PUTERI ÎN REŢELELE ELECTRICE

Puteri în circuite monofazate de c.a.

Puterea = variația energiei raportată la un interval de timp dat
- unitatea de măsură: 1W = 1J/s

Puetrea instantanee *p(t)* – [W] – absorbită de o sarcină electrică este dată de produsul dintre tensiunea instantanee la bornele sarcinii – [V] – şi curentul instantaneu ce străbate sarcin – [A].

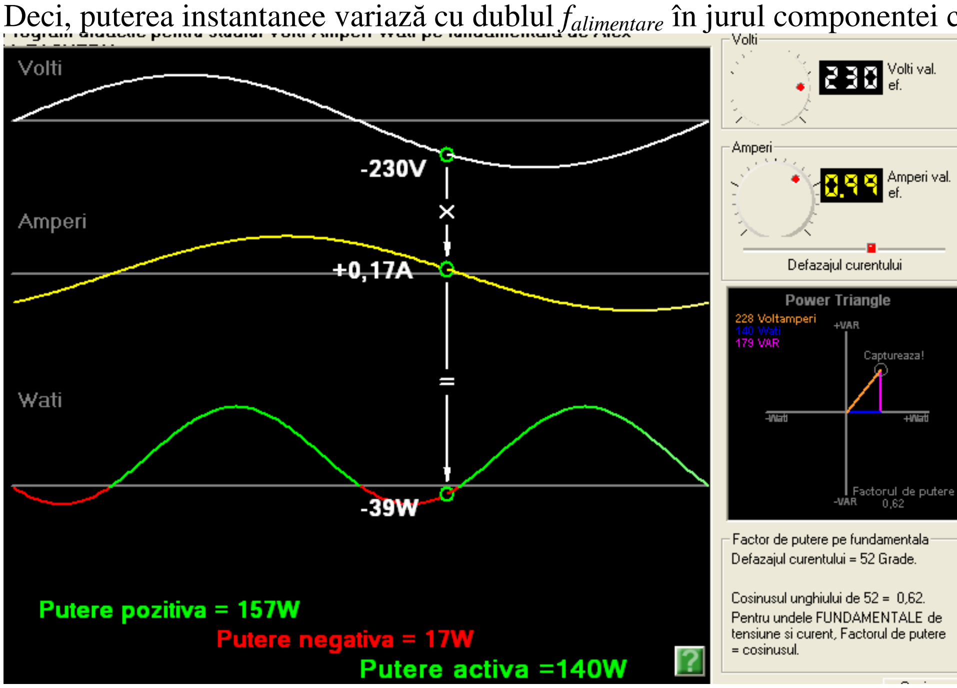
$v(t) = V_{\max} \cos(\omega t)\ [V]$

$i(t) = I_{\max} \cos(\omega t - \beta)\ [A]$

$p(t) = v(t)i(t) = V_{\max} I_{\max} \cos(\omega t)\cos(\omega t - \beta) = VI\cos(2\omega t - \beta) + VI\cos(\beta)\ [W]$

unde: $\cos(x)\cos(y) = \frac{1}{2}\left[\cos(x+y) + \cos(x-y)\right]$

Deci, puterea instantanee variază cu dublul $f_{alimentare}$ în jurul componentei constante *VIcos(β).*



Pentru $v > 0; i > 0\ si\ v < 0; i < 0 \Rightarrow p > 0$ puterea circulă în direcția căderii de tensiune pe sarcină.

Pentru $v \cdot i < 0 \Rightarrow p < 0$ curentul circulă în sens invers căderii de tensiune pe sarcină, interval în care energia înmagazinată anterior este cedată parţial sistemului de alimentare.

Deci, pentru $\varphi = \delta - \beta \neq 0$ (tensiunea este defazată față de curent cu φ) în regim sinusoidal, transmiterea energiei nu se face într-o rețea într-un singur sens.

Sarcini ideale

Sarcină pur rezistivă

Curentul prin sarcină este în fază cu tensiunea la bornele acesteia.

$$v(t) = V_{\max} \cos(\omega t + \delta)$$

$$\underline{V} = V\angle\delta$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{V}}{R}$$

$$i(t) = I_{\max} \cos(\omega t + \delta)$$

$$I_{R\max} = \frac{V_{\max}}{R}$$

Puterea instantanee absorbită de rezistor este dată de:

$$p_R(t) = v(t)\cdot i_R(t) = V_{\max} I_{R\max} \cos^2(\omega t + \delta) = VI_R(1 + \cos[2(\omega t + \delta)] \text{ [W]}$$

Puterea instantanee absorbită de rezistor este dată de o valoare medie :

$$P_R = VI_R = \frac{V^2}{R} = IR^2 \text{ [W]}$$

şi un termen de frecvenţă dublă $VI_R \cos[2(\omega t + \delta)]$.

Sarcină pur inductivă

Curentul este defazat în urma tensiunii cu 90^0:

$$\underline{I}_L = \frac{\underline{V}}{jX_L}$$

$$X_L = \omega L \, [\Omega]$$

$$i_L(t) = I_{L\max} \cos(\omega t + \delta - 90^0)$$

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

Puterea instantanee absorbită de bobină este dată de:

$$p_L(t) = v(t)\cdot i_L(t) = \frac{V_{\max} I_{L\max}}{2}[\cos\left(\omega t + \delta + \omega t + \delta - 90^0\right) + \cos\left(\omega t + \delta - \omega t - \delta + 90^0\right)] = \text{ [W]}$$

$$= VI_L \sin[2(\omega t + \delta)]$$

Aceasta reprezintă o sinusoidă cu frecvenţa dublă faţă de frecvenţa tensiunii de alimentare, având valoarea medie = 0.

Sarcină pur capacitivă

Curentul este defazat în înaintea tensiunii cu 90^0:

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{V}}{-jX_C}$$

$X_C = 1/\omega C$ [Ω]

$i_C(t) = I_{C\max}\cos(\omega t + \delta + 90^0)$

$I_{C\max} = \omega C V_{\max}$

Puterea instantanee absorbită de condensator este dată de:

$$p_C(t) = v(t)\cdot i_C(t) = \frac{V_{\max} I_{C\max}}{2}[\cos(\omega t + \delta + \omega t + \delta + 90^0) + \cos(\omega t + \delta - \omega t - \delta - 90^0)] = \quad \text{[W]}$$
$$= -VI_C\sin[2(\omega t + \delta)]$$

Aceasta reprezintă o sinusoidă cu frecvenţa dublă faţă de frecvenţa tensiunii de alimentare, având valoarea medie = 0, opusă ca semn puterii consumate de o sarcină inductivă.

Sarcină mixtă RLC

Curentul printr-o sarcină mixtă căreia i se aplică tensiunea *v(t)* este dat de:

$i(t0 = I_{\max}\cos(\omega t + \beta)$

Puterea instantanee absorbită de sarcină este dată de:

$$p(t) = v(t)i(t) = V_{\max}\cos(\omega t + \delta)\cos(\omega t + \beta) = \frac{1}{2}V_{\max}I_{\max}\left[\cos(2\omega t + \delta + \beta) + \cos(\delta - \beta)\right] =$$
$$= VI\left[\cos(2(\omega t + \delta) - (\delta - \beta)) + \cos(\delta - \beta)\right] = \quad \text{[W]}$$
$$= VI\left[\cos(2(\omega t + \delta))\cos(\delta - \beta) + \sin(2(\omega t + \delta))\sin(\delta - \beta) + \cos(\delta - \beta)\right] =$$
$$= VI\cos(\delta - \beta)\left[\cos(2(\omega t + \delta)) + 1\right] + VI\sin(\delta - \beta)\sin(2(\omega t + \delta))$$

Se notează :

$I\cos(\delta - \beta) = I_R$ componenta curentului de sarcină în fază cu tensiunea ;

$I\sin(\delta - \beta) = I_X$ componenta curentului de sarcină defazat cu 90^0 faţă de tensiune ;

$\delta - \beta = \varphi$ defazajul tensiunii faţă de curent

$\Rightarrow p(t) = p_R(t) + p_X(t)$ [W]

unde $\begin{array}{l} p_R(t) = VI_R\left[1 + \cos(2(\omega t + \delta))\right] \\ p_X(t) = VI_X\sin(2(\omega t + \delta)) \end{array}$ [W] sunt componentele puterii instantanee absorbite de sarcină :

$p_R(t)$ asociată puterii absorbite de componenta rezistivă a sarcinii ;

$p_X(t)$ asociată puterii absorbite de componenta reactivă a sarcinii .

Puterea activă, reactivă şi factorul de putere

Puterea activă se defineşte ca valoarea medie pe o perioadă a puterii instantanee:

$$P = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} p(t)dt$$

Reprezintă şi valoarea medie pe o perioada a componentei $p_R(t)$.

Se poate scrie astfel (cazul particular al regimului sinusoidal):

$P = VI_R = VI\cos(\delta - \beta)$ [W]

Pentru un dipol caracterizat de parametrul R / G se poate scrie:

$P = RI^2 = GV^2$

Un receptor primeşte putere activă (P>0)

Un generator generează putere activă (P<0).

Elementele ideale pasive de circuit sunt caracterizate de:

$P_R = RI^2 = GV^2; P_L = 0; P_C = 0$

Puterea activă corespunzătoare pierderilor Joule-Lenz $p_j = Ri^2$ într-un conductor de rezistență R parcurs de i^2 este proporțională cu I^2.

$$P_j = \frac{1}{T}\int_0^T p_j(t)dt = RI^2$$

$$W_a = \int_0^t Pdt$$ [Ws], [kWh] - energia activă

Factorul de putere

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\delta - \beta)$$

Puterea reactivă

Puterea instantanee absorbită de componenta reactivă a sarcinii, $p_X(t)$ este o sinusoida de frecvență dublă, valoare medie nulă şi amplitudine Q dată de:

$Q = VI\sin(\delta - \beta)$ [Var]

$$W_r = \int_0^t Qdt$$ [VArs], [kVArh] - energia reactivă

Elementele ideale pasive de circuit sunt caracterizate de:

$$Q_R = 0; Q_L = \omega LI^2 = \frac{V^2}{\omega L} > 0 \quad \textit{bobina = receptor Q}$$

$$Q_C = -\frac{1}{\omega C}I^2 = -\omega CV^2 < 0 \quad \textit{condensator = generator Q}$$

Puterea aparentă complexă

Pentru circuitele care funcționează în regim stabilizat sinusoidal, puetrea activă şi reactivă poate fi determinată cu ajutorul puterii complexe:

$$\underline{S} = \underline{V}\underline{I}^* = VI\angle\delta - \beta = VI\cos(\delta - \beta) + jVI\sin(\delta - \beta) = P + jQ$$

Această putere caracterizează complet din punct de vedere energetic regimul permanent al circuitului.

Puterea aparentă absorbită de coponentele ideale de circuit este:

$$\underline{S}_R = \underline{V}\underline{I}_R^* = V\frac{V}{R}\angle\delta - \delta = \frac{V^2}{R}; \quad P_R = \frac{V^2}{R} \quad Q_R = 0$$

$$\underline{S}_L = \underline{V}\underline{I}_L^* = V\frac{V}{\omega L}\angle\delta - \delta + 90^0 = j\frac{V^2}{\omega L}; \quad P_L = 0 \quad Q_L = \frac{V^2}{\omega L}$$

$$\underline{S}_C = \underline{V}\underline{I}_C^* = V\frac{V}{\frac{1}{\omega C}}\angle\delta - \delta - 90^0 = -jV^2\omega C; \quad P_C = 0 \quad Q_C = -\omega CV^2$$

Procedura de determinare a tipului unui element de circuit d.p.v. al puterii abosrbite/generate

Regula de la receptor:	P, Q > 0 ...puteri absorbite P,Q < 0 ...puteri generate
Regula de la generator:	P, Q > 0 ...puteri generate P,Q < 0 ...puteri absorbite

Semnificația fizică a P şi Q

P ← energia totală absorbită de o sarcină într-un interval de timp T (o perioadă a tensiunii sinusoidale) este dată de produsul *PT [Ws]*. Într-un interval de n cicluri, energia absorbită este $P(nT)$ [Ws], toată fiind absorbită de componenta rezistivă a sarcinii.

Un Wh-metru măsoară energia absorbită de o sarcină într-un interval de timp t_1-t_2 , constând dintr-un număr întreg de cicluri, prin integrarea P pe intervalul t_1-t_2.

Q – se referă la valoarea maximă a puterii instantanee absorbită de componenta reactivă a sarcinii

- puterea reactivă instantanee, dată de $p_X(t)$ este alternantă (valori ><0) şi exprimă circulația de putere reversibilă către şi dinspre componenta reactivă a sarcinii.

Puteri în rețelele electrice trifazate echilibrate

Puterile instantanee absorbite pe fazele unui sistem simetric sunt date de:

$$p_A(t) = u_A(t)i_A(t) = 2UI\cos(\omega t+\delta)\cos(\omega t+\beta) = UI\cos(\delta-\beta) + UI\cos(2\omega t+\delta+\beta)$$

$$p_B(t) = u_B(t)i_B(t) = 2UI\cos(\omega t+\delta-120^0)\cos(\omega t+\beta-120^0) =$$

$$= UI\cos(\delta-\beta) + UI\cos(2\omega t+\delta+\beta+120^0)$$

$$p_C(t) = u_C(t)i_C(t) = 2UI\cos(\omega t+\delta+120^0)\cos(\omega t+\beta+120^0) =$$

$$= UI\cos(\delta-\beta) + UI\cos(2\omega t+\delta+\beta-120^0)$$

$$p_{3f}(t) = p_A(t) + p_B(t) + p_C(t) = 3UI\cos(\delta-\beta) = P_{tot}$$

$$\underline{S}_A = \underline{U}_A \underline{I}_A^* = UI\angle\delta-\beta \quad \underline{S}_B = \underline{U}_B \underline{I}_B^* = UI\angle\delta-\beta \quad \underline{S}_C = \underline{U}_C \underline{I}_C^* = UI\angle\delta-\beta$$

$$\underline{S}_{3f} = \sum_i \underline{S}_i = 3\underline{S}_A = 3UI\angle\delta-\beta = 3UI\cos(\delta-\beta) + j3UI\sin(\delta-\beta) =$$

$$= \sqrt{3}U_l I\cos(\delta-\beta) + j\sqrt{3}U_l I\sin(\delta-\beta)$$