

# Oscilații și unde electromagnetice

## 2

Bicicliștii care sunt nevoiți să circule pe întuneric își produc singuri energia electrică necesară becului farului, fără baterii! Dinamul bicicletei (fig. 2.1) are o construcție simplă și robustă: chiar și în bătaia ploii poate separa sarcinile electrice, transformând în energie electrică energia mecanică primită de la roata care îl învâрте.



Fig. 2.1. Dinam de bicicletă.

Simplitatea și robustețea dinamului are însă un “preț”: tensiunea generată la bornele acestuia își schimbă periodic semnul, iar electronii sunt „pompați” înainte și-napoi, la fiecare rotație a axului dinamului – electronii oscilează în lungul firelor!

Tot astfel, în centralele electrice, dinamuri enorme transformă în energie electrică energia mecanică primită de la axul care le rotește (fig. 2.2).

Tensiunea la bornele acestor generatoare alternează la fiecare rotație a axului generatorului – este o tensiune *alternativă*. Cea mai mare parte din energia electrică produsă și distribuită în lume are această formă alternantă, iar liniile electrice care împânzesc planeta (fig. 2.3) sunt

străbătute de curenți care își schimbă periodic semnul – sunt curenți *alternativi*.

Electronii care oscilează provoacă perturbații electromagnetice, care se pot propaga la mare distanță și cu mare viteză, influențând electronii altor circuite. Astfel, sunt posibile aplicații extraordinare, cum sunt radioul, televiziunea, telefonul mobil și multe altele asemenea!



Fig. 2.2. „Dinamul” mare al unei centrale electrice.



Fig. 2.3. Liniile de transmisie a energiei electrice.

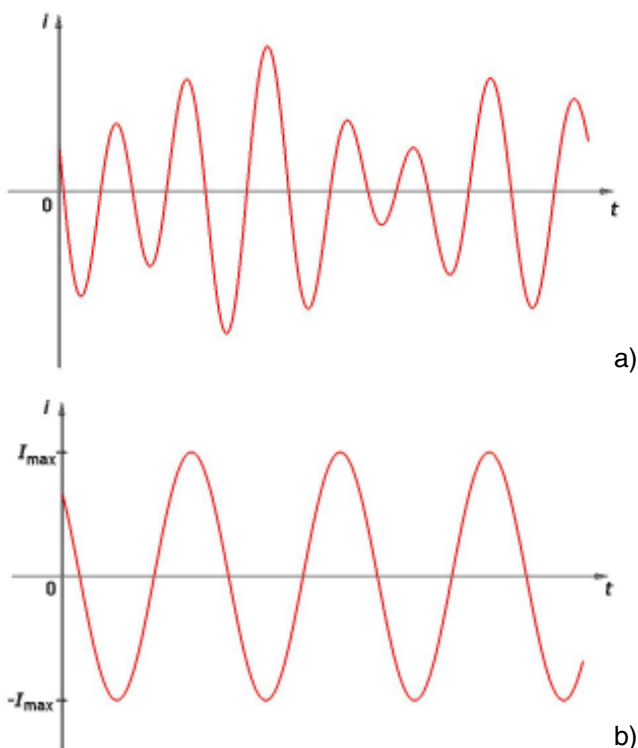
## A. Circuite de curent alternativ

Majoritatea aparatelor electrice pe care le folosești funcționează normal când sunt străbătute de un curent care își schimbă periodic sensul.

**Numim *curent alternativ* un curent care își schimbă periodic sensul.**

Reprezentarea grafică a variației în timp a unui curent alternativ este o curbă care trece repetat prin valori pozitive și negative – este o oscilație electrică (figura 2.4).

Cazul curentului reprezentat în figura 2.4b este special: variațiile acestui curent sunt asemenea funcției sinus.



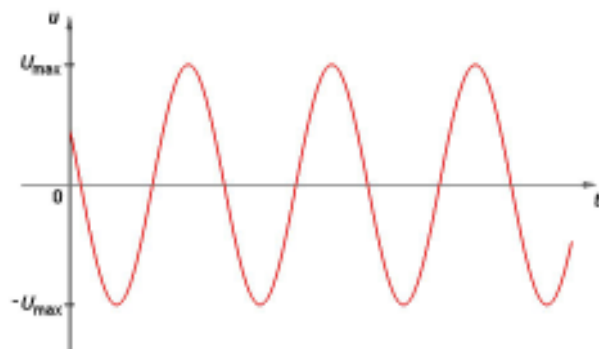
**Fig. 2.4.** Reprezentări grafice: **a)** curent alternativ; **b)** curent alternativ sinusoidal.

Numim **curent alternativ sinusoidal** un curent care variază sinusoidal (armonic) în timp.

Curentul printr-un consumator își schimbă periodic sensul atunci când consumatorului i se aplică o tensiune care își schimbă periodic sensul.

Numim **tensiune alternativă** o tensiune care își schimbă periodic sensul. Numim **tensiune alternativă sinusoidală** o tensiune care variază sinusoidal (armonic) în timp.

Tensiunea furnizată instalației electrice din locuința ta este o tensiune cu variație sinusoidală (fig. a 2.5).



**Fig. 2.5.** Reprezentarea grafică a unei tensiuni alternative sinusoidale.

## A.1. Caracteristicile mărimilor alternative sinusoidale

O tensiune alternativă sinusoidală poate fi descrisă *analitic* printr-o expresie generală de forma:

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

unde:

- $u(t)$  este *valoarea instantanee* a tensiunii (tensiunea la un moment dat).

- $U_{max}$  este *amplitudinea* tensiunii (valoarea sa maximă). Este atinsă la momentele de timp pentru care

$$\sin(\omega t + \varphi_0) = 1.$$

- argumentul funcției sinus,  $\varphi = (\omega t + \varphi_0)$ , este *faza* tensiunii. Exprimă *stadiul* atins într-un ciclu de variație și este un număr (radiani). Când faza este  $0, 2\pi, 4\pi, \dots$  tensiunea are valoarea 0, iar când faza este  $\pi/2, 3\pi/2, 5\pi/2, \dots$  tensiunea are valoarea maximă pozitivă etc.

- $\omega$  este *pulsația* tensiunii. Exprimă cât de repede se modifică faza tensiunii. Este exprimată în  $s^{-1}$  (sau radiani/s). Într-un ciclu de variație (o perioadă), faza se schimbă cu  $2\pi$ , astfel că:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f,$$

unde  $T$  este *perioada* tensiunii (durata unui ciclu de variație), iar  $f$  este *frecvența* tensiunii (exprimă câți cicli de variație sunt parcurși în unitatea de timp). Unitatea de măsură pentru frecvență (în Sistemul Internațional) este  $s^{-1}$ , numită *hertz* (simbol Hz).

- $\varphi_0$  este *faza inițială* a tensiunii (faza la momentul  $t = 0$ ).

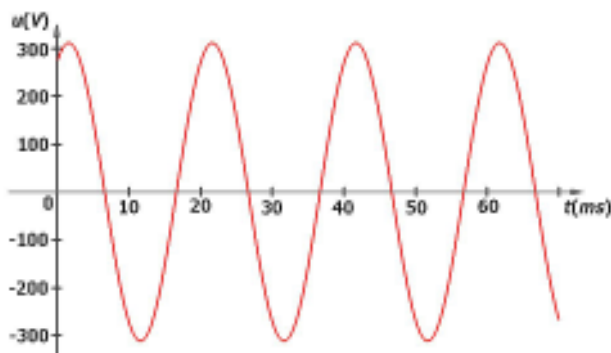


**1.** Expresia analitică a unei tensiuni alternative sinusoidale este:

$$u(t) = 311V \cdot \sin\left(314s^{-1} \cdot t + \frac{\pi}{3}\right).$$

Care sunt caracteristicile acestei tensiuni (amplitudine, pulsație, perioadă, frecvență, fază inițială)? Cât este tensiunea la momentul  $t = 0$ ?

Reprezentarea grafică a expresiei (1) este deosebit de intuitivă (fig. 2.6), prezentând într-o formă ușor de interpretat „povestea” creșterilor și descreșterilor tensiunii.



**Fig. 2.6.** Reprezentarea grafică a unei tensiuni alternative sinusoidale.

Reprezentarea cu acuratețe a unei tensiuni sinusoidale este laborioasă, necesitând numeroase calcule cu funcții trigonometrice. Pentru vizualizarea variațiilor rapide ale tensiunii au fost realizate instrumente speciale, numite *osciloSCOAPE*.

Un osciloscop este asemenea unui mic monitor pe care este trasată evoluția în timp a tensiunii aplicate (fig. 2.7).



**Fig. 2.7.** Osciloscop.

Un punct luminos (*spot*) este deplasat pe ecran, de la stânga la dreapta într-un interval de timp ales de utilizator, apoi readus rapid în stânga ecranului, reluându-se un nou ciclu. Tensiunea aplicată bornelor de măsură ale osciloscopului deviază spotul pe verticală, proporțional cu tensiunea aplicată.



**2.** Osciloscopului din fig.2.7 i s-a aplicat tensiunea de la o priză a rețelei electrice. Spotul este deplasat spre dreapta cu câte o diviziune la fiecare 5ms și este deplasat vertical cu câte o diviziune pentru fiecare 100V. Cât este frecvența tensiunii la bornele prizei? Dar amplitudinea acesteia?

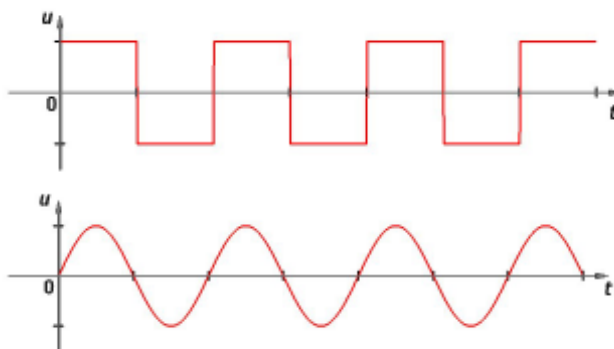
**Frecvența tensiunii în rețeaua electrică publică din țara noastră este 50Hz.**

Frecvența tensiunii rețelei este menținută cu mare acuratețe, fiind admise abateri în plus sau în minus de cel mult 0,5%. Unele țări (cum sunt Statele Unite) folosesc tensiuni cu frecvența 60Hz și altă amplitudine: aparatele electrice destinate unei astfel de rețele nu vor funcționa corespunzător în condițiile rețelei noastre!



**3.** Amplitudinea tensiunii la bornele prizelor din rețeaua publică este aproximativ 311V. De ce oare se spune că tensiunea la bornele acestor prize este 220V?

În figura 2.8 sunt reprezentate dependențele de timp a două tensiuni alternative care au aceeași amplitudine și aceeași frecvență.



**Fig. 2.8.** Două tensiuni alternative având aceeași amplitudine și aceeași frecvență: **a)** dreptunghiulară; **b)** sinusoidală.

Tensiunea reprezentată în figura 2.8a are *tot timpul* valoarea maximă (pozitivă sau negativă), în timp ce tensiunea din figura 2.8b are doar din când valoarea maximă (pozitivă sau negativă).

Suntem astfel nevoiți să utilizăm *alt* criteriu de comparare a două tensiuni alternative, care să țină cont și de *modul* în care tensiunea variază într-o perioadă.

**Numim *valoare efectivă* a unei tensiuni alternative rădăcina pătrată a mediei pătratelor valorilor dintr-o perioadă a acelei tensiuni:**

$$U_{ef} = \sqrt{u^2(t)}.$$



**4.** De ce nu s-a ales oare ca valoare efectivă a tensiunii media pe o perioadă a tensiunii?

Pentru tensiunile alternative cu valori pozitive și negative simetrice (cum sunt și cele din figura 5-3), media acestora pe o perioadă este nulă! Evităm compensarea valorilor

pozitive și negative calculând media *pătratelor* acestora și extrăgând apoi rădăcina pătrată (pentru a exprima tensiunea efectivă în *volți*).



**5.** Cât sunt valorile efective ale tensiunilor reprezentate în figura 5-3?

Pătratele valorilor tensiunii din figura 5-3a sunt toate egale cu  $U_{\max}^2$ , astfel că media pătratelor este chiar  $U_{\max}^2$ . Așadar, valoarea efectivă a acestei tensiuni este:

$$U_{ef} = \sqrt{U_{\max}^2} = U_{\max}.$$

În cazul tensiunii sinusoidale, valoarea efectivă este:

$$U_{ef} = \sqrt{U_{\max}^2 \cdot \sin^2(\omega t)} = U_{\max} \sqrt{\sin^2(\omega t)}.$$

Poți calcula ușor media pe o perioadă a pătratelor valorilor funcției *sinus* făcând înlocuirea:

$$\sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos(2\omega t).$$

Media tuturor termenilor  $\frac{1}{2}$  este, bineînțeles,  $\frac{1}{2}$ , în timp ce media tuturor termenilor care conțin  $\cos(2\omega t)$  este nulă (pentru fiecare valoare pozitivă există una negativă care o compensează)! Așadar:

**Valoarea efectivă a unei tensiuni alternative**

**sinusoidală este**  $U_{ef} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}.$

Astfel, expresia generală a unei tensiuni alternative sinusoidale (1), poate fi scrisă și sub forma:

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U_{ef} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0).$$

**Valoarea efectivă a tensiunii în rețeaua electrică publică din țara noastră este 220V.**

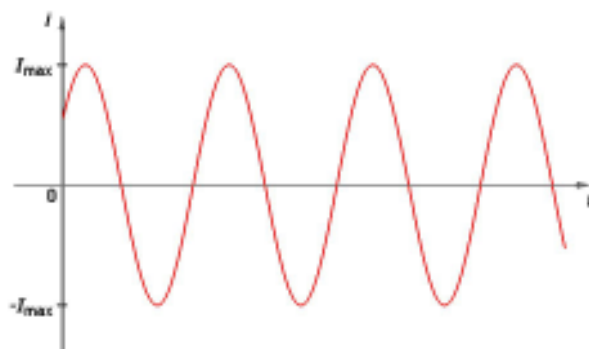
Alte țări utilizează alte valori efective (100V, 110V, 120V, 200V sau 240V): aparatele electrice destinate acestor rețele se pot deteriora dacă sunt conectate la rețeaua noastră!

**Citește cu atenție specificațiile aparatelor electrice (frecvență, tensiune efectivă)! Conectează-le la rețeaua electrică doar după ce te-ai asigurat că sunt destinate acestora!**

Când aplici unui consumator o tensiune, se stabilește prin acesta un curent electric. Expresia generală a unui curent alternativ sinusoidal este:

$$i(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0),$$

reprezentată grafic în figura 2.9.



**Fig. 2.9.** Reprezentarea grafică a unui curent alternativ sinusoidal.

**Valoarea efectivă a intensității unui curent alternativ**

**sinusoidal este**  $I_{ef} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}.$



**6.** Expresia analitică a intensității unui curent alternativ sinusoidal este:

$$i(t) = 31,1A \cdot \sin(314s^{-1} \cdot t).$$

Care sunt caracteristicile acestui curent (amplitudine, valoare efectivă, pulsație, perioadă, frecvență, fază inițială)? Cât este intensitatea curentului la momentul  $t = 0$ ?

Funcțiile *sinus* și *cosinus* nu sunt independente. Poți oricând face înlocuirea:

$$\sin \varphi = \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right).$$



**7.** Exprimă tensiunea invocată la provocarea 5-1 și curentul a cărui intensitate este invocată în provocarea 5-6 folosind funcția *cosinus*.

Valorile efective ale tensiunii și curentului pot fi măsurate direct folosind voltmetre și ampermetre de curent alternativ.

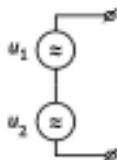
**Voltmetrele și ampermetrele de curent alternativ sunt astfel etalonate încât să indice valorile efective.**



**1.** Măsoară valorile efective ale tensiunilor alternative pe care le poate furniza un alimentator de laborator. Folosește pentru aceasta un multimetru setat ca să măsoare tensiuni alternative.

## A.2. Compunerea mărimilor alternative sinusoidale

8. Două generatoare de t.e.m. alternativă sinusoidală au aceeași pulsație și sunt grupate în serie (figura 2.10). Cât este t.e.m. la bornele grupării?



**Fig. 2.10.** Două generatoare de t.e.m. alternativă grupate în serie.

În oricare moment, tensiunea la bornele grupării este suma tensiunilor de la bornele fiecărui generator (ca o consecință a conservării energiei):

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = u_1(t) + u_2(t) = U_{1\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_{01}) + U_{2\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_{02})$$

Dezvoltând funcțiile *sinus* conform relației generale  $\sin(a+b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b$  și regrupând termenii, obții că, oricare ar fi momentul de timp  $t$ , este valabilă relația:

$$\begin{aligned} (U_{\max} \cdot \cos \varphi_0) \cdot \sin \omega t + (U_{\max} \cdot \sin \varphi_0) \cdot \cos \omega t = \\ = (U_{1\max} \cdot \cos \varphi_{01} + U_{2\max} \cdot \cos \varphi_{02}) \cdot \sin \omega t + \\ + (U_{1\max} \cdot \sin \varphi_{01} + U_{2\max} \cdot \sin \varphi_{02}) \cdot \cos \omega t \end{aligned}$$

Pentru ca cei doi membri să fie egali în oricare moment  $t$ , aceștia trebuie să fie *identici*, astfel că sunt *simultan* necesare egalitățile:

$$U_{\max} \cos \varphi_0 = U_{1\max} \cos \varphi_{01} + U_{2\max} \cos \varphi_{02} \quad (1)$$

și

$$U_{\max} \sin \varphi_0 = U_{1\max} \sin \varphi_{01} + U_{2\max} \sin \varphi_{02} \quad (2)$$

Făcând raportul celor două relații, obții tangenta fazei inițiale a tensiunii de la bornele grupării:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{U_{1\max} \cdot \sin \varphi_{01} + U_{2\max} \cdot \sin \varphi_{02}}{U_{1\max} \cdot \cos \varphi_{01} + U_{2\max} \cdot \cos \varphi_{02}}$$

Ridicând la pătrat membrii relațiilor (1) și (2), apoi adunând membru cu membru, obții:

$$U_{\max}^2 = U_{1\max}^2 + U_{2\max}^2 + 2U_{1\max}U_{2\max} \cos \Delta\varphi,$$

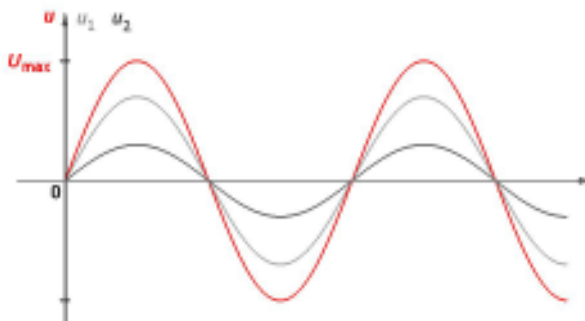
unde  $\Delta\varphi = \varphi_{02} - \varphi_{01}$  este *defazajul* tensiunilor generatoarelor (diferența dintre fazele tensiunilor acestora).

Așadar, amplitudinea tensiunii la bornele grupării depinde și de defazajul tensiunilor generatoarelor:

$$U_{\max} = \sqrt{U_{1\max}^2 + U_{2\max}^2 + 2U_{1\max}U_{2\max} \cos \Delta\varphi}.$$

Când tensiunile generatoarelor sunt *în fază* (defazajul tensiunilor este 0 sau un multiplu par de  $\pi$ ),  $\cos \Delta\varphi = 1$ , astfel că (figura 2.11):

$$U_{\max} = U_{1\max} + U_{2\max}.$$

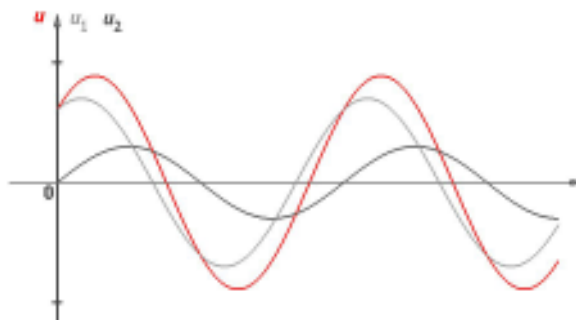


**Fig. 2.11.** Compunerea tensiunilor care sunt în fază.

Tensiunile generatoarelor trec *simultan* prin valorile maxime, astfel că amplitudinea tensiunii de la bornele grupării este suma amplitudinilor tensiunilor generatoarelor.

Când însă tensiunile generatoarelor *nu* sunt în fază,  $\cos \Delta\varphi < 1$ , astfel că (figura 2.12):

$$U_{\max} < U_{1\max} + U_{2\max}.$$

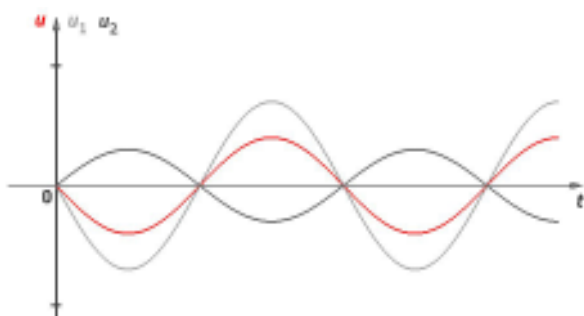


**Fig. 2.12.** Compunerea tensiunilor defazate.

Nefiind în fază, când tensiunea unuia dintre generatoare are valoarea sa maximă, tensiunea celuilalt generator este *mai mică* decât valoarea sa maximă.

În cazul în care tensiunile sunt în *opoziție de fază* (defazajul este  $\pi$  sau un multiplu impar de  $\pi$ ),  $\cos \Delta\varphi = -1$ , astfel că (figura 2.13):

$$U_{\max} = \sqrt{(U_{1\max} - U_{2\max})^2} = |U_{1\max} - U_{2\max}|$$



**Fig. 2.13.** Compunerea tensiunilor care sunt în opoziție de fază.

Dacă tensiunile generatoarelor sunt în opoziție de fază și au amplitudini egale, tensiunea la bornele grupării este nulă!



**9.** Care este expresia tensiunii efective la bornele grupării serie a celor două generatoare?

Ținând cont că pentru o tensiune alternativă sinusoidală

$$U_{ef} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}, \text{ obții imediat că:}$$

$$U_{ef} = \sqrt{U_{1ef}^2 + U_{2ef}^2 + 2U_{1ef}U_{2ef} \cos \Delta\varphi}.$$

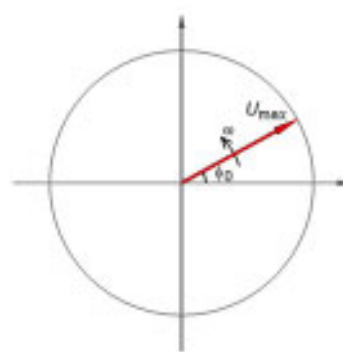
Compunerea tensiunilor alternative sinusoidale este asemenea compunerii vectorilor!

Vectorul din figura 2.14 are mărimea  $U_{max}$ , formează la momentul  $t = 0$  unghiul  $\varphi_0$  cu o direcție de referință și se rotește în sens trigonometric cu viteza unghiulară  $\omega$ .

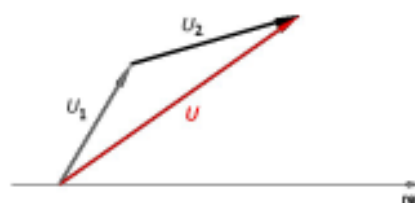
Proiecția acestui vector pe o axă perpendiculară celei de referință,  $U_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$ , este asemenea unei tensiuni alternative sinusoidale!

**Numim fazor un vector rotitor a cărui caracteristici sunt asemenea unei mărimi alternative sinusoidale.**

Reprezentarea cu fazori a mărimilor alternative sinusoidale permite efectuarea rapidă a calculelor de compunere (figura 2.15).

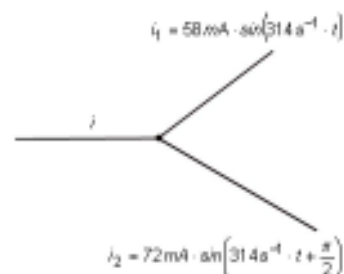


**Fig. 2.14.** Un vector rotitor ale cărui caracteristici corespund unei tensiuni alternative sinusoidale.



**Fig. 2.15.** Compunerea tensiunilor alternative sinusoidale utilizând reprezentarea fazorială.

**10.** Utilizează metoda fazorială și obține caracteristicile curentului  $i$  (figura 2.16).



**Fig. 2.16.** Curenții alternativi sinusoidali dintr-un nod al unei rețele.

### A.3. Rezistorul în curent alternativ

Într-un circuit de curent continuu constant, oricare întrerupere a conexiunilor conduce la încetarea funcționării circuitului.

Surprinzător, când există variații rapide ale curentului (ca în cazul curentului alternativ sinusoidal), un circuit poate funcționa corect chiar dacă există întreruperi ale

conexiunilor pe distanțe de câțiva milimetri sau chiar milioane de kilometri!

Când folosești telefonul mobil, între circuitele telefonului tău și ale celui cu care comunică există „întreruperi” pe distanțe de mai mulți kilometri – nici un fir nu conectează cele două telefoane (fig. 2.17).





**Fig. 2.17.** Telefonul „fără fir”.

Chiar dacă nu sunt conectate prin fire, variațiile de curent din circuitele telefonului tău induc variații de curent în circuitele celui alt telefon, la mulți kilometri depărtare!

Înțelegerea și controlul curentului alternativ sinusoidal deschide calea către numeroase aplicații: telefonie mobilă, radioul, televiziunea, comunicațiile prin satelit fiind doar câteva dintre acestea.



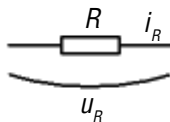
**9.** La bornele unui rezistor este aplicată tensiunea alternativă sinusoidală

$$u_R(t) = U_{R\max} \cdot \sin \omega t. \quad (1)$$

Care te aștepti să fie caracteristicile curentului prin rezistor?

În oricare moment de timp, între tensiunea aplicată unui rezistor și intensitatea curentului care-l străbate (fig. 2.18) există relația dată de legea lui Ohm, astfel că:

$$i_R(t) = \frac{1}{R} \cdot u_R(t) = \frac{U_{R\max}}{R} \cdot \sin \omega t. \quad (2)$$



**Fig. 2.18.** Tensiunea aplicată unui rezistor și intensitatea curentului care-l străbate.

Așadar, curentul care străbate rezistorul este un curent alternativ sinusoidal cu amplitudinea:

$$I_{R\max} = \frac{U_{R\max}}{R}.$$

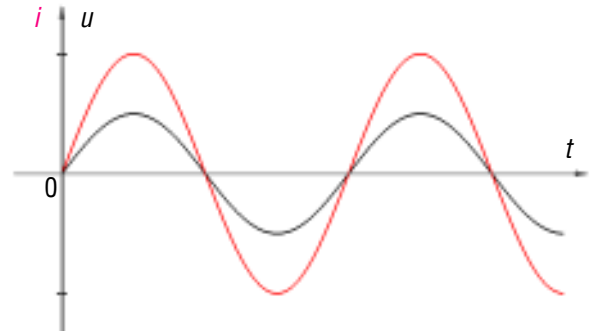
Aceasta este chiar expresia legii lui Ohm pentru amplitudinile tensiunii și curentului. Aceeași relație este valabilă și pentru valorile efective:

$$I_{\text{Ref}} = \frac{U_{\text{Ref}}}{R}.$$

**Pentru un rezistor, în regim alternativ sinusoidal, este valabilă legea lui Ohm pentru valorile maxime și efective ale tensiunii și curentului.**

Comparând relațiile (1) și (2) obții imediat că (fig. 2.19):

**Intensitatea curentului prin rezistor este în fază cu tensiunea aplicată acestuia.**



**Fig. 2.19.** Reprezentările grafice ale tensiunii și curentului pentru un rezistor în regim sinusoidal.



**10.** Reprezintă fazorial tensiunea și curentul pentru un rezistor în regim sinusoidal.

Fiind în fază, fazorii care reprezintă tensiunea și curentul au aceeași orientare, oricare ar fi momentul de timp (fig. 2.20).



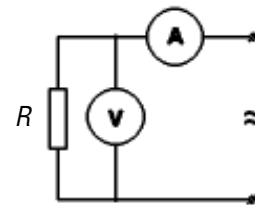
**Fig. 2.20.** Fazorii care reprezintă curentul și tensiunea pentru un rezistor în regim sinusoidal.



**2.** Investighează comportarea unui rezistor în regim alternativ sinusoidal. Lucrează în echipă.

**Pasul 1.** Măsurăți cu un multimetru setat ca ohmetru rezistența unui rezistor pe care este înscrisă valoarea 100 W.

**Pasul 2.** Folosiți ca generator de tensiune alternativă un alimentator de laborator și realizați circuitul din fig. 2.21.



**Fig. 2.21.** Circuit pentru investigarea comportării unui rezistor în regim alternativ sinusoidal.

**Pasul 3.** Aplicați circuitului tensiuni efective diferite și măsurați de fiecare dată tensiunea aplicată rezistorului și intensitatea curentului care-l străbate (intensitatea curentului care străbate voltmetrul este neglijabilă).

**Pasul 4.** Reprezentați grafic dependența curentului de tensiunea aplicată (*caracteristica voltamperică* a rezistorului în regim sinusoidal).

**Pasul 5.** Calculați rezistența rezistorului în regim sinusoidal și comparați-o cu cea pe care ați măsurat-o în curent continuu (folosind ohmmetrul).

## A.4. Bobina în curent alternativ sinusoidal



**21.** Unei bobine având rezistența electrică neglijabilă i se aplică tensiunea alternativă sinusoidală

$$u_L(t) = U_{L\max} \cdot \sin \omega t. \quad (1)$$

Care te aștepti să fie caracteristicile curentului prin bobină?

La prima vedere, aplicarea unei tensiuni unei bobine cu rezistență electrică neglijabilă ar provoca un scurtcircuit! Curentul ar crește brusc la valorile mari corespunzătoare regimului de scurtcircuit.

Însă variația rapidă a curentului prin bobină va genera în zona acesteia un câmp magnetic rapid variabil – bobina însăși va fi parcursă de un flux magnetic variabil, astfel că în aceasta se va genera tensiune electromotoare!

**Numim *autoinducție* fenomenul de generare a unei t.e.m. într-un element de circuit parcurs de curent cu intensitate variabilă.**

T.e.m. autoindusă într-un element de circuit este dată de *legea inducției electromagnetice*:

$$u_{amed} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta I} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

**Numim *inductanța* unui element de circuit cantitatea**

$$L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}.$$

Inductanța unui element de circuit descrie cantitativ cât flux magnetic este generat și străbate acel element de circuit pentru *fiecare* amper al intensității curentului care străbate acel element de circuit.

Unitatea de măsură a inductanței în Sistemul Internațional este numită *henry* (simbol H):

$$1H = 1 \frac{Wb}{A} = 1 \frac{Tm^2}{A} = 1 \frac{\frac{Vs}{m^2} \cdot m^2}{A} = 1 \frac{Vs}{A} = 1 \Omega \cdot s$$

O bobină cu inductanța  $L$  parcursă de un curent alternativ sinusoidal, datorită variației intensității curentului, generează prin autoinducție tensiunea electromotoare medie:

$$u_{amed} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Dacă la momentul  $t$  intensitatea curentului prin bobină este:

$$i_L(t) = I_{L\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = I_{L\max} \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

La un moment ulterior  $t + \Delta t$ , intensitatea curentului prin bobină este:

$$\begin{aligned} i_L(t + \Delta t) &= I_{L\max} \cdot \sin[\omega(t + \Delta t) + \varphi_0] = \\ &= I_{L\max} \cdot \sin(\varphi + \omega \Delta t) \end{aligned}$$

Variația intensității curentului prin bobină în intervalul de timp  $\Delta t$  este:

$$\Delta I = i(t + \Delta t) - i(t) = I_{L\max} [\sin(\varphi + \omega \Delta t) - \sin \varphi].$$

Folosind dezvoltarea

$$\sin(a + b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b,$$

obții pentru variația intensității curentului:

$$\Delta I = I_{L\max} (\sin \varphi \cdot \cos \omega \Delta t + \cos \varphi \cdot \sin \omega \Delta t - \sin \varphi).$$

Cu cât este mai mic intervalul de timp  $\Delta t$ , cu atât mai bune sunt aproximațiile (pe care le-ai verificat anterior):  $\cos \omega \Delta t \approx 1$  și  $\sin \omega \Delta t \approx \omega \Delta t$ .

Astfel, tensiunea electromotoare autoindusă în bobină la momentul  $t$  este:

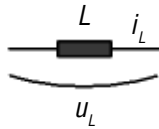
$$\begin{aligned} u_a(t) &= -L \cdot I_{L\max} \frac{\omega \Delta t \cdot \cos \varphi}{\Delta t} = \\ &= -\omega L \cdot I_{L\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) = \\ &= -\omega L \cdot I_{L\max} \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right). \quad (3) \end{aligned}$$

Pentru o bobină cu rezistență electrică neglijabilă căreia i se aplică tensiunea de forma (1) și care generează



tensiunea electromotoare autoindusă (3), bilanțul tensiunilor (a doua teoremă Kirchhoff) este (fig. 2.21);

$$u_L(t) + u_a(t) = 0.$$



**Fig. 2.21.** Unei bobine cu rezistență neglijabilă i se aplică o tensiune alternativă sinusoidală.

Explicitând ultima relație, obții:

$$U_{L\max} \cdot \sin \omega t = \omega L \cdot I_{L\max} \cdot \sin \left( \omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2} \right).$$

Așadar,

$$I_{L\max} = \frac{U_{L\max}}{\omega L}$$

și

$$\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}.$$

Numim **reactanță inductivă** cantitatea

$$X_L = \omega L.$$

Reactanța inductivă limitează intensitatea unui curent variabil care străbate un element de circuit care are inductanță. Unitatea de măsură este *ohmul*.

Limitarea curentului se realizează prin interacțiune cu câmpul magnetic generat de bobină, nu prin ciocniri cu atomii conductorului, astfel că bobina fără rezistență electrică (inductanță pură) *nu degajă căldură la trecerea curentului electric!*

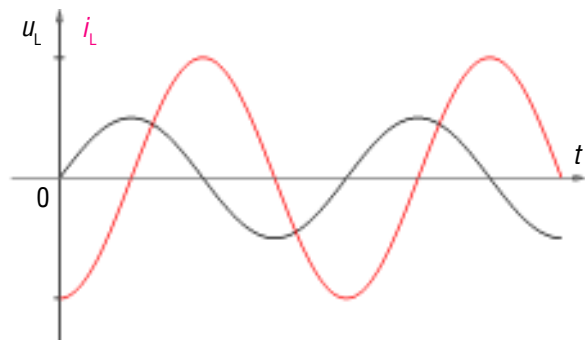
**Pentru o inductanță  $L$ , în curent alternativ sinusoidal, expresia legii lui Ohm pentru valorile maxime este**

$$I_{L\max} = \frac{U_{L\max}}{X_L}.$$

Totdată, am obținut că  $\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$ . Comparând expresia

(1) a tensiunii aplicată bobinei fără rezistență cu expresia (2) a intensității curentului prin bobină, rezultă că (fig. 2.22):

**Intensitatea curentului printr-o bobină fără rezistență electrică este defazată cu  $\frac{\pi}{2}$  în urmatensiunii aplicată bobinei.**

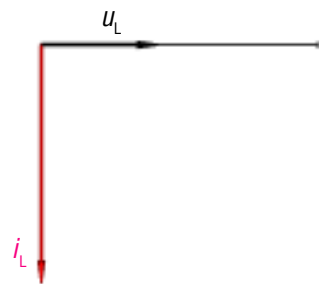


**Fig. 2.22.** Reprezentările grafice ale tensiunii și curentului pentru o inductanță în regim sinusoidal.



**22.** Reprezintă fazorial tensiunea și intensitatea curentului pentru o inductanță în regim sinusoidal.

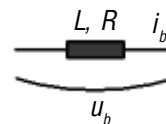
Fazorii se rotesc în sens trigonometric, iar intensitatea curentului pentru o inductanță este defazată în urma tensiunii cu  $\frac{\pi}{2}$  (fig. 2.23).



**Fig. 2.23.** Fazorii care reprezintă tensiunea și intensitatea curentului pentru o inductanță în regim alternativ sinusoidal.

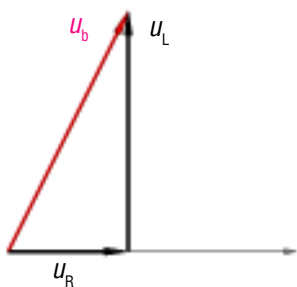


**23** Care te aștepti să fie relația dintre intensitatea curentului și tensiunea aplicată unei bobine care are inductanța  $L$  și rezistența electrică neneglijabilă  $R$  (bobină reală)? (fig. 2.24)



**Fig. 2.24.** O bobină reală în regim alternativ sinusoidal.

Proprietățile inductivă și rezistivă ale bobinei sunt *distribuite* în lungul acesteia. Luând ca fazor de referință intensitatea efectivă a curentului prin bobină, reprezentarea fazorială pentru valorile efective este cea din figura 2.25.



**Fig. 2.25.** Reprezentarea fazorială pentru o bobină reală (valori efective).

Tensiunea efectivă pentru partea rezistivă a bobinei este  $U_R$  (în fază cu intensitatea efectivă a curentului prin bobină), iar tensiunea efectivă pentru partea inductivă este  $U_L$  (defazată cu  $\frac{\pi}{2}$  înainte intensității curentului).

Tensiunea efectivă la bornele bobinei este, așadar:

$$U_b = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(I_b R)^2 + (I_b X_L)^2} = I_b \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

Numim **impedanța** unei bobine cantitatea

$$Z_b = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

Impedanța unei bobine limitează intensitatea curentului care străbate bobina. Unitatea de măsură este *ohmul*.

O parte din efectul de limitare a intensității curentului se datorează inductanței  $L$  (prin interacțiune cu câmpul magnetic generat), cealaltă parte fiind datorată interacțiunii dintre electronii de conducție și atomii conductorului cu rezistența  $R$  din care este confecționată bobina. O bobină reală *degajă căldură* când este străbătută de curent!

**Pentru o bobină reală în curent alternativ, expresia legii lui Ohm este, pentru valorile efective este:**

$$I_b = \frac{U_b}{Z_b}.$$



**3.** Investighează comportarea în curent continuu și alternativ a bobinelor pe care le-ai realizat la activitățile experimentale anterioare. Lucrează în echipă.

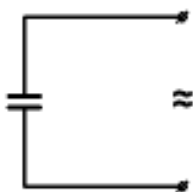
**Pasul 1.** Măsurăți rezistența electrică a bobinelor în curent continuu, utilizând un multimetru setat ca ohmetru.

**Pasul 2.** Alimentați rând pe rând bobinele în curent alternativ sinusoidal folosind un alimentator de laborator. Măsurăți de fiecare dată valorile efective ale curentului și tensiunii. Calculați impedanța și inductanța fiecărei bobine.

## A.5. Condensatorul electric

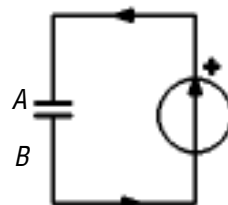


**24.** O tensiune alternativă sinusoidală este aplicată unei perechi de plăci conductoare aflate față în față și care nu se ating (fig. 2.26). Te aștepti ca generatorul și firele de legătură să fie parcurse de curent electric?



**Fig. 2.26.** O tensiune alternativă este aplicată unei perechi de plăci conductoare care nu se ating.

Când un generator de t.e.m. cu polaritatea indicată în fig. 2.27 este conectat la plăcile conductoare (care nu se ating), electronii aflați în exces la borna negativă a generatorului vor „năvăli” pe placa  $B$ .



**Fig. 2.27.** Conectarea unui generator de t.e.m. la cele două plăci conductoare determină „mișcări” de sarcini!

Totodată, electronii aflați pe placa  $A$  se vor „năpusti” către borna pozitivă a generatorului, acolo unde există deficit de sarcini negative. Generatorul și firele de legătură sunt parcurse de curent electric!

Procesul de acumulare de sarcini cu semne contrare pe cele două plăci încetează doar atunci când tensiunea electrică între acestea egalează t.e.m. a generatorului.

Dacă se inversează polaritatea generatorului, purtătorii de sarcină se deplasează în sens contrar până când tensiunea electrică între plăci egalează din nou t.e.m. a generatorului.

Cât timp este schimbată periodic polaritatea generatorului, prin acesta și prin firele de legătură circulă curent alternativ!

**Numim *condensator* un dispozitiv alcătuit din două corpuri conductoare (numite *armături*) separate de un izolator (numit *dielectric*).**

Între generator și câmpul electric dintre cele două plăci are loc un schimb periodic de energie. Un condensator poate acumula temporar energie electrică în câmpul electric dintre armături și o poate returna prin recombinarea purtătorilor de sarcină în circuitul exterior condensatorului.

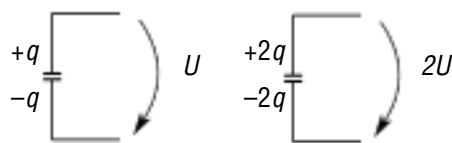
Simbolul utilizat în schemele electrice pentru reprezentarea unui condensator sugerează alcătuirea acestuia din două armături care nu se ating (fig. 2.28, a).



**Fig. 2.28. a)** Simbolul grafic pentru un condensator. **b)** Condensatoare.

**25.** Care te aștepti să fie relația dintre cantitățile de sarcină de pe armăturile unui condensator și tensiunea dintre acestea?

Pentru condensatorul din fig. 2.29, a, la transferul unui purtător elementar de sarcină de pe o armătură pe cealaltă este transferată energia  $eU$ .



**Fig. 2.29.** Dublarea cantităților de sarcină de pe armăturile unui condensator.

Dacă s-ar dubla cantitățile de sarcină de pe armături (fig. 2.47, b), la transferul unui purtător elementar s-ar transfera o energie dublă – purtătorul de sarcină transferat interacționează cu de două ori mai multe sarcini aflate pe aceleași armături! Aceasta înseamnă că tensiunea dintre armături este dublă.

Așadar, tensiunea electrică dintre armăturile unui condensator este direct proporțională cu cantitățile de sarcină electrică netă de pe armături:

$$U \sim q.$$

**Numim *capacitate electrică a unui condensator*, cantitatea:**

$$C = \frac{q}{U}.$$

Capacitatea unui condensator este o caracteristică a fiecărui condensator și depinde de modul în care acesta este realizat.

Unitatea de măsură pentru capacitatea electrică în Sistemul Internațional este *faradul* (simbol F):

$$1F = 1 \frac{C}{V} = 1 \frac{A \cdot s}{V} = 1 \frac{s}{\Omega}.$$

## A.6. Condensatorul în curent alternativ sinusoidal

**26.** Unui condensator având capacitatea  $C$  i se aplică tensiunea alternativă sinusoidală:

$$u_C(t) = U_{C_{\max}} \cdot \sin \omega t. \quad (1)$$

Care te aștepti să fie caracteristicile curentului prin circuitul exterior condensatorului?

Dacă la momentul de timp  $t$  tensiunea dintre armăturile condensatorului este

$$u_C(t) = \frac{q(t)}{C} = U_{C_{\max}} \cdot \sin \omega t,$$

la un moment ulterior  $t + \Delta t$ , tensiunea este

$$u_C(t + \Delta t) = \frac{q(t + \Delta t)}{C} = U_{C_{\max}} \cdot \sin \omega(t + \Delta t)$$

Cantitatea de sarcină electrică de pe armăturile condensatorului se modifică în acest interval de timp cu

$$\begin{aligned} \Delta q &= q(t + \Delta t) - q(t) = \\ &= C \cdot U_{C_{\max}} [\sin \omega(t + \Delta t) - \sin \omega t] = \\ &= C \cdot U_{C_{\max}} [\sin(\omega t + \omega \Delta t) - \sin \omega t] \end{aligned}$$

Dacă folosești dezvoltarea

$$\sin(a + b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b.$$

și aproximațiile

$$\begin{aligned} \cos \omega \Delta t &\approx 1 \\ \sin \omega \Delta t &\approx \omega \Delta t \end{aligned}$$

care sunt cu atât mai bune cu cât intervalul de timp  $\Delta t$  este mai mic, obții expresia *intensității* curentului prin circuitul exterior condensatorului la momentul  $t$ :

$$i_c(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \omega C \cdot U_{C\max} \cdot \cos \omega t,$$

pe care o poți pune sub forma:

$$i_c(t) = \frac{U_{C\max}}{\frac{1}{\omega C}} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

Așadar,

$$I_{C\max} = \frac{U_{C\max}}{\frac{1}{\omega C}}$$

și

$$\varphi = \frac{\pi}{2}.$$

**Numim *reactanță capacitivă*, cantitatea:**

$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Reactanța capacitivă limitează intensitatea unui curent variabil în circuitul exterior unui condensator. Unitatea de măsură este *ohmul*.

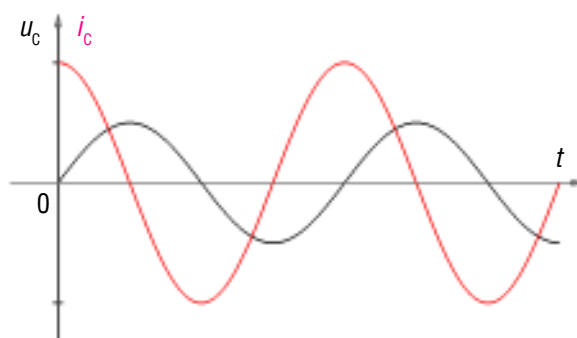
Limitarea curentului se realizează prin interacțiunea cu câmpul electric generat între armăturile condensatorului, nu prin ciocniri cu atomii izolatorului dintre armături, astfel că un condensator cu un izolator perfect între armături *nu degajă căldură* în timpul trecerii curentului prin circuitul său exterior!

Pentru o capacitate  $C$ , în curent alternativ sinusoidal, expresia legii lui Ohm pentru valorile maxime este:

$$I_{C\max} = \frac{U_{C\max}}{X_C}.$$

Totodată, am obținut că  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ . Comparând expresia (1) a tensiunii aplicată condensatorului cu expresia (2) a curentului prin circuitul exterior condensatorului, rezultă că (fig. 2.29):

**Intensitatea curentului prin circuitul exterior unui condensator este defazată cu  $\frac{\pi}{2}$  înaintea tensiunii aplicată condensatorului.**

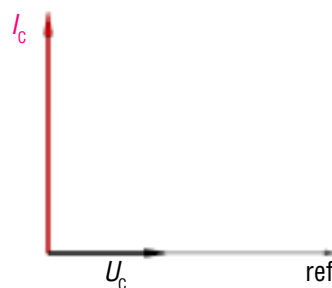


**Fig. 2.29.** Reprezentările grafice ale tensiunii și intensității curentului pentru un condensator.



**27.** Reprezintă fazorial tensiunea și intensitatea curentului pentru un condensator în regim sinusoidal.

Fazorii se rotesc în sens trigonometric, iar intensitatea curentului prin circuitul exterior condensatorului este defazată înaintea tensiunii cu  $\frac{\pi}{2}$  (fig. 2.30).



**Fig. 2.30.** Fazorii care reprezintă tensiunea și intensitatea curentului pentru un condensator.



**7.** Investighează comportarea unui condensator în regim sinusoidal. Lucrează în echipă.

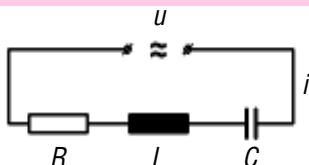
**Pasul 1.** Aplicați unui condensator nepolarizat o tensiune alternativă sinusoidală cu valoarea efectivă cel mult egală cu cea indicată pe condensator.

**Pasul 2.** Măsurați atât tensiunea aplicată cât și intensitatea curentului prin circuitul exterior condensatorului. Calculați capacitatea condensatorului și comparați-o cu cea înscrisă pe acesta.

## A.7. Circuitul serie RLC



**28.** O grupare serie este alcătuită dintr-un rezistor având rezistența  $R$ , o bobină ideală cu inductanța  $L$  și un condensator cu capacitatea  $C$  (fig. 2.31). Grupării i se aplică tensiunea alternativă sinusoidală de forma  $u(t) = U_{\max} \cdot \sin \omega t$ . Care te aștepti să fie caracteristicile intensității curentului prin acest circuit?

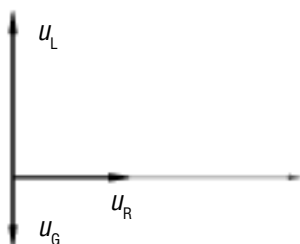


**Fig. 2.31.** Un circuit RLC serie în regim sinusoidal.

Conform legii a doua a lui Kirchhoff, bilanțul tensiunilor instantanee în circuitul RLC serie este:

$$u(t) - u_R(t) - u_L(t) - u_C(t) = 0.$$

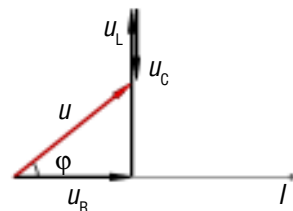
Tensiunea la bornele fiecărui element al grupării are un anumit defazaj în raport cu intensitatea curentului din circuit (fig. 2.32):



**Fig. 2.32.** Fazorii tensiunilor și intensității curentului.

- tensiunea între capetele rezistorului este în fază cu intensitatea curentului prin rezistor;
- tensiunea între capetele bobinei ideale (inductanță pură) este defazată cu  $\frac{\pi}{2}$  înainte intensității curentului prin bobină;
- tensiunea între armăturile condensatorului (capacitate pură) este defazată cu  $\frac{\pi}{2}$  în urma intensității curentului prin circuitul exterior condensatorului.

Luând fazor de referință pe cel care reprezintă intensitatea curentului (comun tuturor componentelor) și folosind metoda poligonului pentru compunerea fazorilor care reprezintă tensiunile, diagrama fazorială pentru circuitul din figura 2.31 este (cu valori efective), cea din figura 2.33.



**Fig. 2.33.** Diagrama fazorială pentru circuitul RLC serie.

Din triunghiul dreptunghic format în diagrama fazorială din figura 2.33 rezultă imediat:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

Folosind legea lui Ohm pentru grupare și pentru fiecare element în parte, rezultă:

$$I \cdot Z_{\text{serie}} = \sqrt{I^2 \cdot R^2 + (I \cdot X_L - I \cdot X_C)^2}.$$

După simplificarea factorului comun  $I$  rezultă că:

**Impedanța circuitului serie RLC este**

$$Z_{\text{serie}} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \quad (1)$$

Totodată, din diagrama fazorială din fig. 2.33, rezultă imediat tangenta unghiului de defazaj dintre tensiunea aplicată grupării serie și intensitatea curentului care străbate gruparea:

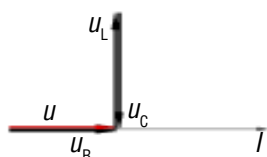
$$\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{I \cdot X_L - I \cdot X_C}{I \cdot R} = \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Astfel, intensitatea curentului prin circuitul serie RLC are expresia generală:

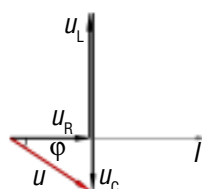
$$i(t) = \frac{U_{\max}}{Z_{\text{serie}}} \cdot \sin(\omega t - \varphi).$$

Sunt posibile următoarele cazuri:

- $X_L > X_C$  În acest caz  $\varphi > 0$ : predomină reactanța inductivă, astfel că intensitatea curentului este defazată în urma tensiunii aplicată grupării (ca în fig. 2.33).
- $X_L = X_C$  În acest caz  $\varphi = 0$ : efectele reactanțelor inductivă și capacitivă se compensează reciproc și circuitul se comportă pur rezistiv (fig. 2.34).
- $X_L < X_C$  În acest caz  $\varphi < 0$ : predomină reactanța capacitivă, astfel că intensitatea curentului este defazată înainte tensiunii aplicată grupării (ca în fig. 2.35).



**Fig. 2.53.** Diagrama fazorială în cazul compensării efectelor reactanțelor capacitivă și inductivă.



**Fig. 2.54.** Diagrama fazorială în cazul în care predomină reactanța capacitivă.



**29.** Cât este frecvența tensiunii pentru care impedanța circuitului serie RLC este minimă?

Impedanța circuitului RLC, conform expresiei (1), este minimă când reactanța totală a circuitului este nulă (efectele reactanței capacitive compensează efectele reactanței inductive, iar circuitul se comportă pur rezistiv).

**Numim *rezonanță* starea unui circuit de curent alternativ în care efectele reactanțelor se compensează reciproc și circuitul se comportă pur rezistiv.**

Astfel,

**Condiția de rezonanță este  $X_L = X_C$ .**

Explicitând expresiile celor două reactanțe, obții pulsația tensiunii de rezonanță:

$$\omega_{rez} L = \frac{1}{\omega_{rez} C} \Rightarrow \omega_{rez} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Așadar,

**Frecvența de rezonanță este  $f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .**

Impedanța circuitului fiind minimă la rezonanță,

**Un circuit serie RLC absoarbe cea mai mare valoare efectivă a intensității curentului când circuitul este la rezonanță:**

$$I_{rez} = \frac{U}{Z_{rez}} = \frac{U}{R}.$$

**8.** Investighează funcționarea unui circuit serie RLC.



Lucrează în echipă.

**Pasul 1.** Realizați un circuit serie RLC cu un rezistor având o rezistență de aproximativ 100 Ω (măsurați-Ω!), condensatorul nepolarizat cu capacitatea aproximativ 1 mF (pe care ați măsurat-o într-una din activitățile experimentale anterioare) și bobina cu multe spire pe care ați realizat-o și a cărei impedanță ați măsurat-o.

**Pasul 2.** Aplicați circuitului o tensiune alternativă sinusoidală având valoarea efectivă de câțiva volți și măsurați intensitatea efectivă a curentului prin circuit. Calculați impedanța circuitului pornind de la valorile măsurate ale tensiunii și intensității curentului și comparați-o cu valoarea calculată pornind de la valorile componentelor.

**Pasul 3.** Calculați frecvența de rezonanță a circuitului, iar dacă în laboratorul tău dispuneți de un generator sinusoidal cu frecvență variabilă, verificați experimental cât este frecvența la care circuitul este în rezonanță.

**Pasul 4.** Calculați defazajul așteptat între tensiunea și curentul din circuit la frecvența rețelei, iar dacă în laborator dispuneți de un osciloscop cu două spoturi, vizualizați simultan tensiunea de la bornele circuitului și tensiunea de la bornele rezistorului (care este în fază cu intensitatea curentului prin circuit). Determinați defazajul și comparați-l cu valoarea așteptată.

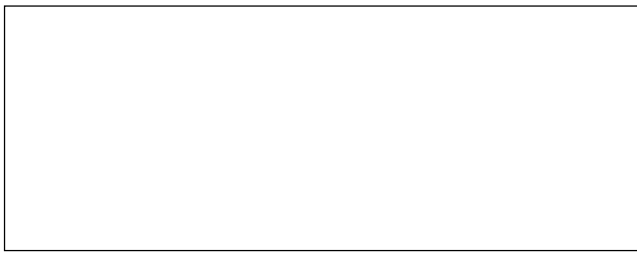
## A.8. \*Circuitul paralel RLC



**30.** O grupare paralel este alcătuită dintr-un rezistor având rezistența  $R$ , o bobină ideală cu inductanța  $L$  și un condensator cu capacitatea  $C$  (fig. 2. 55). Grupării i se aplică tensiunea alternativă

sinusoidală de forma  $u(t) = U_{max} \cdot \sin \omega t$ . Care te aștepti să fie caracteristicile intensității curentului prin acest circuit?





**Fig. 2.55.** Un circuit RLC paralel în regim sinusoidal.

Conform primei legi a lui Kirchhoff, bilanțul intensităților instantanee ale curentului într-unul dintre nodurile rețelei este:

$$i(t) - i_R(t) - i_L(t) - i_C(t) = 0.$$

Luând ca fazor de referință pe cel care reprezintă tensiunea aplicată (aceeași pentru toate componentele) și folosind metoda poligonului pentru compunerea fazorilor care reprezintă intensitățile curentilor, diagrama fazorială pentru valorile efective este (figura 2.56):



**Fig. 2.56.** Diagrama fazorială pentru circuitul RLC paralel.

Din triunghiul dreptunghic format în diagrama fazorială, rezultă imediat:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}.$$

Folosind legea lui Ohm pentru grupare și pentru fiecare element în parte, rezultă:

$$\frac{U}{Z_{\text{paralel}}} = \sqrt{\frac{U^2}{R^2} + \left( \frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L} \right)^2}.$$

După simplificarea factorului comun  $U$ , rezultă că:

**Impedanța circuitului paralel RLC este:**

$$Z_{\text{paralel}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2}}. \quad (1)$$

Totodată, din diagrama fazorială din figura 2.56, rezultă imediat tangenta unghiului de defazaj dintre intensitatea curentului și tensiune:

$$\tan \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{\frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L}}{\frac{U}{R}} = R \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right).$$

Astfel, intensitatea curentului prin circuit este:

$$i(t) = \frac{U_{\text{max}}}{Z_{\text{paralel}}} \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

Sunt posibile următoarele cazuri:

- $X_L > X_C$ . În acest caz  $\varphi > 0$ : intensitatea curentului este defazată *înaintea* tensiunii (intensitatea curentului prin ramura condensatorului este mai mare decât prin cea a bobinei, ca în fig. 2.56).

- $X_L = X_C$ . În acest caz  $\varphi = 0$ : efectele reactanțelor inductivă și capacitivă se compensează reciproc și circuitul se comportă pur rezistiv – este la rezonanță (figura 2.57).

- $X_L < X_C$ . În acest caz  $\varphi < 0$ : intensitatea curentului este



**Fig. 2.57.** Diagrama fazorială în cazul rezonanței.

defazată *în urma* tensiunii (intensitatea curentului prin ramura bobinei este mai mare decât prin cea a condensatorului, ca în fig. 2.58).



**Fig. 2.58.** Diagrama fazorială când  $I_L > I_C$ .



**31.** Care te aștepti să fie frecvența de rezonanță a unui circuit RLC paralel?

La rezonanță efectele reactanțelor se compensează reciproc și circuitul se comportă pur rezistiv.

**Condiția de rezonanță a circuitului RLC paralel este aceeași ca și în cazul circuitului serie:**

$$X_L = X_C$$

Așadar,

**Frecvența de rezonanță a circuitului RLC paralel este aceeași cu cea a circuitului serie:**

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Impedanța circuitului paralel este maximă la rezonanță (numitorul expresiei (1) este minim la rezonanță), astfel că:

**Un circuit paralel RLC absoarbe cea mai mică valoare efectivă a intensității curentului când circuitul este la rezonanță:**

$$I_{rez} = \frac{U}{Z_{rez}} = \frac{U}{R}.$$



**9.** Investighează funcționarea unui circuit paralel RLC. Lucrează în echipă.

**Pasul 1.** Realizați un circuit paralel RLC cu componentele pe care le-ați utilizat la activitatea experimentală precedentă.

**Pasul 2.** Aplicați circuitului o tensiune alternativă sinusoidală având valoarea efectivă de câțiva volți și măsurați intensitatea efectivă a curentului prin circuit. Calculați impedanța circuitului pornind de la valorile măsurate ale tensiunii și intensității curentului și comparați-o cu cea calculată pornind de la valorile componentelor.

**Pasul 3.** Calculați defazajul așteptat între tensiune și intensitatea curentului la frecvența rețelei.

Când ai de analizat o rețea de curent alternativ, vei identifica grupările serie și paralel și le vei aplica, fiecare în parte, analiza corespunzătoare.

## A.9. Energia și puterea în curent alternativ sinusoidal



**32.** Unui circuit i se aplică tensiunea alternativă sinusoidală:

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

iar intensitatea curentului prin acest circuit este:

$$i(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi). \quad (2)$$

Cât te aștepti să fie puterea instantanee transferată circuitului la momentul  $t$ ?

În oricare moment  $t$ , puterea instantanee este:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_{\max} \cdot I_{\max} \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

Folosind dezvoltarea generală:

$$\sin(a + b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b,$$

expresia puterii instantanee devine:

$$p(t) = U_{\max} I_{\max} (\sin^2 \omega t \cos \varphi + \sin \omega t \cos \omega t \sin \varphi).$$

Folosind relațiile generale:

$$\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}$$

și

$$\sin a \cdot \cos a = \frac{1}{2} \cdot \sin 2a,$$

expresia puterii instantanee devine:

$$p(t) = \frac{U_{\max} \cdot I_{\max}}{2} \cos \varphi - \frac{U_{\max} \cdot I_{\max}}{2} (\cos 2\omega t \cdot \cos \varphi - \sin 2\omega t \cdot \sin \varphi).$$

Folosind relația generală:

$$\cos(a + b) = \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b,$$

expresia puterii instantanee devine:

$$p(t) = \frac{U_{\max} \cdot I_{\max}}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)].$$

Folosind valorile efective ale tensiunii și intensității curentului, expresia puterii instantanee devine (fig. 2.59):

$$p(t) = U \cdot I [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)].$$



**Fig. 2.59.** Reprezentarea grafică a tensiunii, intensității curentului și puterii instantanee.

Circuitul primește energie când  $p(t) > 0$  (aceasta se întâmplă când  $\cos(2\omega t + \varphi) < \cos \varphi$ ) și cedează energie când  $p(t) < 0$  (aceasta se întâmplă când  $\cos(2\omega t + \varphi) > \cos \varphi$ ).

Reprezentarea grafică a puterii instantanee din figura 2.59 este asimetrică față de axa orizontală (predomină valorile pozitive): circuitul primește în timp mai multă energie de la sursa de alimentare decât returnează acesteia.

Mediind puterea instantanee pe o perioadă a acesteia, media termenilor care conțin  $\cos(2\omega t + \varphi)$  este nulă (pentru fiecare valoare pozitivă dintr-o perioadă există o valoare simetrică negativă – aceste valori se compensează prin mediere).

Așadar, puterea medie primită de circuit este:

$$P_{\text{medie}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

**Numim putere activă a unui circuit puterea medie primită de acesta:**

$$P_a = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

Unitatea de măsură pentru puterea activă este *wattul* (simbol W).

Energia consumată (primită și nereturnată) de un consumator electric în regim alternativ sinusoidal într-un interval de timp egal cu un număr întreg  $n$  de perioade ale puterii instantanee este, așadar:

$$E_{\text{consumată}} = P_a \cdot (n \cdot T).$$

Cu cât este mai lung intervalul de timp  $\Delta t$  în raport cu perioada de variație a puterii instantanee, cu atât mai bună este aproximația:

$$E_{\text{consumată}} \approx P_a \cdot \Delta t$$

(energia consumată pe fracțiunea neîntreagă de perioadă devine neglijabilă în comparație cu energia consumată pe numărul mare de perioade întregi).

Contorul electric din locuința ta (figura 2.60) este astfel construit încât să măsoare energia consumată în locuința ta (primită de la rețea și nereturnată).



**Fig. 2.60.** Contor electric.

Contorul electric afișează în *kilowattoră* (kWh) energia consumată:

$$1kWh = 1kW \cdot 1h = 1000W \cdot 3600s = 3,6 \cdot 10^6 J.$$



**33.** Un circuit este alimentat în regim alternativ sinusoidal. Un voltmetru măsoară tensiunea efectivă aplicată circuitului, iar un ampermetru măsoară intensitatea efectivă a curentului prin circuit. Cât este puterea activă a circuitului?

Indicațiile voltmetrului și ampermetrului (care indică valorile efective  $U$  și  $I$ ) trebuie corectate cu cosinusul unghiului de defazaj dintre tensiune și intensitatea curentului pentru a obține puterea activă a circuitului:

$$P_a = (U \cdot I) \cdot \cos \varphi.$$

**Numim putere aparentă a unui circuit în regim alternativ sinusoidal produsul dintre valorile efective ale tensiunii și intensității curentului:**

$$S = U \cdot I.$$

Unitatea de măsură pentru puterea aparentă este *voltamperul* (VA).

**Numim factor de putere al unui circuit în regim alternativ sinusoidal factorul cu care trebuie corectată puterea aparentă pentru a obține puterea activă:**

$$P_a = S \cdot \cos \varphi.$$

Factorul de putere în regim alternativ sinusoidal este chiar cosinusul unghiului de defazaj dintre tensiunea și intensitatea curentului ( $\cos \varphi$ ).



**34.** Cât este factorul de putere al unui rezistor?

Rezistorul nu defazează intensitatea curentului față de tensiunea aplicată acestuia ( $\varphi = 0$ ), astfel că factorul de putere al unui rezistor este unitar ( $\cos 0 = 1$ ).

**Toată energia primită de un rezistor de la un generator electric este disipată prin efect Joule sub formă de căldură și nu mai este returnată generatorului.**



**35.** Cât este factorul de putere al unei bobine ideale (inductanță pură)?

Bobina ideală defazează intensitatea curentului cu  $\frac{\pi}{2}$  în urma tensiunii aplicată bobinei ( $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ ), astfel că factorul de putere al unei bobine ideale este nul:  $\cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) = 0$ .

Când intensitatea curentului prin bobină crește, aceasta acumulează energie în câmpul magnetic pe care îl generează, iar când intensitatea curentului prin bobină scade, aceasta *returnează* energia acumulată în câmpul său magnetic.

O bobină ideală doar *schimbă* periodic energie cu circuitul său exterior (energia consumată efectiv este nulă pe intervalul de timp al fiecărei semiperioade a curentului care străbate bobina).

În cazul unei bobine reale (care are rezistență nenulă), în timpul acestui schimb periodic de energie se degajă căldură prin efect Joule – bobina reală consumă efectiv energie pe care o disipă sub formă de căldură.



**36.** Cât este factorul de putere al unui condensator ideal (capacitate pură)?

Condensatorul ideal defazează intensitatea curentului cu  $\frac{\pi}{2}$  înaintea tensiunii aplicată acestuia, astfel că factorul de putere al unui condensator ideal este nul:  $\cos\frac{\pi}{2} = 0$ .

Când tensiunea între armăturile condensatorului crește, acesta acumulează energie în câmpul electric pe care îl generează între armături, iar când tensiunea scade, acesta *returnează* energia acumulată în câmpul său electric.

Un condensator ideal doar *schimbă* periodic energie cu circuitul său exterior (energia efectiv consumată este nulă pe intervalul de timp al fiecărei semiperioade a tensiunii aplicată acestuia).

Un condensator real (care are rezistență electrică nenulă a armăturilor și rezistență finită a dielectricului – nici un

izolator nu este perfect!) va degaja căldură în timpul schimbului periodic de energie cu circuitul său exterior – condensatorul real consumă efectiv energie pe care o disipă sub formă de căldură.

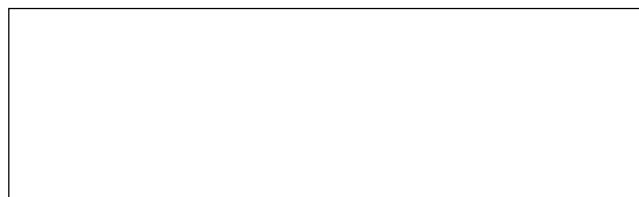
**37.** Cât este factorul de putere al unui circuit serie RLC?



Din diagrama fazorială a circuitului (fig. 2.61), rezultă pentru factorul de putere:

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{I \cdot R}{I \cdot Z} = \frac{R}{Z}.$$

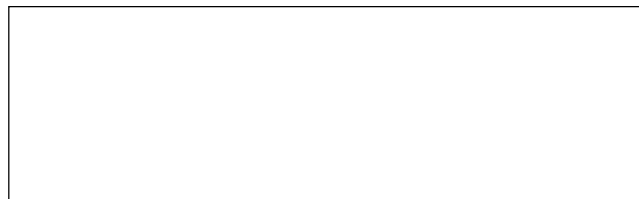
Dacă laturile triunghiului din diagrama fazorială sunt amplificate cu factorul comun  $I$ , obținem o relație grafică între puteri – *triunghiul puterilor* (fig. 2.62):



**Fig. 2.62.** Triunghiul puterilor.

Numim *putere reactivă* a unui circuit în regim alternativ sinusoidal cantitatea:

$$P_r = S \cdot \sin \varphi.$$



**Fig. 2.61.** Diagrama fazorială a unui circuit serie RLC.

Aceasta este puterea netă schimbată periodic de reactanțele din circuit cu generatorul. Unitatea de măsură este *voltamperul reactiv* (simbol VAR).

## A.10. Aplicații ale circuitelor de curent alternativ

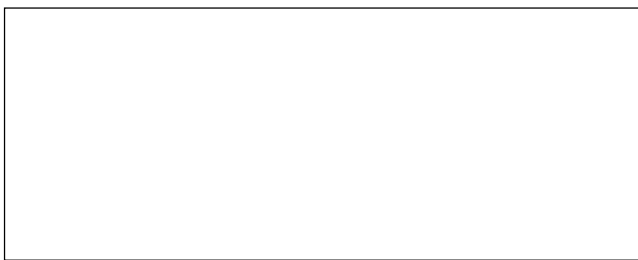


**38.** Identifică aparatele electrice pe care le folosești în locuința ta!

Utilizăm zilnic o diversitate uluitoare de aparate electrice. Unele dintre acestea – aparatele *electrocasnice* – sunt

special destinate utilizării în locuințele noastre.

Pe fiecare dintre acestea sunt înscrise câteva caracteristici esențiale (fig. 2.63).



**Fig. 2.63.** Caracteristici înscrise pe un uscător de păr.



**39.** Care este semnificația caracteristicilor din figura 2.63?

Recunoști cu siguranță tensiunea la care uscătorul trebuie alimentat și puterea absorbită de acesta:

- tensiunea (efectivă): 230V;
- tipul tensiunii: alternativă (simbolul ~);
- frecvența: 50Hz;
- puterea (activă): 1200W.

Simpla lectură a acestor caracteristici te poate lămuri dacă poți utiliza la tine acasă acest uscător.



**40.** Tensiunea efectivă la prizele din locuința ta este 220V. Te aștepti să funcționeze normal la tine acasă uscătorul cu caracteristicile de mai sus, având în vedere că, în general, sunt acceptate variații în plus sau în minus de 10 procente ale tensiunii de alimentare?

Primele patru simboluri grafice din figura 3-1 reprezintă declarații ale producătorului care atestă conformitatea produsului cu anumite standarde. De exemplu, simbolul din fig. 2.64 reprezintă declarația producătorului că produsul îndeplinește toate directivele Comisiei Europene.



**Fig. 2.64.** Simbolul care atestă conformitatea cu directivele Comisiei Europene.

Simbolul reprezentat în figura 2.65 indică faptul că produsul are izolație electrică dublă sau consolidată (utilizând un aparat marcat cu acest simbol este redus riscul de electrocutare).



**Fig. 2.65.** Simbolul care atestă o izolație electrică dublă sau consolidată.

Din nefericire, unele simboluri grafice pe care le poți întâlni pe produse *nu sunt încă standardizate* internațional!



**41.** Ce reprezintă oare ultimul simbol din figura 2.63?

Pătrunderea apei în interiorul unui aparat electric care *nu este destinat imersării în apă* poate provoca accidente grave prin electrocutare! Ultimul simbol grafic reprezentat în figura 2.63 avertizează asupra interdicției de utilizare a uscătorului de păr în cada de baie sau sub duș.

Este foarte util să citești *instrucțiunile* de utilizare ale unui aparat electric, chiar înainte de achiziționarea acestuia! Doar așa vei afla recomandările producătorului pentru buna utilizare a aparatului.

Manualul cu instrucțiuni de folosire a unui aparat electric, cum este un frigider, poate avea zeci de pagini – merită citite toate cu atenție!



**42.** Citește manualul de utilizare al frigiderului tău și consemnează ceea ce nu știai despre propriul tău frigider!

Toți producătorii atenționează că intervenția în interiorul oricărui aparat electric trebuie făcută doar de către personal autorizat:

**„Lucrările de service și reparații, inclusiv repararea și schimbarea cablului electric, trebuie efectuate de companii specializate, care sunt calificate să execute reparații și sunt autorizate de către fabricant”**

– extras din manualul de utilizare al unui frigider

Dacă ești interesat să afli cum poți repara aparatură electrocasnică, solicită organizarea în școala ta a unui cerc care să aibă și această tematică.

Când trebuie reparat un aparat electrocasnic la un atelier specializat, fii și tu prezent și manifestă-ți interesul – poți avea șansa să întâlnești acolo specialiști dornici să te ajute!

Instalația electrică din casa ta este protejată de *siguranțe* electrice. Acestea decuplează circuitul pe care îl

protejează, atunci când intensitatea curentului depășește o valoare prestabilită (înscrisă pe siguranță). Sunt evitate astfel deteriorări ale aparatelor electrice, sau chiar incendiile(!) care ar putea fi provocate de încălzirea excesivă datorată curentului prea intens.

Unele dintre siguranțe sunt *fuzibile* (întrerup circuitul electric prin topirea unui fir realizat dintr-un aliaj special, cu temperatură joasă de topire). Aceste siguranțe sunt de *unică folosință* – nu înlocui firul topit – înlocuiește siguranța!

Siguranțele *automate* (fig. 2.66), deși sunt mai scumpe, pot fi utilizate repetat – întreruperea circuitului este realizată electromagnetic și poate fi comandată și prin acționarea butoanelor cu care este prevăzută siguranța.

Ține o lanternă într-un loc la îndemână pentru situațiile în care ești nevoit să înlocuiești pe întuneric o siguranță fuzibilă sau să repornești una automată!



**Fig. 2.66.** Siguranță automată.

## Alte provocări

### 1. Curenți

Care dintre curenții reprezentați în figura 2.67 este:

- a) curent continuu constant (staționar);
- b) curent continuu variabil;
- c) curent alternativ dreptunghiular;
- d) curent alternativ sinusoidal.



**Fig. 2.67.** Dependența de timp a unor curenți.

### 2. Forța electromagnetică

O porțiune rectilinie de lungime  $L$  a unui conductor este parcursă de curent cu intensitatea  $I$  și se află într-un câmp magnetic uniform de inducție  $\vec{B}$ .

a) Care este expresia generală a forței totale cu care interacționează purtătorii de sarcină mobili din conductor cu câmpul magnetic (*forța electromagnetică*)?

b) Inducția câmpului magnetic în apropierea unui magnet din cele folosite la închiderea ușilor de mobilier este 0,1T pe o porțiune de 3 cm în lungul unei fețe mari a magnetului. Cât te aștepti să fie forța electromagnetică asupra unui conductor parcurs de un curent cu intensitate

2A aflat în apropierea unei fețe mari a magnetului? Încotro este orientată forța?

**Răspuns:** a)  $\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$ ,  $\vec{L}$  fiind un vector a cărui mărime este egală cu lungimea conductorului, direcția este cea a conductorului și sensul cel al al curentului prin conductor; b) 6 mN, orientată într-un plan paralel cu fața mare a magnetului și perpendicular pe conductor, conform regulii mâinii drepte.

### 3. Forța electrodinamică

Prin conductorii reprezentați în secțiune în figura 2.68 circulă curenți având același sens. Fiecare curent generează câmp magnetic în zona în care se află celălalt, inducția câmpului magnetic generat fiind proporțională cu intensitatea curentului și invers proporțională cu distanța dintre conductoare. Asupra fiecărui conductor va acționa o forță electromagnetică (vezi provocarea precedentă).



**Fig. 2.68.** Doi conductori paraleli parcurși de curenți.



**a)** Găsește expresia generală a mărimii forței cu care interacționează cei doi conductori, pentru *fiecare metru* al lungimii acestora (forța *electrodinamică*).

**b)** Cum interacționează coductorii paraleli parcurși de curenti având același sens: atractiv sau repulsiv? Dar coductorii parcurși de curenți având sensuri contrare?

**Răspuns:** **a)**  $\frac{F}{L} \sim \frac{I_1 \cdot I_2}{d}$ , coeficientul de proporționalitate depinzând de proprietățile mediului în care este generat câmpul magnetic. **b)** conductorii parcurși de curenți având același sens se atrag, iar cei parcurși de curenți având sensuri contrare se resping.

#### 4. Amperul

Forța electrodinamică (vezi provocarea precedentă) permite definirea amperului ca unitate fundamentală în Sistemul Internațional: *amperul este intensitatea curentului care trecând prin două conductoare paralele, distanțate în vid la un metru unul de celălalt, interacționează electrodinamic cu  $2 \cdot 10^{-7}$  N pentru fiecare metru al lungimii acestora.*

**a)** Cât este coeficientul de proporționalitate din expresia generală a forței electrodinamice, în cazul vidului?

**b)** Cât este forța cu care interacționează două conductoare parcurse fiecare de curent cu intensitatea 10A, aflate în aer (proprietățile magnetice ale aerului sunt practic identice cu cele ale vidului) la 0,5cm unul de celălalt?

**Răspuns:** **a)**  $2 \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$ . **b)**  $4 \cdot 10^{-3} \frac{N}{m}$ .

#### 5. În câmpul magnetic al Pământului

O spiră cu aria  $10^{-2} m^2$  este rotită de 50 de ori pe secundă în câmpul magnetic al Pământului, a cărui inducție este aproximativ  $5 \cdot 10^{-5} T$ .

**a)** Cât este cea mai mare amplitudine a t.e.m. indusă în spiră? Care este orientarea axului spirei pentru care se obține această amplitudine?

**b)** Cât este frecvența t.e.m. indusă în spiră?

**Răspuns:** **a)** 157 mV; axul trebuie orientat pe direcția Est-Vest. **b)** 50 Hz.

#### 6. Mai multe spire!

În condițiile de la provocarea precedentă, se înfășoară un conductor lung, obținând astfel 1000 de spire având *fiecare* aria  $10^{-2} m^2$ . Cât este acum cea mai mare amplitudine a t.em. care poate fi indusă în înfășurare?

**Răspuns:** 0,157 V. Spirele acționează ca generatoare de t.e.m. conectate în serie.

#### 7. Miezul

Unele materiale, numite *feromagnetice* (cum sunt fierul, nichelul și aliajele acestora), sunt alcătuite la scară microscopică din magneți aranjați haotic. Plasate în câmp magnetic, aceste materiale se transformă în magneți prin ordonarea orientării magnetilor microscopici. Astfel, în zona ocupată de aceste materiale efectele magnetice sunt intensificate de mii de ori! Cât te aștepti să fie cea mai mare amplitudine a t.e.m. indusă în bobina de la provocarea precedentă, dacă aceasta este înfășurată pe un miez feromagnetic care amplifică efectele magnetice de o mie de ori?

**Răspuns:** 157 V!

#### 8. Trei generatoare

O grupare serie este alcătuită din trei generatoare de t.e.m. alternativă sinusoidală cu frecvența 50 Hz. Tensiunile efective generate de fiecare dintre cele trei generatoare sunt, în ordine, 100 V, 80 V, 40 V, iar fazele inițiale 0,  $\frac{\pi}{2}$ ,  $-\frac{\pi}{2}$ . Care este expresia t.e.m. la bornele grupării?

**Răspuns:**  $152 \sin(314s^{-1} \cdot t + 0,38) V$ .

#### 9. Nodul

Într-un nod al unei rețele de curent alternativ se întâlnesc curenții reprezentați în figura 2.69. Expresiile a doi dintre curenți sunt:

$$i_1(t) = 3,0 \sin(2000\pi s^{-1} \cdot t) A, \text{ respectiv}$$

$$i_2(t) = 5,0 \sin\left(2000\pi s^{-1} \cdot t + \frac{\pi}{3}\right) A.$$

Cât este valoarea efectivă a celui de-al treilea curent? Dar faza sa inițială?

**Răspuns parțial:** 4,9 A.



**Fig. 2.69.** Curenții care se întâlnesc într-un nod al unei rețele de curent alternativ.

### 10. La priză!

La o priză a rețelei publice de alimentare sunt conectate, rând pe rând, un rezistor cu rezistența 2 kW, o bobină cu rezistența electrică neglijabilă și inductanța 2 H și un condensator ideal cu capacitatea 2 mF.

**a)** Cât te aștepti să fie intensitatea efectivă a curentului electric în fiecare caz?

**b)** Reprezintă diagramele fazoriale pentru fiecare element în parte, utilizând ca fazor de referință tensiunea aplicată.

**c)** Care sunt expresiile intensității instantanee a curentului în fiecare caz în parte?

*Răspuns parțial:* **a)**  $I_R = 110$  mA;  $I_L = 350$  mA;  $I_C = 140$  mA.

### 11. În serie

Elementele de circuit de la provocarea precedentă sunt grupate în serie și conectate la priză.

**a)** Cât te aștepti să fie intensitatea curentului prin gruparea serie?

**b)** Reprezintă diagrama fazorială a circuitului și determină defazajul dintre tensiune și curent.

**c)** Care este expresia intensității instantanee a curentului?

**d)** Care sunt expresiile tensiunilor pe fiecare element al grupării?

**e)** Cât este frecvența la care te aștepti ca acest circuit să fie la rezonanță?

*Răspuns parțial:* **a)** » 100 mA.

### 12. Supratensiune!

Într-un circuit serie RLC, tensiunile pe inductanță și pe condensator pot avea valori foarte ridicate, comparativ cu tensiunea aplicată circuitului.

**a)** Cât te aștepti să fie *factorul de supratensiune* (raportul dintre tensiunea pe una dintre reactanțe și tensiunea aplicată circuitului) în cazul unui circuit serie, la rezonanță?

**b)** Calculează factorul de supratensiune pentru circuitul de la provocarea precedentă, la rezonanță, dacă rezistorul ar lipsi și rezistența totală din circuit ar fi doar 10 W.

*Răspuns parțial:* **b)** 100. Tensiunea pe bobină sau pe condensator ar fi la rezonanță de o sută de ori mai mare decât tensiunea aplicată circuitului!

### 13. \*În paralel

Elementele de circuit de la provocarea 1 sunt grupate în paralel și conectate la priză.

**a)** Cât te aștepti să fie intensitatea curentului prin gruparea paralel?

**b)** Reprezintă diagrama fazorială a circuitului și determină defazajul dintre tensiune și curent.

**c)** Care este expresia intensității instantanee a curentului prin grupare?

**d)** Care sunt expresiile intensităților curentilor prin fiecare element?

**e)** Cât este frecvența la care te aștepti ca acest circuit să fie la rezonanță?

*Răspuns parțial:* **a)** » 240 mA.

### 14. \*Supracurent!

**a)** Care este expresia factorului de supracurent (vezi provocarea 12) pentru un circuit paralel RLC, la rezonanță?

**b)** Calculează factorul de supracurent pentru circuitul de la provocarea precedentă.

*Răspuns parțial:* **b)** 2.

### 15. Capacimetrul

Adaptează un multimetru digital pentru a măsura capacitatea condensatoarelor, realizând astfel un *capacimetru* digital!

Realizează o grupare serie dintre un rezistor și condensatorul a cărui capacitate dorești s-o măsoară și aplică grupării tensiunea efectivă 10 V la frecvența 50 Hz. Conectează un multimetru digital setat ca voltmetru la capetele rezistorului (fig. 2.70).

**Fig. 2.70.** Schema capacimetrului.

**a)** Cât trebuie să fie rezistența rezistorului, astfel încât capacimetrul tău să indice câte un volt pentru fiecare mF?

**b)** Cât te aștepti să fie eroarea de măsurare pentru un condensator de 1 mF? Dar pentru unul de 1 nF?

**c)** Realizează capacimetrul și testează-l!

*Răspuns parțial:* » 318 W.

### 16. L-metru

Adaptează un multimetru digital pentru a măsura inductanța unei bobine, realizând astfel un *L-metru* digital!

Realizează o grupare serie între un rezistor și bobina a cărei inductanță dorești s-o măsoară și aplică grupării tensiunea efectivă 10 V la frecvența 50 Hz.

**a)** Unde trebuie să conectezi un multimetru setat ca voltmetru, astfel ca indicațiile acestuia să fie mai mari pentru o inductanță mai mare a bobinei?

**b)** Cât trebuie să fie rezistența rezistorului, astfel ca *L-metru*ul tău să indice câte un volt pentru fiecare henry, neglijând rezistența bobinei?

**c)** Cât te aștepți să fie eroarea de măsurare pentru o bobină cu inductanța 1 H? Dar pentru una cu inductanța 100 mH?

**d)** Realizează *L-metru*ul și testează-l!

*Răspuns parțial: b)* 3140 W.

### 17. Contorul ca watt-metru!

Contorul electric din locuința ta este astfel contruit încât se rotește cu o viteză proporțională cu puterea consumată în locuința ta.

Citește pe contorul tău câte rotații efectuează pentru fiecare kWh și cronometrează durata a zece rotații. Calculează puterea medie consumată în locuința ta pe durata celor zece rotații.

Prin această procedură utilizezi contorul ca un instrument pentru măsurarea puterii active (*wattmetru*).

Utilizează contorul ca watt-metru și determină puterea consumată de diverși consumatori din locuința ta, conectându-i doar pe aceștia la rețea pe durata determinării.

### 18. În curent continuu

Unei bobine  $i$  se aplică tensiunea continuă și constată 6,0 V. În aceste condiții bobina este parcursă de un curent cu intensitatea 0,20 A.

**a)** Cât este rezistența electrică a bobinei?

**b)** Cât este puterea consumată de aceasta?

*Răspuns parțial: a)* 30 W.

### 19. În curent alternativ

Bobinei de la provocarea precedentă  $i$  se aplică o tensiune efectivă 6,0 V la frecvența 50 Hz. În aceste condiții, intensitatea efectivă a curentului prin bobină este 0,10 A. Calculează:

**a)** Inductanța bobinei.

**b)** Puterea aparentă.

**c)** Factorul de putere.

**d)** Puterea consumată.

**e)** Puterea reactivă.

*Răspuns parțial: a)* 0,17 H.

### 20. Îmbunătățirea factorului de putere

Prin înserierea cu un condensator a bobinei de la provocarea precedentă, factorul de putere al circuitului este mărit la 0,8.

**a)** Care sunt valorile posibile ale capacității condensatorului care realizează această mărire a factorului de putere?

**b)** Cât este puterea consumată de acest circuit?

### 21. \* În serie și în paralel

Un circuit serie RC are factorul de putere 0,6. Cât te aștepți să fie factorul de putere al circuitului paralel alcătuit din aceleași elemente?

### 22. Pistolul de... lipit!

Aliajul de lipit utilizat pentru realizarea conexiunilor electrice poate fi topit cu un *pistol de lipit* (fig. 2.71).

**Fig. 2.71.** Pistol de lipit.

Acesta este în esență un transformator coborâtor de tensiune cu secundarul în scurtcircuit. La bornele secundarului este conectat un fir conductor (uneori din cupru), relativ scurt și gros, îndoit în „ac de păr”, numit *ansă*. În timpul funcționării, prin ansă trece un curent foarte intens, capabil să mărească temperatura ansei până la 300...400°C în câteva secunde!

**a)** Măsoară cu un multimetru setat ca voltmetru pentru curent alternativ tensiunea la capetele ansei în timpul funcționării și estimează intensitatea curentului prin aceasta.

**b)** Desfă ansa și măsoară tensiunea „în gol” la capetele secundarului. Determină factorul de transformare în gol al transformatorului pistolului de lipit.

**c)** Reconectează ansa și exersează utilizarea pistolului de lipit pentru realizarea conexiunilor electrice prin topirea aliajului de lipit!