

## Circuitul RLC serie, paralel în curent alternativ

### Caracteristicile generale ale curentului alternativ

**Curentul alternativ** (în engleză *Alternating Current* - AC) este un [curent electric](#) a cărui direcție și valoare se schimbă periodic după legea sinusului sau a cosinusului. Forma de undă uzuală a curentului alternativ este o sinusoidă.

Curentul alternativ apare ca urmare a aplicării unei tensiuni electromotoare alternative (Anexa 1) în cadrul unui circuit electric. Forma alternativă (sinusoidală) a tensiunii/curentului este modul uzual de producere, transport și distribuție a energiei electrice. Curentul alternativ stă la baza funcționării majorității aparatelor electrice datorită unor avantaje remarcabile ale acestuia față de curentul continuu:

- Curentul alternativ poate fi ușor obținut din alte feluri de energie;
- Curentul alternativ poate fi transmis la distanțe mari cu pierderi mici prin linii electrice;
- Curentul alternativ poate fi ușor transformat în tensiune cu ajutorul transforma-toarelor electrice;
- Aparatele electrice de curent alternativ sunt mai simple după construcție, mai fiabile în lucru și au un preț redus;
- Curentul alternativ este mai efektiv din punct de vedere tehnico-economic decât curentul continuu.

### Mărimi caracteristice curentului alternativ:

Valoarea curentului alternativ în momentul dat de timp se numește **valoare instantanee a curentului alternativ**. Forma analitică a valorii instantanee a unui curent alternativ monofazat este:

$$i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

Curentul alternativ fiind un fenomen periodic este caracterizat de mărimile:

♦ **Perioada** ( $T$ ) - reprezintă intervalul de timp după care intensitatea și tensiunea curentului alternativ trec prin aceleași valori, în același sens, adică efectuează o oscilație (sinusoidală) completă. Unitatea de măsură a perioadei în SI este:  $[T] = 1s$ .

♦ **Frecvența** ( $f$ ) - reprezintă numărul de oscilații complete efectuate într-o unitate de timp (secundă). Frecvența este inversul perioadei:

$$f = \frac{1}{T}$$

Unitatea de măsură a frecvenței în SI este  $[f] = \frac{1}{s} = 1Hz$  (Hertz). *Un Hertz este frecvența unui curent alternativ cu perioada de o secundă.*

Frecvența curentului alternativ industrial în țările din Europa este 50Hz, iar în America și Australia este 60 Hz.

♦ **Amplitudinea** - este valoarea maximă pe care o au în timpul unei perioade, tensiunea sau intensitatea curentului alternativ și se notează prin  $E_m, U_m, I_m$ .

♦ **Valoarea instantanee** - este valoarea pe care o au tensiunea sau intensitatea curentului alternativ la un moment oarecare de timp și se notează prin  $(e, u, i)$ .

♦ **Pulsația** ( $\omega$ ) - reprezintă numărul de perioade realizate în  $2\pi$  unități de timp.

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

Unitatea de măsură a pulsației în SI este:  $[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

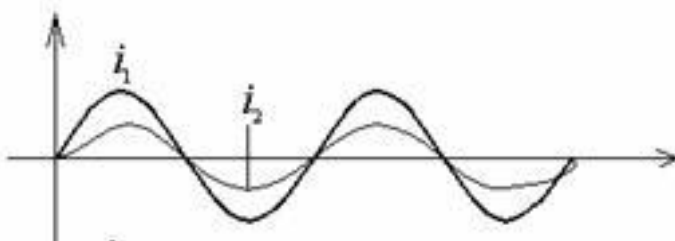
♦ **Faza** unei mărimi alternative - este reprezentată de argumentul sinusului din expresia pentru valoarea instantanee a intensității, respectiv tensiunii.

$$\varphi = \omega t \pm \varphi_1$$

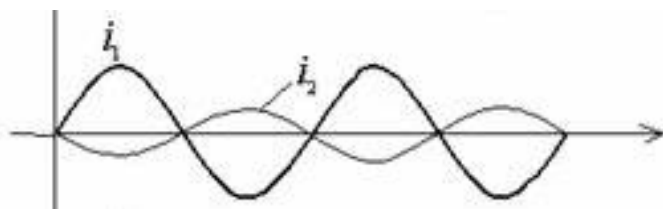
$\pm \varphi_1$  - este **faza inițială**, care prezintă valoarea fazei mărimii alternative la  $t=0$ , vezi figura 1.1.b. În cazul, în care faza inițială este pozitivă ( $+\varphi_1$ ) înseamnă, că mărimea alternativă înaintează față de  $t=0$  și sinusoida acesteia este deplasată la stânga față de originea de coordonate. În cazul, în care faza inițială este negativă ( $-\varphi_1$ ) înseamnă, că mărimea alternativă rămâne în urmă față de  $t=0$  și sinusoida acesteia este deplasată la dreapta față de originea de coordonate.

Diferența fazelor inițiale a două mărimi sinusoidale de aceeași frecvență sau pulsație se numește **diferență de fază** sau **defazaj**:

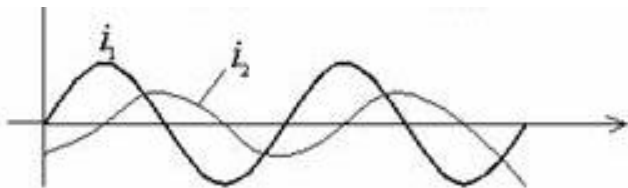
Două mărimi alternative sunt în fază, dacă defazajul dintre acestea este zero. În acest caz mărimile trec simultan prin zero, maxim sau minim.



Două mărimi alternative sunt în opoziție de fază, dacă defazajul dintre acestea este  $\pm \pi$  radiani. În acest caz simultan una are maxima pozitivă iar cealaltă are maxima negativă.



Două mărimi alternative sunt în cuadratură, dacă defazajul dintre acestea este  $\pm\pi/2$  radiani. În acest caz una are maxima pozitivă sau are maxima negativă, iar cealaltă se anulează (vezi figura 1.5).



### Producerea curentului alternativ

O tensiune electromotoare sinusoidală se obține prin fenomenul de inducție electro-magnetică în generatoarele de tensiune alternativă montate la centralele electrice. T.e.m. alternativă în generatoarele electrice se obține prin:

- rotirea uniformă a unei spire într-un câmp magnetic uniform;
- rotirea uniformă a unui magnet în fața unei bobine fixe (câmp magnetic variabil).

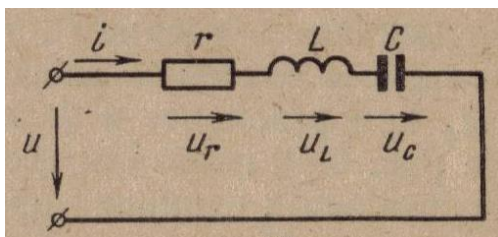
În Anexa 2 este prezentat principiul de functionare a celui mai simplu generator de t.e.m. alternativă considerat ca o singura spira dreptunghiulară care se rotește cu viteza unghiulară constantă  $\omega$  în jurul axei sale într-un câmp magnetic uniform, de inducție magnetică  $B$ , produs de doi poli magnetici nord –  $N$  și sud –  $S$ .

Fie prin circuitul R-L-C serie circulă curentul sinusoidal:

$$I = I_m \sin \omega t$$

În baza teoremei II Kirchhoff pentru valori instantanee pentru circuitul reprezentat în figura 2.16 se poate scrie:

$$u = u_R + u_L + u_C = iR + iX_L + iX_C$$



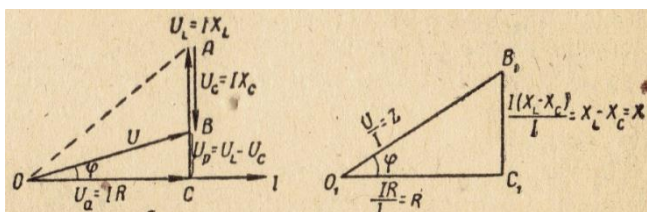
Circuitul R-L-C serie în curent alternativ

Pentru a explica procesele, care au loc în circuit, vom construi diagrama fazorială pentru circuitul R-L-C serie, luând în considerare, că tensiunea pe rezistor –  $U_R$  coincide după fază cu curentul; tensiunea pe reactanța inductivă –  $U_L$  înaintază curentul cu  $+90^\circ$ ; tensiunea pe reactanța capacitivă –  $U_C$  rămâne în urmă față de curent cu  $-90^\circ$ .

În circuitul R-L-C pot avea loc trei cazuri:  $X_L > X_C$ ,  $X_L < X_C$  și  $X_L = X_C$ .

**1. Fie  $X_L > X_C$ .** Depunem vectorul curentului  $I$  pe orizontală. Depunem vectorul  $U_R$  în direcția curentului. Din capătul acestuia construim vectorul  $U_L$  sub  $+90^\circ$ , orientând-ul perpendicular în sus față de curent. Din capătul vectorului  $U_L$  construim vectorul  $U_C$  sub un unghi de  $-90^\circ$ , orientând-ul

perpendicular în jos față de curent. Suma geometrică a acestor vectori prezintă vectorul tensiunii aplicate la circuit.



a)

b)

Diagrama fazorială; b) triunghiul rezistențelor pentru cazul  $X_L > X_C$

Din diagrama fazorială se vede că pentru cazul  $X_L > X_C$ , tensiunea aplicată  $U$  înaintează curentul  $I$

cu un unghi  $\varphi < \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ , deci circuitul RLC serie are un caracter inductiv. Triunghiul OBC (figura 2.17.b) prezintă triunghiul rezistențelor pentru acest caz.

Folosind metoda fazorială, din figura 2.17.a se observă că  $U$  - fazorul tensiunii de la bornele circuitului este dat, conform teoremei lui Pitagora, de relația:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (2.55)$$

Înlocuind tensiunile în funcție de intensitatea curentului din circuit, rezultă:

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

Defazajul dintre tensiunea de la bornele circuitului și intensitatea curentului din circuit este:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R} \Rightarrow \varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$$

Dacă fiecare latură a triunghiului tensiunilor se împarte la valoarea efectivă a curentului  $I$ , atunci vom primi un triunghi asemenea numit **triunghiul rezistențelor** (vezi figura 2.17.b). În triunghiul

rezistențelor cateta  $R = \frac{U_R}{I}$  - se numește **rezistență activă**; cateta  $X_L = \frac{U_L}{I}$  se numește

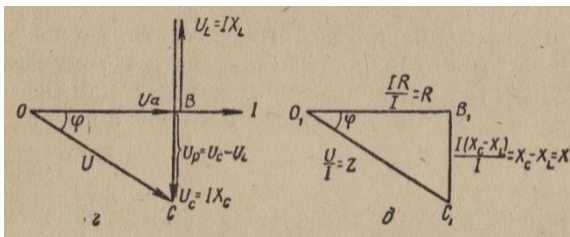
**reactanță inductivă**; cateta  $X_C = \frac{U_C}{I}$  se numește **reactanță capacitativă**; ipotenuza  $Z = \frac{U}{I}$  se numește **impedantă**. Din triunghiul rezistențelor rezultă:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}; R = Z \cdot \cos\varphi; X = X_L - X_C = Z \cdot \sin\varphi$$

Unghiul de defazaj dintre tensiunea aplicată și curent, conform triunghiului rezistențelor, poate fi determinat cu una din relațiile:

$$\sin\varphi = \frac{X_L - X_C}{Z}; \cos\varphi = \frac{R}{Z}; \tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

**2. Presupunem  $X_L < X_C$ .** Depunem vectorul curentului  $I$  pe orizontală. Depunem vectorul  $U_R$  în direcția curentului. Din capătul acestuia construim vectorul  $U_L$  sub  $+90^\circ$ , orientând-ul perpendicular în sus față de curent. Din capătul vectorului  $U_L$  construim vectorul  $U_C$  sub un unghi de  $-90^\circ$ , orientând-ul perpendicular în jos față de curent (vezi figura 2.18.a). Suma geometrică a acestor vectori prezintă vectorul tensiunii aplicate la circuit.



a)

b)

Figura 2.18 – a) Diagrama fazorială; b) triunghiul rezistențelor pentru cazul  $X_L < X_C$

Din diagrama fazorială se vede că pentru cazul  $X_L < X_C$ , tensiunea aplicată  $U$  rămâne în urmă față de curentul  $I$  cu un unghi  $\varphi < \frac{\pi}{2} = -90^\circ$ , deci circuitul RLC serie are un caracter capacitativ. Triunghiul OBC (figura 2.18.b) prezintă triunghiul rezistențelor pentru acest caz.

Dacă fiecare latură a triunghiului tensiunilor se împarte la valoarea efectivă a curentului  $I$ , atunci vom primi un triunghi asemenea numit **triunghiul rezistențelor** (vezi figura 2.18.b).

**3. Presupunem  $X_L = X_C$ .** Din diagrama fazorială pentru acest caz se vede, că tensiunea aplicată  $U$  coincide după fază cu curentul  $I$  (vezi figura 2.19) și unghiul de defazaj este  $\varphi = 0^\circ$ , deci circuitul R-L-C serie are caracter pur activ – fenomen numit **rezonanța tensiunilor** - fenomen care va fi analizat aparte.

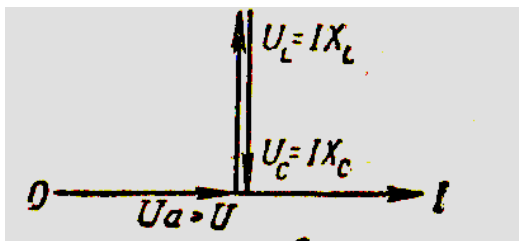


Figura 2.19 – Diagrama fazorială pentru cazul  $X_L = X_C$

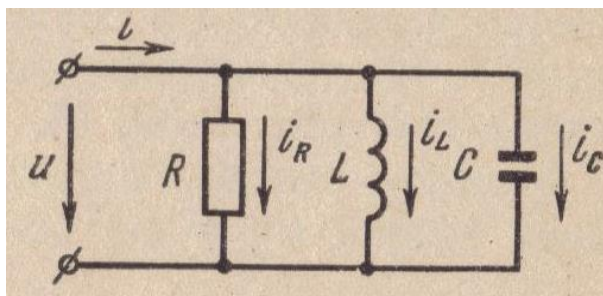
Rezonanța curenților apare în circuitul de curent alternativ RLC-derivație (numit și contur oscilant derivație), în cazul în care susceptanța inductivă a circuitului este egală cu susceptanța capacitativă a acestuia, sau  $B_L = B_C$  – este condiția de rezonanță. Schema circuitului RLC-derivație este reprezentată în figura de mai jos.

Funcționarea circuitului RLC- derivație alimentat cu tensiune alternativă în regim de rezonanță se numește **rezonanța curenților**.

La rezonanța curenților avem:

$B_C = B_L$ ; sau  $2\pi fC = \frac{1}{2\pi \cdot fL}$ ; de unde rezultă cunoscuta relație Thomson pentru frecvența de rezonanță:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Schema circuitului RLC-derivație

Din relația Thomson rezultă, că rezonanța curenților poate fi atinsă prin următoarele procedee:

- a) prin varierea inductanței bobinei;
- b) prin varierea capacității condensatorului;
- c) prin varierea frecvenței tensiunii de alimentare.