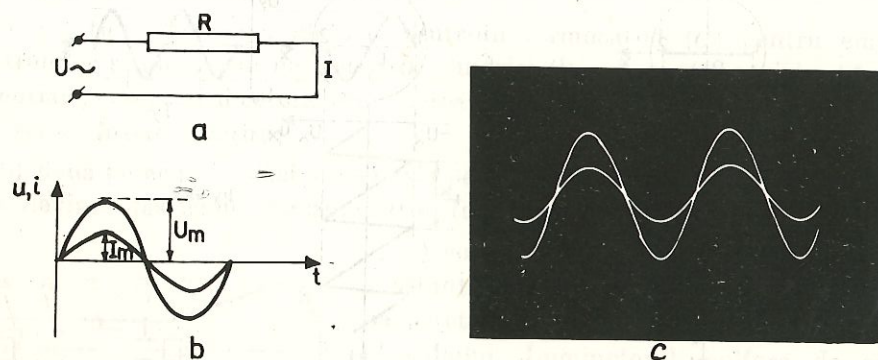


Fig. 1.3. a) Circuit cu rezistor ohmic. b) Variația tensiunii și intensității curentului alternativ într-un circuit cu rezistor. c) Fotografie de pe ecranul osciloscopului.

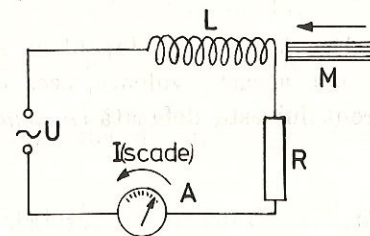


Fig. 1.4. Circuit serie RL . Inductanța bobinei crește, intensitatea curentului scade.

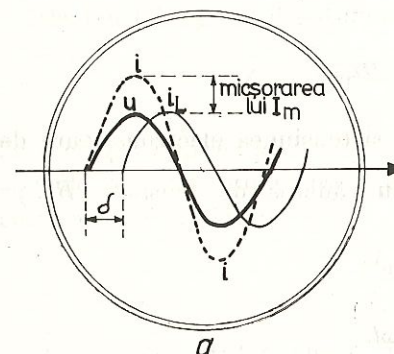


Fig. 1.6. a) Defazarea în urmă a intensității curentului față de tensiune în circuitul serie RL . b) Fotografie de pe ecranul osciloscopului.

Prin introducerea miezului de fier M în bobină inductanța crește, iar ampermetrul indică scăderea intensității curentului alternativ prin circuitul serie bobină, rezistor. Bobina introduce, deci, în circuit o rezistență aparentă cu atît mai mare cît inductanța L a bobinei este mai mare.

(b) Cu un montaj a cărui schemă este prezentată în figura 1.5. se poate studia variația tensiunii u și a intensității i pentru un circuit serie RL . Cu ajutorul comutatorului electronic CE se aplică pe rînd pe plăcile P_y tensiunea u și tensiunea $u_R = Ri$ de la bornele rezistorului, tensiune care corespunde variației intensității instantanee i . Figura 1.6 indică poziția curbilor corespunzătoare lui u și i pe ecranul osciloscopului. Atît timp cît inductanța bobinei este neglijabilă sau foarte mică, adică bara de fier, care constituie miezul bobinei, nu este introdusă în bobină, curbele pentru u și i intersectează axa timpului în aceleași puncte; u și i sînt în fază. O dată cu creșterea inductanței bobinei, curba pentru i , notată acum cu i_L , care păstrează aceeași perioadă ca și u , se decalează înainte cu δ pe axa timpului față de curba sinusoidală pentru u . Se observă, de asemenea, că valoarea maximă I_m pentru i_L este mai mică decît valoarea maximă I_m pentru curba i . Pe măsură ce inductanța bobinei crește, curba sinusoidală pentru i_L se aplatizează, adică I_m scade, iar decalajul lui i_L , δ , pe axa timpului, în raport cu curba pentru u , care

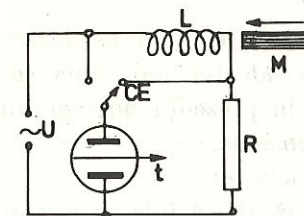


Fig. 1.5. Efectul inductanței bobinei în circuitul serie RL studiat cu ajutorul osciloscopului; CE — comutator electronic.

