Rezistorul este caracterizat prin rezistența *R*, măsurată în *Ohm*, *Ω*. Diferite simboluri grafice acceptate sunt date în *fig.1.2.1a*. Pentru rezistor este valabilă legea lui Ohm:

$$u_b = i\,R \tag{1.2.1}$$

Rezistorul nu înmagazinează energie electrică sau magnetică, singura lui funcție fiind transformarea energiei electromagnetice în energie interioară prin dezvoltare de căldură (efectul Joule Lentz). Cantitativ puterea dezvoltată în rezistor este dată de:

$$P_R = i^2\,R = U_b \cdot i = \frac{U_b^2}{R} \tag{1.2.2}$$

Există numeroase aplicații practice care folosesc efectul Joule-Lentz al rezistorului conform căruia prin trecerea curentului electric prin rezistor acesta se încălzește. Este principiul de funcționare al reșoului, boilerului electric, fierului de călcat, etc.

Gruparea rezistențelor. Fie o schemă electrică a unei grupări de rezistențe. De multe ori interesează comportarea globală a grupării de rezistențe față de două borne arbitrar alese (în cazul nostru *A* și *B*) prin care se comunică cu exteriorul. Față de aceste borne se definește o rezistență echivalentă, R_e, prin raportul dintre tensiunea aplicată la bornele *AB*, $U_b = U_A - U_B$, și curentul *i* absorbit de gruparea de rezistențe, *fig.1.2.4*.

$$R_e = \frac{U_b}{i} = \frac{V_A - V_B}{i} \tag{1.2.6}$$

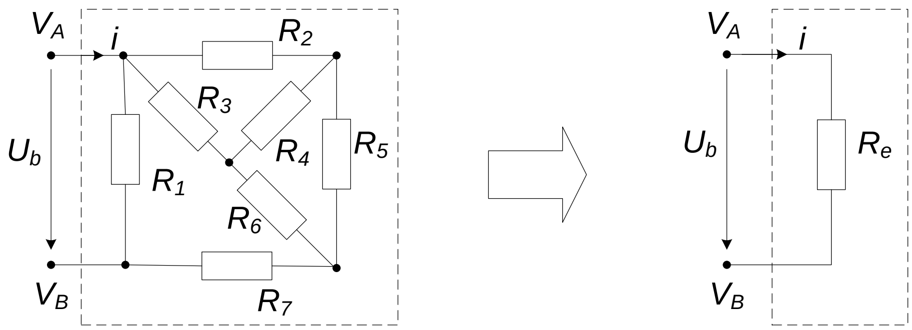

Fig. 1.2.4

Rezistența echivalentă ar corespunde unui rezistor care dacă ar fi conectat între bornele *A* și *B* în locul grupării reale de rezistoare, la aceiași tensiune U_b ar stabili același curent de alimentare *i*.

În general se pune problema exprimării rezistenței echivalente în funcție de rezistențele componente. Calculul este relativ ușor în cazul când rezistențele componente sunt conectate în serie, în paralel sau mixt (combinație serie și paralel).

Conectarea serie. Două sau mai multe rezistențe sunt conectate în serie dacă sunt parcurse de același curent electric oricare ar fi tensiunea la bornele lor, *fig.1.2.5*.

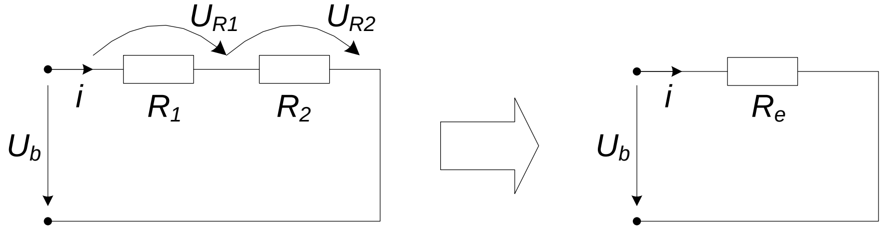

Fig. 1.2.5

Pentru prima schemă se poate scrie: $u_b = u_1 + u_2 = i\,R_1 + i\,R_2 = i\,(R_1 + R_2)$ iar pentru a doua schemă, $u_b = i\,R_e$. Din cele două relații, care trebuie să fie egale oricare ar fi tensiunea U_b și curentul corespunzător *i*, se obține: $R_e = R_1 + R_2$,

(1.2.7)

ceea ce arată că rezistența echivalentă în cazul a două rezistențe înseriate este egală cu suma acestor rezistențe. Generalizând pentru n rezistențe $R_1, R_2, ..., R_n$ conectate în serie, rezistența echivalentă este:

$$R_e = R_1 + R_2 + ... + R_n = \sum_{i=1}^{n} R_i \qquad (1.2.8)$$

De remarcat că în cazul conectării serie a rezistențelor, rezistența echivalentă este mai mare decât cea mai mare dintre rezistențele înseriate.

Conectarea paralel. Două sau mai multe rezistoare sunt conectate în paralel dacă stau sub aceiași tensiune la borne oricare ar fi curenții ce le parcurg, *fig.1.2.6*.

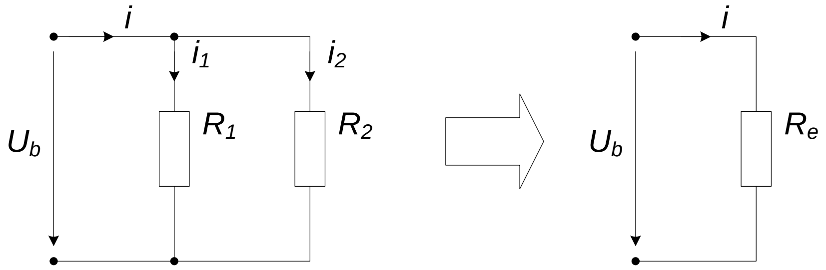

Fig. 1.2.6

Pe baza legii lui Ohm se pot determina curenții ce trec prin cele două rezistențe: $i_1 = \frac{u_b}{R_1}, i_2 = \frac{u_b}{R_2}$ și având în vedere că $i = i_1 + i_2$ se obține: $i = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) u_e$.

Egalând această relație cu cea care exprimă curentul prin $R_e, i = \frac{u_b}{R_e}$, se obține:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (1.2.11)$$

ceea ce arată că inversul rezistenței echivalente a două rezistoare în paralel este egală cu suma inverselor celor două rezistențe.

Relația (1.2.11) se mai poate scrie în forma: $R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ (1.2.12)

Generalizând pentru n rezistențe în paralel, $R_1, R_2, ... R_n$, rezistența echivalentă este:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i} \qquad (1.2.14)$$

De remarcat că în cazul conectării paralel a rezistențelor, rezistența echivalentă este mai mică decât cea mai mică dintre rezistențele puse în paralel.
Condensatorul ideal. Este un element ideal de circuit care are armăturile perfect conductoare între care se găsește un material dielectric.

Relația dintre curent si tensiune pentru un condensator este: $i = C \frac{d u_c}{d t}$ (1.3.3)

Relația (1.3.3) arată că în circuite de curent continuu, unde mărimile de stare ale câmpului electromagnetic nu variază în timp, curentul prin condensator este nul. Deci, condensatorul blochează componenta continuă a curentului.

Exprimând tensiunea în funcție de curentul ce trece prin condensator, avem:

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i \, dt \cdot \qquad (1.3.5)$$

Condensatorul ideal nu înmagazinează energie magnetică, dar înmagazinează energie electrică.

Conectarea condensatoarelor. În numeroasele cazuri, pentru o grupare oarecare de condensatoare, prezintă interes comportarea globală a acesteia față de două borne de acces *A* și *B* în legătură cu exteriorul, *fig.1.3.4*.
Se numește capacitate echivalentă a rețelei de condensatoare față de bornele *A* și *B*, mărimea C_e definită prin:

$$C_e = \frac{Q_e}{U_{AB}} \qquad (1.3.7)$$

care reprezintă capacitatea unui condensator fictiv cu care s-ar înlocui gruparea de condensatoare astfel încât la aceiași tensiune între punctele *A* și *B* să se încarce cu o sarcină electrică Q_e identică cu cea absorbită de gruparea de condensatoare, *fig.1.3.4*.

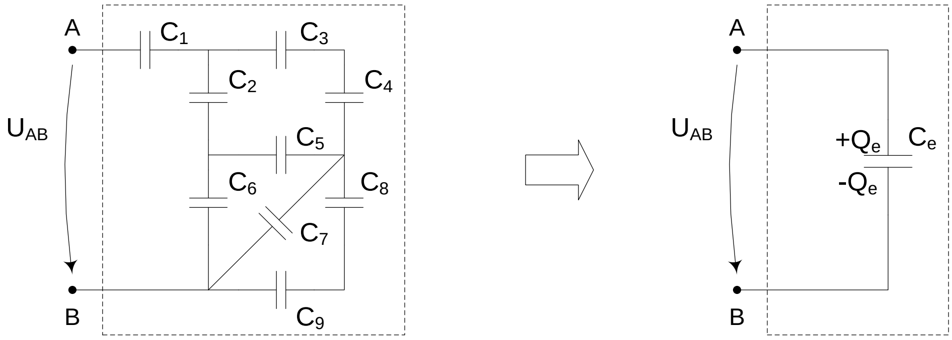

Fig. 1.3.4

Exprimarea capacității echivalente în funcție de capacitățile componente se poate face relativ simplu pentru conectarea serie, paralel și mixtă a condensatoarelor aflate în condiții inițiale nule (adică neîncărcate la *t=0*).
Conectarea în paralel. Două sau mai multe condensatoare sunt conectate în paralel dacă stau sub aceiași tensiune (au aceiași tensiune la borne) oricare ar fi încărcarea lor cu sarcină electrică, *fig.1.3.5*.

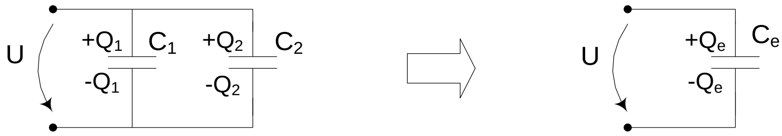

Fig. 1.3.5

Sarcina totală absorbită din exterior a bornei pozitive, *A*, *fig.1.3.5.a*, este: $Q_e = Q_1 + Q_2$

care se poate scrie în forma: $Q_e = C_1 U + C_2 U = U\left(C_1 + C_2\right)$

Pentru condensatorul echivalent, C_e, se poate scrie $Q_e = C_e U$ și egalând cu relația anterioară, rezultă:
$C_e = C_1 + C_2$ (1.3.8)

Relația (1.3.8) arată că, capacitatea echivalentă a două condensatoare în paralel este egală cu suma capacităților celor două condensatoare. Generalizând pentru *n* condensatoare, $C_1, C_2, ..., C_n$, conectate în paralel, capacitatea echivalentă este:

$$C_e = C_1 + C_2 + ... + C_n = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (1.3.9)$$

De remarcat că, în cazul capacităților conectate în paralel, capacitatea echivalentă este mai mare decât cea mai mare dintre capacitățile puse în paralel.
Conectarea în serie. Două sau mai multe condensatoare sunt conectate în serie dacă armăturile lor pozitive se încarcă cu aceiași sarcină electrică oricare ar fi tensiunile la bornele lor, *fig.1.3.6*.

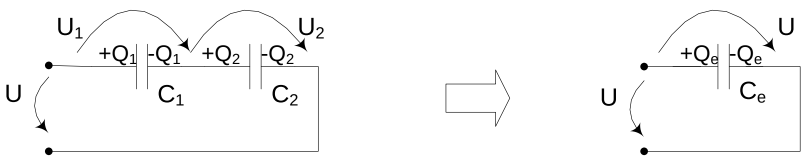

Fig. 1.3.6

Pentru cele două condensatoare înseriate se poate scrie: Q_1=Q_2=Q_e și $U = U_1 + U_2 = \frac{Q_e}{C_1} + \frac{Q_e}{C_2}$, Q_e fiind sarcina absorbită din exterior în procesul încărcării. Pentru capacitatea echivalentă, $U = \frac{Q_e}{C_e}$ și comparând-o cu relația anterioară se obține:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (1.3.11) \text{ sau } C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.3.12)$$

Generalizând pentru *n* condensatoare legate în paralel, C_1, C_2,......C_n, capacitatea echivalentă este:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \quad (1.3.13)$$

De remarcat că, în cazul conectării în serie a condensatoarelor, capacitatea echivalentă este mai mică decât cea mai mică dintre capacitățile înseriate.

Bobina ideală. Dacă bobina nu este cuplată cu alte bobine, atunci, din legea inducției electromagnetice, rezultă $u_e = -L\frac{di}{dt}$ și ca urmare tensiunea pe bobină în funcție de curentul ce trece prin bobină, este $u_L = L\frac{di}{dt}$ (1.4.14) în care *L* reprezintă inductivitatea bobinei

De remarcat că în circuite de curent continuu, când mărimile câmpului nu variază în timp, *i=ct.* și deci $u_L=0$, bobina se comporte ca un scurtcircuit.

Sursa reală de tensiune. O sursă reală de tensiune se compune dintr-un generator ideal de tensiune și o rezistență (numită de obicei rezistența internă a sursei), *fig.2.6.1*.

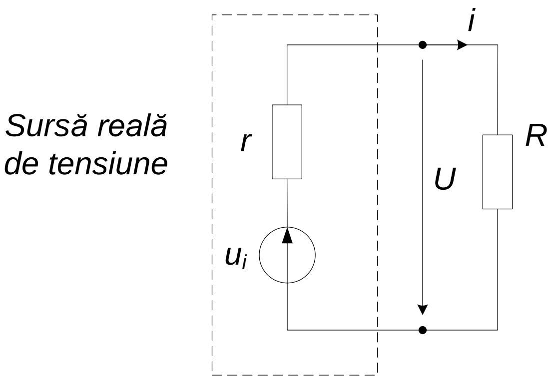

Fig. 2.6.1

Dacă sursa funcționează în gol atunci tensiunea la bornele sursei este egală cu tensiunea generatorului ideal de tensiune, $U=u_i$. Dacă sursa funcționează în sarcină atunci tensiunea la bornele sale devine mai mică decât tensiunea la mers în gol datorită rezistenței interne a sursei. Într-adevăr, curentul prin sursă este: $i = \frac{u_i}{r+R}$ iar tensiunea la bornele sursei devine: $U = iR = \frac{R}{r+R}u_i$. Având în vedere că: $U = u_i - ri$, în *fig.2.6.2.a* s-a reprezentat dependența *U=f(i)*. Se constată că tensiunea sursei scade pe măsură ce curentul debitat de sursă crește. Această scădere este cu atât mai pronunțată cu cât rezistența sursei este mai mare. Deci o sursă de tensiune este cu atât mai bună cu cât rezistența sa internă este mai mică (variația tensiunii la bornele ei este mai mică).

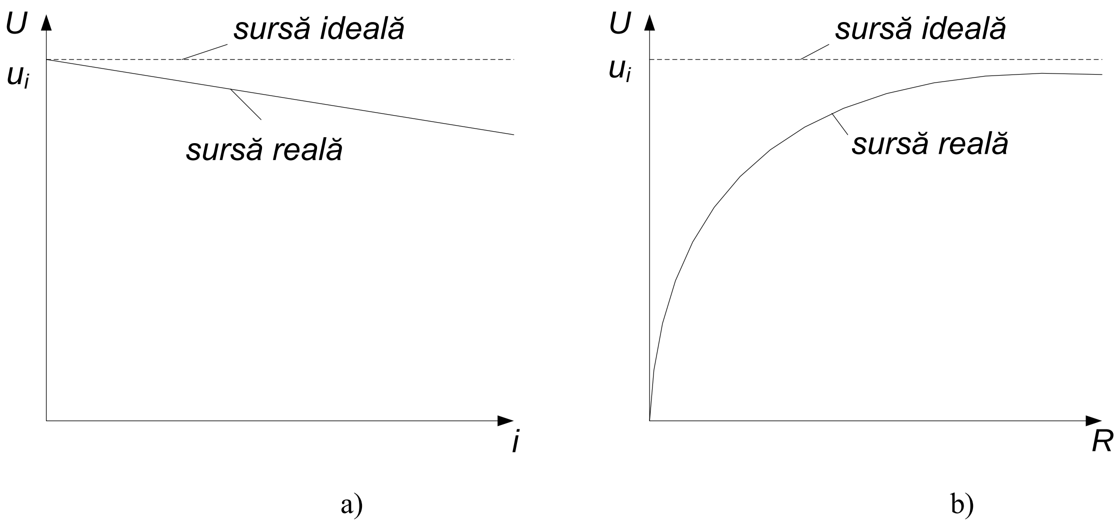

Fig. 2.6.2

Relația (2.6.2) reprezintă variația tensiunii la bornele sursei funcție de sarcina *R* ce se conectează la bornele sale. Reprezentarea acestei dependențe este dată în *fig.2.6.2.b*. Cazul când *R=0* corespunde cazului când sursa este în scurtcircuit, *U=0*. Curentul în acest caz are valoarea maximă: $I_{sc} = \frac{u_i}{r}$, numit curentul de scurtcircuit al sursei.

Sursa reală de curent. O sursă reală de curent se compune dintr-un generator ideal de curent în paralel cu o rezistență (numită de obicei rezistența internă a sursei), *fig.2.6.3*.
Curentul debitat sarcinii de către o sursă reală de curent scade pe măsură ce rezistența de sarcină *R* crește. Această comportare reală se poate reda prin conectarea în paralel a unei surse ideale de curent I_s și a unui rezistențe *r*, numită rezistența internă a sursei, *fig.2.6.3*.

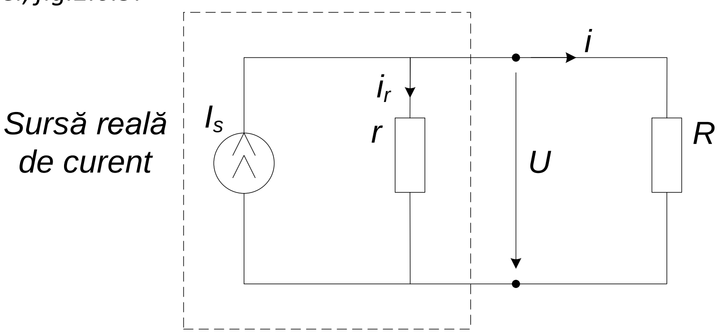

Fig. 2.6.3

Pentru sursa de curent din *fig.2.6.3* avem $I_s = i + i_r$ și $U = iR = i_r r = (I_s - i)r$

Se poate obține imediat: $i = -\frac{U}{r} + I_s$, relație care stabilește dependența curentului debitat de sursă în funcție de tensiunea la bornele sale, *fig.2.6.4.a*.

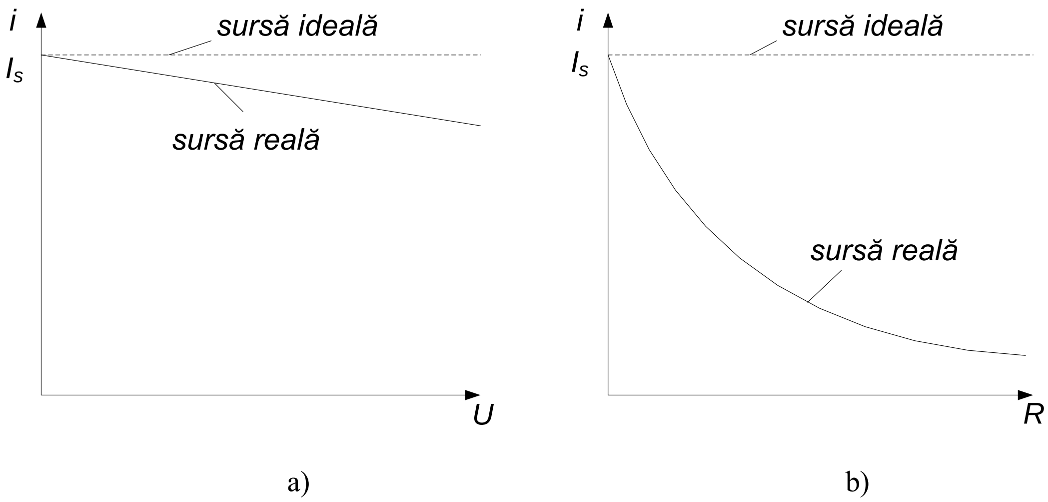

Fig. 2.6.4

Se observă că sursa are o comportare mai apropiată de o sursă ideală, deci este mai bună, cu cât rezistența sa internă este mai mare. La limită, când $r \to \infty$ sursa reală se transformă într-o sursă ideală.

Din $iR = (I_s - i)r$ se obține: $i = \frac{r}{R+r} i_s$, relație care exprimă dependența curentului i în raport cu sarcina *R*, *fig.2.6.4.b*.

Dacă $R \to \infty$, cazul când sursa funcționează în gol, nu avem curent, $i=0$, iar tensiunea la bornele sursei este $U=rI_s$.

Celălalt caz extrem pentru $R=0$, când se spune că sursa funcționează în scurtcircuit, conduce la $U=0$ și deci $I_s=i_{sc}$.

Regimul sinusoidal se caracterizează prin aceea că mărimile câmpului electromagnetic (tensiuni și curenți) variază în timp sub formă sinusoidală cu aceiași pulsație. În general o funcție sinusoidală este de forma:

$$a(t) = a_m \sin(\omega t + \varphi), \qquad (3.1.1)$$

expresie cunoscută ca valoarea instantanee sau momentană a funcției. Ea arată modul de variație în timp a funcției, *fig.3.1.1*, la $\varphi=0$.

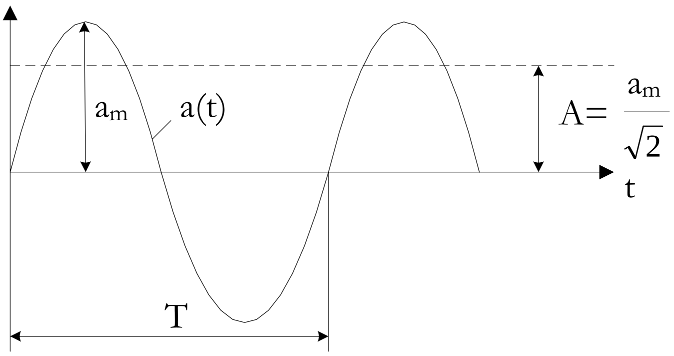

Fig. 3.1.1

Se introduc următoarele mărimi caracteristice funcțiilor sinusoidale:

- a_m - amplitudinea sau valoarea maximă a funcției;
- $(\omega t + \varphi)$ - faza funcției și φ faza inițială;
- ω - pulsația funcției sinusoidale măsurată în radiani pe secundă, (*rad/s*).

Dacă notăm cu *T* perioada funcției sinusoidale (timpul în care se realizează o sinusoidă completă) și cu $f = \frac{1}{T}$ frecvența (numărul de sinusoide într-o secundă), atunci există relația: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$.

Perioada T se măsoară în secunde, (*s*), iar frecvența în hertz, (*Hz*). În Europa sistemul energetic funcționează la frecvență de *50Hz*, adică perioada *T=0.02s* și pulsația $\omega = 100\pi \frac{rad}{s} \cong 314 \frac{rad}{s}$.

În general pentru o funcție periodică se definește valoarea efectivă în forma:

$F = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (f(t))^2 dt}$, unde *f(t)* este funcția periodică iar *T* este perioada funcției.

Valoarea efectivă a unei funcții sinusoidale $a(t) = a_m \sin(\omega t + \varphi)$, notată în electrotehnică cu literă mare, este:

$$A = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T a_m^2 \sin^2(\omega t + \varphi) dt} = \frac{a_m}{\sqrt{2}} \cong 0.707\, a_m$$

Legătura dintre tensiunea si curentul printr-un rezistor de rezistență *R*, este dată de legea lui Ohm. Dacă $i(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t$, tensiunea pe rezistor va fi $u_R(t) = iR = U\sqrt{2}\sin\omega t$, cu $U = IR$. Se observă că tensiunea pe rezistor este în fază cu curentul ce trece prin rezistor, fapt prezentat și fazorial în *fig.3.1.7.a*.

Pentru o bobină de inductivitate *L* parcursă de curentul $i(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t$, tensiunea stabilită la bornele sale este:

$u_L(t) = L\frac{di}{dt} = \omega L I\sqrt{2}\cos\omega t = \omega L I\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, cu $U = \omega L I$.

Cum arată și diagrama fazorială din *fig.3.1.7.b*, tensiunea pe bobină este defazată înaintea curentului cu unghiul $\frac{\pi}{2}$.

Mărimea $X_L = \omega L$ se numește reactanță inductivă și se măsoară în ohm, *Ω*.

Pentru un condensator de capacitate *C*, parcurs de curentul $i(t) = I\sqrt{2}\sin\omega t$, tensiunea la bornele sale va fi:

$u_C(t) = \frac{1}{C}\int i\,dt = -\frac{1}{\omega C} I\sqrt{2}\cos\omega t = \frac{1}{\omega C} I\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = U\sqrt{2}\,\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$, cu $U = \frac{1}{\omega C} I$.

Deci tensiunea la bornele condensatorului este defazată în urma curentului cu unghiul $\frac{\pi}{2}$, *fig.3.1.7.c*. Mărimea $X_C = \frac{1}{\omega C}$ se numește reactanța capacitivă și se măsoară în ohm, *Ω*.

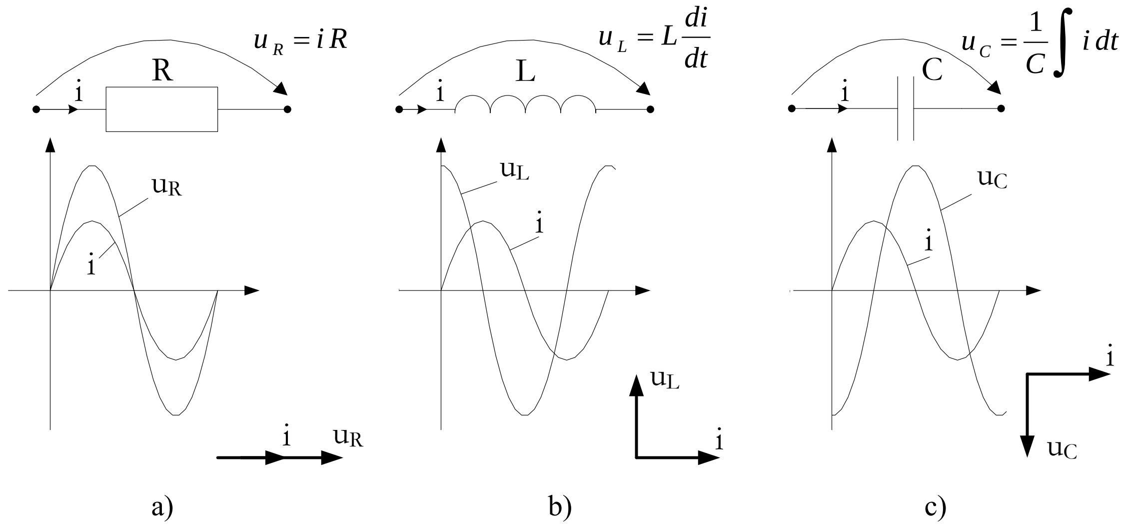

Fig. 3.1.7

Impedanța circuitului RLC serie. Raportul dintre valoarea efectivă a tensiunii la borne, *U*, și valoarea efectivă a curentului prin circuit, *I*, se numește impedanța circuitului, notată cu *Z* și măsurată în Ohm, *Ω*:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \qquad (3.2.7)$$

Defazajul φ dintre tensiune si curent pentru un circuit RLC serie se obține din:

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

În funcție de unghiul de defazaj *φ* dintre tensiune șu curent, circuitele pot fi: circuite inductive, *φ>0*, când curentul este defazat în urma tensiunii de alimentare, iar $X_L > X_C$; Circuite capacitive, *φ<0*, când curentul este defazat înaintea tensiunii de alimentare, iar $X_C > X_L$; Circuite cu caracter rezistiv la care *φ=0*, $X_L = X_C$ și ca urmare *X=0*, iar curentul este în fază cu tensiunea de alimentare (este cazul când reactanța inductivă este egală cu reactanța capacitivă, când se spune că circuitul este în rezonanță).

Puteri în regim sinusoidal. Fie o rețea în regim sinusoidal care comunică cu exteriorul prin bornele *a* și *b*, *fig.3.7.1*. Se cunosc tensiunea aplicată circuitului pe la bornele *a* și *b*, $u(t) = U\sqrt{2}\sin\omega t$ și curentul absorbit de rețea, $i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$. Prin definiție, se numește putere instantanee sau putere momentană:

$$p = u(t)\cdot i(t) = U\sqrt{2}\sin\omega t\; I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi) \qquad (3.7.1)$$

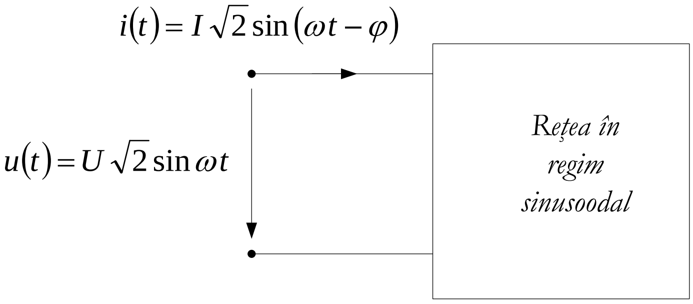

Fig. 3.7.1

Puterea activă, P, reprezintă media pe o perioadă a puterii instantanee.

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p\,dt = U\,I\cos\varphi\ , \qquad (3.7.3)$$

Unitatea de măsură pentru puterea activă este wattul, [*W*]. Aparatele de măsură ce măsoară puterea activă se numesc wattmetre.

Mărimea adimensională $\cos\varphi$ se numește factor de putere.

Energia activă, aferentă puterii active, la fel ca și orice energie se măsoară în joul, [*j*]. Se obișnuiește însă, ca pentru energia electrică să se folosească unitatea tolerată, kilowattoră [*kwh*], $1kwh = 3600\,kj$.

Având în vedere că $Z = \frac{U}{I}$, iar din triunghiul impedanțelor $R = Z\cos\varphi$, se poate scrie:

$$P = I^2 Z\cos\varphi = I^2 R, \qquad (3.7.5)$$

ceea ce arată că puterea activă acoperă în întregime efectul Joule-Lentz din rezistoare prin care energia electromagnetică se transformă în energie internă prin dezvoltare de căldură.

Valoarea maximă a puterii active, pentru valori efective date ale curentului și tensiunii, se numește puterea aparentă, S. Ea, spre deosebire de puterea activă, nu are o semnificație fizică, fiind doar o mărime de calcul. Puterea aparentă se măsoară în volt amper, [*VA*]:

$$S = U\,I = I^2 Z\ . \qquad (3.7.6)$$

Puterea aparentă prezintă importanță deoarece caracterizează limitele de funcționare ale mașinilor și aparatelor electrice. Acestea se dimensionează pentru o anumită valoare efectivă a tensiunii la borne, a cărei depășire ar duce la străpungerea izolației și o anumită valoare efectivă a curentului a cărei depășire ar duce la supraîncălzirea datorită efectului Joule-Lentz.

Puterea reactivă, *Q*, a unui regim sinusoidal, prin definiție, este egală cu produsul dintre valorile efective ale tensiunii și curentului și sinusul unghiului de defazaj dintre ele:

$$Q = U\,I\sin\varphi\ . \qquad (3.7.7)$$

La fel ca și puterea aparentă, puterea reactivă este o mărime de calcul, fiind o măsură a puterii electrice ce oscilează între circuit și sursă. Unitatea de măsură pentru puterea reactivă este volt amper reactiv, [*var*]. Măsurarea puterii reactive se poate face cu wattmetre special construite.

Având în vedere că $Z = \frac{U}{I}$ și $X = Z\sin\varphi$, se poate scrie:

$$Q = I^2 Z\sin\varphi = I^2 X\ . \qquad (3.7.8)$$

Se poate arăta ușor că între puterea aparentă, activă și reactivă se pot scrie următoarele relații:

$$\begin{cases} S^2 = P^2 + Q^2 \\ P = S\cos\varphi \\ Q = S\sin\varphi \end{cases} \qquad (3.7.9)$$

Bibliografie

1. Greconici M., *Fundamente de Inginerie Electrică – Circuite mono și trifazate în regim permanent*, Ed. Orizonturi Universitare, 2006, ISBN 978-606-35-0331-3

2. Sora C., De Sabata I., Bogoevici N., Heler A., Daba D., Vetres I., Radu D., Toader D., Haragus S., Bere I., Titihazan M., Irimia D., Barbulescu E., Blaj C., Greconici M., *Bazele Electrotehnicii*, Ed. Politehnica, 2008, ISBN 978-973-625-587-8