CURENTUL ALTERNATIV SINUSOIDAL

1. Generarea tensiunii electromotoare alternative. Valori instantanee şi maxime.

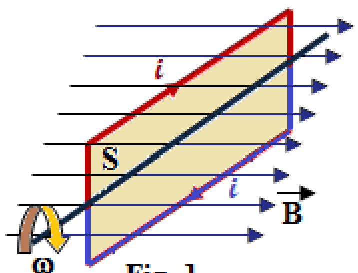


Fig. 1

Curentul alternativ este foarte utilizat, atât în industrie, cât şi în consumul casnic, prin faptul că prezintă o serie de avantaje, faţă de curentul continuu: poate fi generat simplu şi cu costuri reduse, se poate transporta la distanţe mari uşor şi cu pierderi mici, se poate transforma.

La baza producerii t.e.m. alternative stă ***fenomenul de inducţie electromagnetică***, descoperit de M. Faraday:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1)$$

Unde am notat $\mathbf{\Phi_m = B \cdot S}$ fluxul magnetic prin spira de arie **S.** Evident, $\vec{B}$ este inducția câmpului magnetic. Pentru că spira se rotește în jurul unui ax cu viteza unghiulară constantă **ω,** fluxul magnetic prin spiră la un moment dat este dat de relația:

$$\Phi = BS\cos\omega t = \Phi_m \cos\omega t \qquad (2)$$

Facem observația, foarte importantă, că dependența de timp a fluxului magnetic prin spira de arie **S** este o dependență armonică. Pentru a deduce expresia t.e.m. alternative facem apel la o teoremă din matematică, referitoare la funcțiile armonice:

TEOREMA 1.
Variația în timp a unei mărimi armonice este tot o mărime armonică, de aceeași pulsație, a cărei amplitudine este multiplicată cu ω, iar faza defazată înainte cu $\frac{\pi}{2}$.
Și reciproca este adevărată.

Din rel. (1) și (2) rezultă t.e.m. indusă, ***e***:

$$e = \omega\Phi_m \sin\omega t = E_m \sin\omega t \qquad (3)$$

Dacă aplicăm legile lui Ohm, pentru un circuit de curent alternativ, obținem:

$$i = \frac{e}{R+r} = I_m \sin\omega t \qquad (4) \qquad \text{și} \qquad u = iR = U_m \sin\omega t \qquad (5)$$

Facem precizarea: **e, i** și **u** se numesc valori instantanee ale mărimilor respective, iar $\mathbf{E_m}$**,** $\mathbf{I_m}$ și $\mathbf{U_m}$ sunt valorile maxime corespunzătoare.

2. Valori efective ale mărimilor alternative.

Deoarece valoarea curentului electric este variabilă în timp, în practică se foloseşte o valoare echivalentă numită valoare efectivă (sau eficace) $\mathbf{I_{ef}}$ notată adesea numai cu **I**. ***Valoarea efectivă a intensităţii curentului alternativ este egală cu intensitatea unui curent electric continuu care produce acelaşi efect termic Q la trecerea prin acelaşi rezistor.*** *Relaţiile dintre valorile maxime şi cele efective sunt date de următoarele expresii de calcul:*

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (6) \quad , \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (6') \quad \text{respectiv} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (6'')$$

Pentru a cunoaşte elementele caracteristice sau pentru a opera cu mărimile alternative armonice, se folosesc reprezentări convenţionale ale acestora:

a) Reprezentarea analitică.

Simpla scriere a mărimii respective în funcţie de mărimile variabile (timp, fază etc.) poate furniza informaţii privind: valoarea instantanee, valoarea maximă, pulsaţia, perioada, faza iniţială a mărimii reprezentate.

Exemplu: Intensitatea unui curent este: $\boldsymbol{i = 100 \sin\left(\frac{\pi}{3}t + \frac{\pi}{6}\right)}$ exprimat în mA.

- intensitatea maximă este I_m=100mA, sau I = $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ = 70,92 mA
- pulsaţia este $\omega = \frac{\pi}{3}$ rad/s, iar perioada este T = 6 s
- faza iniţială este $\varphi_0 = \frac{\pi}{6} rad$
- valoarea instantanee se obţine dând variabilei timp **t** diverse valori.

b) Reprezentarea grafică.

Prin reprezentarea grafică, Fig. 2, a unei mărimi alternative în funcţie de un parametru variabil care poate fi timpul **t** sau faza **φ**, se obţin informaţii despre perioadă, faza iniţială, valoarea maximă, valoarea instantanee.

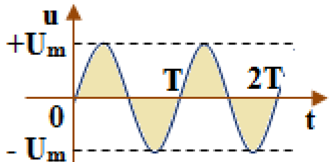


Fig. 2

c) Reprezentarea fazorială.

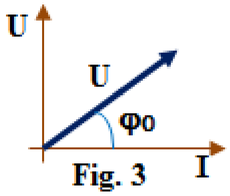


Fig. 3

La reprezentarea mărimilor alternative armonice se poate utiliza un vector numit fazor, care are lungimea proporţională cu valoarea maximă a mărimii alternative armonice, unghiul pe care îl face cu abscisa este egal cu faza iniţială $\boldsymbol{\varphi_0}$, iar proiecţia lui pe ordonată egală cu valoarea mărimii la momentul iniţial sau la alt moment. Vectorul se consideră rotitor cu o perioadă egală cu cea a mărimii alternative.

3. Circuit cu rezistor în curent alternativ.

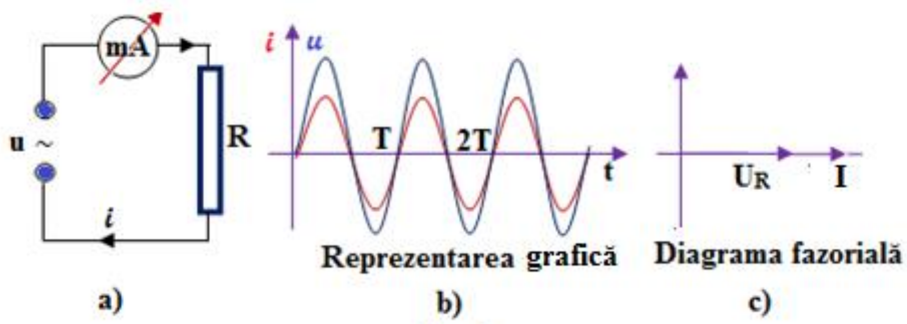


Fig. 4

Dacă la bornele unui rezistor R se aplică o tensiune alternativă sinusoidală de tipul: **u =$U_m$sinωt**, Fig. 4a), prin acesta va circula un curent electric a cărui intensitate este obţinută din legea lui Ohm:

$$\boldsymbol{i = \frac{u}{R}} \quad (7) \qquad \boldsymbol{i = \frac{U_m}{R} sin\omega t} \quad (7')$$

de unde: **i = $I_m$sinωt.**

În Fig. 4b), în reprezentarea grafică, se poate vedea că tensiunea și curentul sunt în fază, $\boldsymbol{\varphi_0=0}$, iar în Fig. 4c) avem reprezentarea fazorială, numită și reprezentare Fresnel.

4. Circuit cu bobină ideală (R=0) în curent alternativ.

La aplicarea unei tensiuni alternative la bornele unei bobine, fenomenul se complică datorită faptului că un curent variabil prin bobină induce o t.e.m. alternativă, numită t.e.m. autoindusă, conform relației:

$$\boldsymbol{e = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}} \quad (8)$$

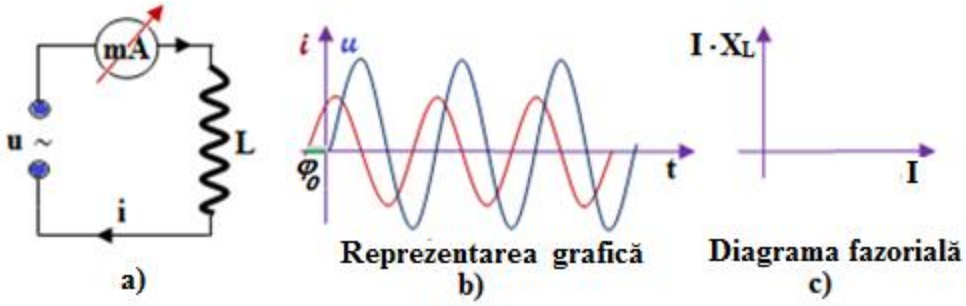


Fig. 5

Considerând un circuit care conține o bobină ideală, la bornele căreia se aplică o tensiune alternativă **u =$U_m$sinωt,** Fig. 5a). Intensitatea curentului prin circuit va fi dată de relația:

i = $I_m$sin(ωt+φ_0) (9)

Nu știm cât este $\boldsymbol{\varphi_0}$ și nici ce valoare ar trebui să aibă, dar urmează să stabilim acest lucru ulterior.

Aplicând legea a II-a lui Kirchhoff pe ochiul de circuit, Fig. 5a), rezultă:

$$\mathbf{u + e = 0}. \qquad (10)$$

Înlocuind expresiile celor două tensiuni, se obţine următoarea relaţie:

$$U_m \sin \omega t - L\frac{\Delta i}{\Delta t} = 0 \qquad (11)$$

Conform teoremei pe care am enunțat-o și ținând cont de rel. (9) și rel. (6’), variația curentului în unitatea de timp va avea expresia:

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \omega\sqrt{2}I \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (12)$$

În acest caz rel. (11) se poate rescrie:

$$\sqrt{2}U \sin \omega t = \omega L\sqrt{2}I \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (13)$$

Interpretarea rel. (13) se face apelând la o altă teoremă din matematică:

TEOREMA 2.
Două mărimi armonice sunt egale dacă au amplitudinile egale și fazele egale.

Știu că multor elevi matematica le lasă un gust amar, dar cunoașterea ei este deosebit de prețioasă, matematica fiind singura noastră modalitate de a ne exprima coerent, logic și concis.

REȚINEȚI: MATEMATICA ESTE UN LIMBAJ!

Așa dar să mergem mai departe! Conform aceste teoreme:

$$\mathbf{U = I \cdot X_L} \ (14) \quad \textbf{și} \quad \varphi_0 = -\frac{\pi}{2} \qquad (14’)$$

Unde am făcut notația:

$$\mathbf{X_L = \omega L} \qquad (15)$$

și o vom numi **reactanță inductivă.** Din rel. (14) se observă că X_L are dimensiune de rezistență și se va măsura în **Ω.** Rel. (14) reprezintă legea lui Ohm pentru un circuit de curent alternativ.
Iar expresia curentului, conform rel. (9), va fi:

$$i = \sqrt{2}I \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \qquad (15)$$

În Fig. 5b), în reprezentarea grafică, se poate vedea poziția unghiului de defazaj, $\boldsymbol{\varphi_0 < 0}$, iar în Fig. 5c). avem reprezentarea fazorială.

În final mai avem de făcut o precizare: din punct de vedere practic nu se poate realiza o bobină ideală, datorită faptului că sârma conductoare din care este făcută bobina are o rezistență $R \neq 0$. Totuși, în cazul în care $X_L \gg R$ bobina poate fi considerată ideală.

5. Circuit cu condensator ideal (R=0) în curent alternativ.

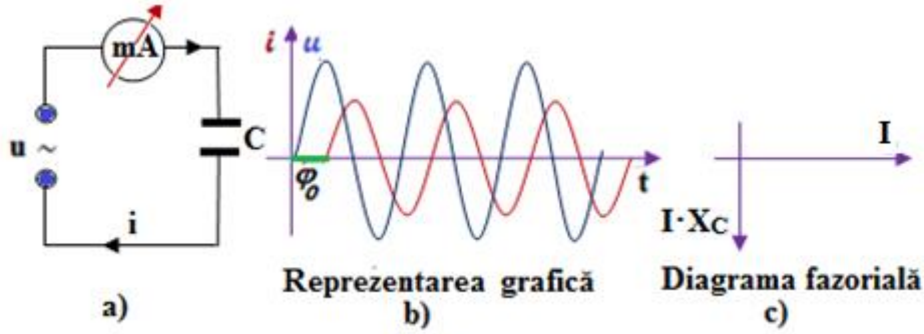


Fig. 6

După cum se cunoaşte, între armăturile unui condensator este un strat izolator numit dielectric, ce nu permite trecerea curentului electric prin el. Într-un circuit de curent alternativ, condensatorul are o comportarea diferită, deoarece el se încarcă şi se descarcă electric periodic, determinând prezenţa unui curent electric prin circuitul exterior lui. Dacă tensiunea aplicată condensatorului este o tensiune alternativă, rel. (5), atunci, curentul de încărcare şi descărcare al condensatorului este:

$$\boldsymbol{i = \frac{\Delta q}{\Delta t}} \qquad (16)$$

unde q este sarcina electrică variabilă de pe armăturile condensatorului.

Aplicând legea a II-a lui Kirchhoff pe ochiul de circuit, Fig. 6a), rezultă:

$$\boldsymbol{u = \frac{q}{C}} \qquad (17)$$

adică, tensiunea aplicată circuitului cade integral pe condensator. Relația (17) rezultă și din definiția capacității electrice: $\boldsymbol{C = \frac{Q}{U}}$.

Dacă ținem cont de faptul că **i** are o dependență armonică rel. (9) și avem în vedere reciproca TEOREMEI 1, din rel. (16) **q** va avea expresia:

$$\boldsymbol{q = \frac{I_m}{\omega}\sin\left(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right)} \qquad (18)$$

Introducând aceste expresii în rel. (17) rezultă:

$$\boldsymbol{\sqrt{2}U\sin\omega t = \frac{1}{\omega C}\sqrt{2}I\sin\left(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right)} \qquad (19)$$

Conform TEOREMEI 2, egalitatea (19) implică:

$$\mathbf{U = I \cdot XC} \quad (20) \qquad \text{și} \qquad \boldsymbol{\varphi_0 = \frac{\pi}{2}} \qquad (20')$$

Unde am făcut notația:

$$\boldsymbol{X_C = \frac{1}{\omega C}} \qquad (21)$$

și o vom numi **reactanță capacitivă.** Din rel. (20) se observă că X_C are dimensiune de rezistență și se va măsura în **Ω.** Rel. (20) reprezintă legea lui Ohm pentru un circuit de curent alternativ.

În acest caz expresia curentului, conform rel. (9), va fi:

$$\boldsymbol{i = \sqrt{2}I\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)} \qquad (22)$$

În Fig. 6b), în reprezentarea grafică, se poate vedea poziția unghiului de defazaj, $\boldsymbol{\varphi_0 > 0}$, iar în Fig. 6c). avem reprezentarea fazorială.

Spre deosebire de bobină, condensatorul ideal poate fi întâlnit mai des în practică. Există condensatori cu dielectrici prin care purtătorii de sarcină nu pot trece de la o armătură la alta și din acest motiv putem considera rezistența activă nulă: R=0.

Și acum să facem o mică recapitulare a celor mai importante noțiuni pe care le-am învățat până acum:

1. Într-un circuit de curent alternativ cu rezistor intensitatea curentului și tensiunea sunt în fază, Fig. 4b). Rezistorul se comportă identic atât într-un circuit de curent continuu, cât și într-un circuit de curent alternativ. Din acest motiv **rezistorul este element pasiv de circuit.**

2. Bobina și condensatorul introduc în circuitele de curent alternativ niște rezistențe suplimentare numite reactanțe și defazează curentul față de tensiune: bobina înainte, Fig. 5b), condensatorul în urmă, Fig. 6b). Deoarece comportarea acestor elemente de circuit este diferită în circuitul de curent alternativ, față de circuitul de curent continuu **bobina și condensatorul sunt elemente reactive de circuit.**

6. Circuit serie cu rezistor, bobină şi condensator, în curent alternativ.

Gruparea unor elemente rezistive, inductive şi capacitive astfel încât curentul electric să fie unic şi cu aceeaşi valoare, constituie circuitul **RLC** serie de curent alternativ.

Să vedem, deci, ce se va întâmpla atunci când introducem în circuit, în serie, rezistorul, bobina și condensatorul, Fig. 7. Legea a II-a a lui Kirchhoff, pentru ochiul de circuit se scrie:

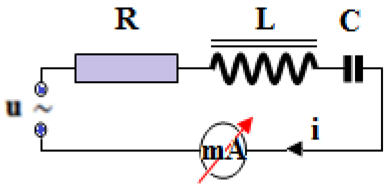


Fig. 7

$$u + e = \frac{q}{C} + Ri \qquad (23)$$

Cu notațiile pe care le-am prezentat deja.
Referitor la expresia curentului este necesar să facem o reconsiderare:

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \varphi_0) \qquad (24)$$

Semnul lui φ_0, minus, din rel. (24) este absolut arbitrar, nu are nici o conotație matematică. Am fi putut să facem aceleași considerații și semn pozitiv pentru φ_0.

În ce privește adevăratul semn al lui φ_0 îl vom determina ținând cont de convențiile trigonometrice (…iar matematică!), referitor la semnul unghiului măsurat și de asemenea avem în vedere că unghiul de defazaj se măsoară în sensul spre fazorul tensiunii, Fig. 8.

Observație: Aceste convenții le-ați mai discutat și în clasa a IX-a, când ați studiat „Noțiuni de optică geometrică”.

În continuare, dacă $u = \sqrt{2} U \sin \omega t$ și $i = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \varphi_0)$, avem:

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \sqrt{2} I \sin\left(\omega t - \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (25)$$

$$q = \frac{\sqrt{2} I}{\omega} \sin\left(\omega t - \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{\sqrt{2} I}{\omega} \sin\left(\omega t - \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (26)$$

Cu acestea rel. (23) se va scrie:

$$U \sin \omega t = X_L I \sin\left(\omega t - \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) - X_C I \sin\left(\omega t - \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) + RI \sin(\omega t - \varphi_0) \qquad (27)$$

Am obținut astfel o ecuație trigonometrică, în care necunoscutele sunt U și φ_0. Aplicând considerente trigonometrice, ecuația este foarte greu de rezolvat. Eu nu am încercat niciodată!

Dacă, însă, aplicăm noțiuni de calcul vectorial, observăm că fiecărui termen din ecuația (27) i se poate atașa un fazor. Reprezentarea lor grafică este redată în Fig. 8, care se mai numește și diagramă fazorială și unde am făcut notațiile: $U_R = I \cdot R$, $U_L = I \cdot X_L$ **și** $U_C = I \cdot X_C$.

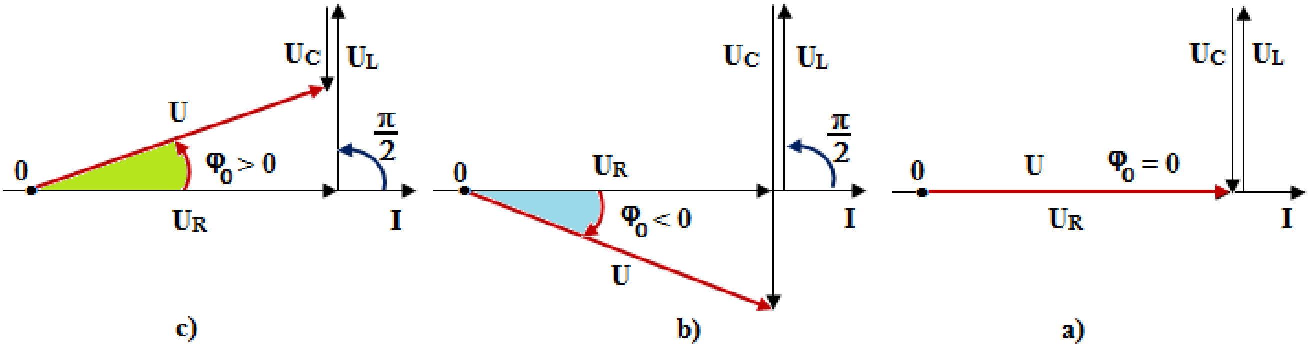


Fig. 8

La întrebarea cum va fi defazat curentul față de tensiune, răspunsul ni-l dăm analizând Fig. 8.
Observăm că se disting trei situații:

1. $X_L > X_C$, în circuit predomină efectul inductiv, iar $\varphi_0 > 0$. Acest lucru înseamnă că bobina și condensatorul se comportă ca o singură bobină echivalentă.
2. $X_C > X_L$, în circuit predomină efectul capacitiv, iar $\varphi_0 < 0$. Acest lucru înseamnă că bobina și condensatorul se comportă ca un singur condensator echivalent.
3. $X_L = X_C$, în circuit se produce fenomenul de rezonanță, iar $\varphi_0 = 0$. În acest caz circuitul se comportă ca și cum nu ar avea elemente reactive.

Observațiile pe care le-am dedus din studiul circuitelor ideale de curent alternativ cu bobină și condensator rămân valabile, adică defazajele introduse de bobină și condensator își păstrează sensul, înainte – bobina și în urmă – condensatorul, doar că valorile lor se compun, rezultând un defazaj general.

Dacă reprezentărilor din Fig. 8a) și b) le aplicăm teorema lui Pitagora (…Doamne, dar nu se mai termină odată cu matematica asta?) obținem:

$$\boldsymbol{U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \qquad (28)$$

Sau, ținând cont de relațiile (23)

$$\boldsymbol{U = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \qquad (29)$$

respectiv: $$\mathbf{U = I \cdot Z} \qquad (30)$$

care se mai numește și legea lui Ohm pentru un circuit de curent alternativ.

Se observă că

$$\boldsymbol{Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \qquad (31)$$

și se numește **impedanță.** Impedanța are dimensiune de rezistență și se măsoară în **Ω.**

Tot din Fig. 8 se poate deduce valoarea lui φ_0:

$$\boldsymbol{tg\varphi_0 = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R}} \qquad (32)$$

7. Rezonanța circuitului RLC serie, (rezonanța tensiunilor).

Dacă în funcționarea circuitului RLC serie se realizează condiția: $\mathbf{U_L = U_C}$ rezultă: $\mathbf{X_L = X_C}$, se obține rezonanța. Impedanța **Z = R** (este minimă), curentul:

$$\boldsymbol{I = I_{rez.} = \frac{U}{R}} \qquad (33)$$

este maxim, iar defazajul $\boldsymbol{\varphi_0 = 0}$, Fig. 8c). Observăm că în cazul unui circuit ideal (R = 0) $\boldsymbol{I_{rez}} \to \infty$.

La rezonanță, circuitul se comportă rezistiv, prin el circulând un curent electric maxim. Se mai spune că circuitul este în rezonanță cu sursa de curent. **Condiția pentru a se realiza rezonanța este impusă de egalitatea:**

$$\boldsymbol{X_L = X_C} \quad (34) \quad \text{sau} \quad \boldsymbol{\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}} \quad (34')$$

De unde: $$\boldsymbol{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \quad (35) \quad \text{sau} \quad \boldsymbol{\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}} \quad (35'), \text{ sau} \quad \boldsymbol{T_0 = 2\pi\sqrt{LC}} \quad (35''),$$

ultima, cunoscută și sub numele de **relația lui Thomson**.

Transferul de energie de la sursă la circuitul RLC se va face în regim de rezonanță numai dacă frecvența curentului alternativ este egală cu frecvența proprie ν_0 a circuitului și a cărei valoare depinde doar de elementele L și C.

Notăm: $$\boldsymbol{Q = \left(\frac{U_L}{U}\right)_{\omega=\omega_0} = \left(\frac{U_C}{U}\right)_{\omega=\omega_0} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR}} \qquad (36)$$

sau dacă înlocuim rel. (35) în rel. (36):

$$\boldsymbol{Q = \left(\frac{U_L}{U}\right)_{\omega=\omega_0} = \left(\frac{U_C}{U}\right)_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{R} Z_0} \qquad (37)$$

numit **factor de calitate**, sau **factor de supra tensiune** al circuitului. El ne arată de câte ori este mai mare, la rezonanță, tensiunea la bornele bobinei sau condensatorului decât tensiunea generatorului.

De asemenea $\mathbf{Z_0}$ se numește **impedanță caracteristică,** și are dimensiunea unei rezistențe.

Atenție! Mărimile U_L și U_C se calculează în condiții de rezonanță, adică utilizând valoarea lui ω_0 dată de rel. (35).

8. Circuit paralel cu rezistor, bobină şi condensator, în curent alternativ.

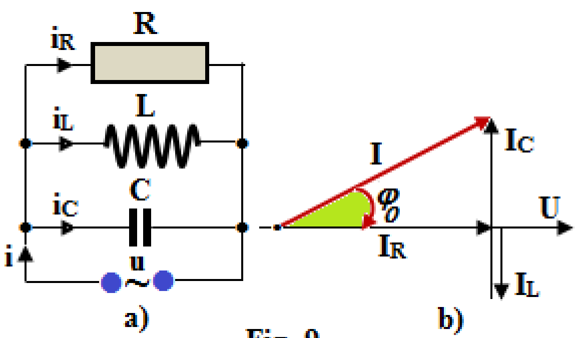


Fig. 9

Gruparea elementelor R, L şi C paralel este în aşa fel încât tensiunea la bornele lor să fie comună iar curenţii să fie rezultatul ramificării curentului debitat de sursa de curent alternativ, Fig. 9a). Dacă avem în vedere că tensiunea aplicată circuitului este alternativă, conform rel. (5). Legea I a lui Kirchhoff, pentru Fig. 9a), se va scrie:

$$\mathbf{i = i_R + i_L + i_C} \qquad (39)$$

Când scriem expresiile curenţilor prin fiecare ramură trbuie să avem în vedere că i_L şi i_C prin ramurile respective sun de semn contrar. În acest caz intensităţile curenţilor au expresiile următoare:

$$i_R = \frac{\sqrt{2}U}{R}\sin\omega t,\ \ i_L = \frac{\sqrt{2}U}{X_L}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)\ \text{ şi }\ \ i_C = \frac{\sqrt{2}U}{X_C}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

În aceste condiţii rel. (39) se rescrie:

$$I\sin\omega t = \frac{U}{R}\sin\omega t + \frac{U}{X_L}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{U}{X_C}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (41)$$

În continuare facem notaţiile:

$$I_R = \frac{U}{R}\quad ,\quad I_L = \frac{U}{X_L}\qquad \text{respectiv}\qquad I_C = \frac{U}{X_C} \qquad (42)$$

Ecuaţia (41) o vom rezolva aplicând metoda fazorilor, sau Fresnel, Fig. 9b).

Aplicând teorema lui Pitagora în triunghiul curenţilor, din diagrama fazorială, Fig. 9a), se obţine: $\mathbf{I^2 = I_R^2 + (I_C\text{-}I_L)^2}$, de unde:

$$I = U\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \qquad (43)$$

Dacă facem notaţia :

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \qquad (44)$$

legea lui Ohm, pentru circuitul de curent alternativ devine: $\quad I = U\cdot\frac{1}{Z} \qquad (45)$

Defazajul curentului faţă de tensiune, pentru circuitul de curent alternativ RLC paralel este dat de relaţiile următoare (din diagrama fazorială):

$$tg\varphi_0 = \frac{I_C - I_L}{I_R}\ \ (46),\qquad \text{sau}\qquad tg\varphi_0 = R\left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)\ \ (46')$$

9. Rezonanţa circuitului LC paralel (rezonanţa curenţilor):

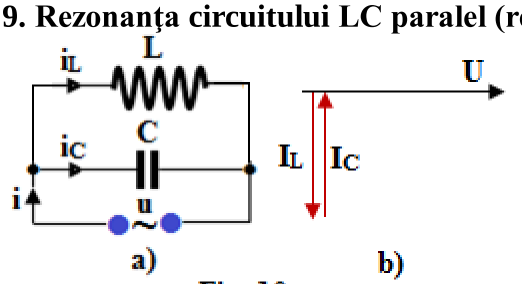


Fig. 10

Considerăm un circuit paralel **LC**, Fig. 10a), ideal, R=0 Condiţia de rezonanţă $X_L = X_C$ impune anularea intensităţii curentului total prin circuit. Conform rel.(43):

$$I = I_{rez} = U\left(\omega_0 C - \frac{1}{\omega_0 L}\right) = 0 \qquad (47)$$

Acest fapt presupune ca impedanţa circuitului paralel **LC**, la rezonanţă tinde către infinit:

$$\boldsymbol{Z_{rez}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\omega_0 C} - \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\omega_0}}\boldsymbol{L}} \to \infty \qquad (48)$$

Pentru un circuit real, R≠0, **Z=R** este maxim, iar intensitatea curentului $\boldsymbol{I = \frac{U}{R}}$ este minimă.

10. Puterea în curent alternativ.

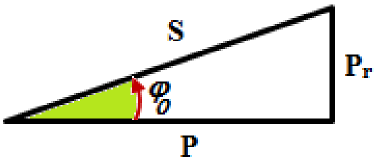


Fig. 11

Dacă laturile triunghiului tensiunilor (diagrama fazorială), Fig. 8c) se amplifică cu intensitatea **I** a curentului, se obţine un triunghi asemenea celui iniţial, dar având ca laturi valori ale unor puteri. Acest triunghi se numeşte generic **triunghiul puterilor,** Fig. 11**.**

Cele trei puteri în curent alternativ şi care rezultă în urma calculelor pe care le-am făcut, sunt:

- puterea activă: $\mathbf{\overline{p} = P = U_R \cdot I = R \cdot I^2}$ $\mathbf{[P]_{SI} = 1W}$ (49)

- puterea reactivă: $\mathbf{P_r = (U_L - U_C) \cdot I = (X_L - X_C) \cdot I^2}$ $\mathbf{[P_r]_{SI} = 1VAR}$ (49')

- puterea aparentă: $\mathbf{S = U \cdot I = Z \cdot I^2}$ $\mathbf{[S]_{SI} = 1VA}$ (49")

Observaţie: 1. $\mathbf{\overline{p} = P}$ exprimă energia consumată în unitatea de timp în elementele pasive (ohmice).

2. $\mathbf{P_r}$ exprimă energia consumată în unitatea de timp în elementele reactive, sub forma de energie a câmpului electric şi magnetic.

3. **S** exprimă energia transferată în unitatea de timp de sursă întregului circuit.

Aplicând teorema lui Pitagora triunghiului din Fig. 11 rezultă relaţia dintre cele trei puteri:

$$\mathbf{S^2 = P^2 + P_r^2} \qquad (50)$$

Cosinusul unghiului φ_0 se numeşte **factor de putere** şi se defineşte prin relaţiile următoare:

$$\boldsymbol{cos\varphi_0 = \frac{P}{S}} \quad (51) \quad \text{sau} \quad \boldsymbol{cos\varphi_0 = \frac{R}{Z}} \quad (51')$$

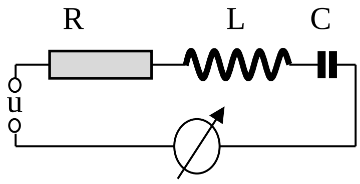
care depinde de valorile elementelor R, L, C şi frecvenţa υ a curentului alternativ.

10. Exemple de probleme rezolvate

1. La un generator de curent alternativ cu tensiunea la borne de 10 V, se conectează un circuit serie format dintr-un condensator de capacitate15,91 μF (=5/π 10^{-5} F) şi o bobină cu inductanţa 636,6 mH (=2/π) şi o rezistenţă de 40 Ω. Să se determine:

a) intensitatea curentului din circuit, dacă frecvenţa curentului alternativ este 100 Hz;
b) Unghiul de defazaj;
c) frecvenţe curentului alternativ, pentru care are loc rezonanţa tensiunilor;
d) Intensitatea curentului prin circuit la rezonanţă;
e) Factorul de calitate al circuitului;
f) Impedanţa caracteristică.

REZOLVARE.



U =10 V
C =15,91 μF
L = 636,6 mH
R = 40 Ω
ν = 100 Hz

I = ?
φ=?
ν_0 = ?
I_0 = ?
Q=?
Z_0=?

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{şi} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$X_L = L\omega, \; X_C = \frac{1}{\omega C}, \; \omega = 2\pi\nu \qquad \nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{şi} \quad tg\varphi_0 = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} \quad \text{şi} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Efectuând calculele se obţine:

I = 33 mA; φ=arctg7,5; $I_0 = I_{rez.}$= 250 mA ; ν_0=50Hz; Q=5; Z_0=200Ω

2. Un circuit serie, format dintr-o bobină de inductanţă 95,5 mH şi rezistenţă 16 Ω şi un condensator de capacitate 177 μF, este alimentat de la o reţea de curent alternativ cu tensiunea efectivă 220 V şi frecvenţa ν = 50 Hz. Să se calculeze:

a) impedanţa circuitului;
b) intensitatea curentului prin circuit;
c) factorul de putere al circuitului;
d) puterile activă, reactivă şi aparentă.

REZOLVARE

L = 95,5 mH R = 16 Ω C = 177 μF U = 220 V ν = 50 Hz	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, $I = \dfrac{U}{Z}$, $X_L = L\omega$, $X_C = \dfrac{1}{\omega C}$, $\omega = 2\pi\nu$, $P = UI\cos\varphi = I^2R$, $P_r = UI\sin\varphi = I^2(X_L - X_C)$, $S = UI$, respectiv $\cos\varphi = \dfrac{RI}{U}$
Z = ? I = ? cos φ = ? P, P_r, S = ?	**Efectuând calculele se obţine:** Z = 20 Ω, I = 11 A, cos φ = 0,8 P = 1936 W, P_r = 1425 VAR, S = 2420 VA

Bibliografie:

1. R.P.Feynman, Fizica modernă, Vol II, Ed. Tehnică, Bucureşti,1970.
2. Colectiv, coordonat de lect. univ. dr. I. Bunget, COMPENDIU DE FIZICĂ – pentru admiterea în învățământul superior, Editura Științifică, București 1971
3. E.M.Purcell, Electricitate şi magnetism, Ed. Did. şi Ped., Bucureşti, 1982.
4. G. Enescu, N. Gherbanovschi, M. Prodan, Șt. Levai – FIZICĂ, manual pentru clasa a XI-a, Editura Didactică și Pedagogică, București – 1994.
5. http://msabau.xhost.ro/?Fizic%E3
6. http://ael.ctcnvk.ro/econtent-fizica/
7. http://www.walter-fendt.de/ph14ro/