

Izmenični signali – moč (17)

Zanima nas potek trenutne moči v linearnem dvopolnem (dve zunanji sponki) vezju, kjer je napetost na zunanjih sponkah enaka $u = U_m \sin(\omega t)$, tok pa je zamaknjen za nek poljubni kot $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$. Trenutna moč v vezju je enaka zmnožku napetosti in toka

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \sin(\omega t) \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi). \quad (17.1)$$

Z uporabo zveze $\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) = \frac{1}{2}(\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta))$ zapišemo moč vezja kot

$$p(t) = \frac{U_m I_m}{2} [\cos(\varphi) - \cos(2\omega t - \varphi)] \quad (17.2)$$

Vidimo, da lahko trenutno moč vezja opišemo kot vsoto dveh komponent moči, ene enosmerne in ene izmenične, ki niha z dvojno frekvenco. S povprečenjem moči preko periode dobimo povprečno moč, ki bo očitno kar enaka tej enosmerni komponenti moči, ki jo imenujemo **delovna moč**.

Delovna moč. Delovna moč je torej

$$P = \frac{U_m I_m}{2} \cos(\varphi) = U_{ef} I_{ef} \cos(\varphi). \quad (17.3)$$

To je del moči, ki se pretevarja v neko drugo obliko, na upor v toplotno (Joulske izgube), v motorjih pa v mehansko. Faktor $\cos(\varphi)$ pogosto imenujemo tudi **faktor delavnosti** ali **faktor moči**.

Navidezna moč. Trenutna moč niha z dvojno frekvenco okoli vrednosti povprečne moči. Amplituda nihanja moči (brez enosmerne komponente) je

$$S = \frac{I_m U_m}{2} \quad (17.4)$$

in jo imenujemo **navidezna moč**. Navidezna moč je običajno tista, ki nam pove, koliko smemo obremenjevati napravo.

Jalova moč. Tudi nihanje moči okoli enosmerne komponente (povprečne moči) lahko razstavimo v skladu z zvezo $\cos(\alpha - \beta) = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) + \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$. Dobimo

$\cos(2\omega t - \varphi) = \cos(2\omega t) \cdot \cos(\varphi) + \sin(2\omega t) \cdot \sin(\varphi)$. Ob vstavitvi tega člena v enačbo (17.2) dobimo

$$p(t) = \frac{U_m I_m}{2} [\cos(\varphi)(1 - \cos(2\omega t)) - \sin(\varphi)\sin(2\omega t)] \quad (17.5)$$

Prvi člen v oglatem oklepaju predstavlja nihanje moči okoli povprečne (delovne) moči, drugi člen pa nihanje moči okoli ničle. Amplituda drugega člena je enaka

$$Q = \frac{I_m U_m}{2} \sin(\varphi). \quad (17.6)$$

in jo imenujemo **jalova moč**.

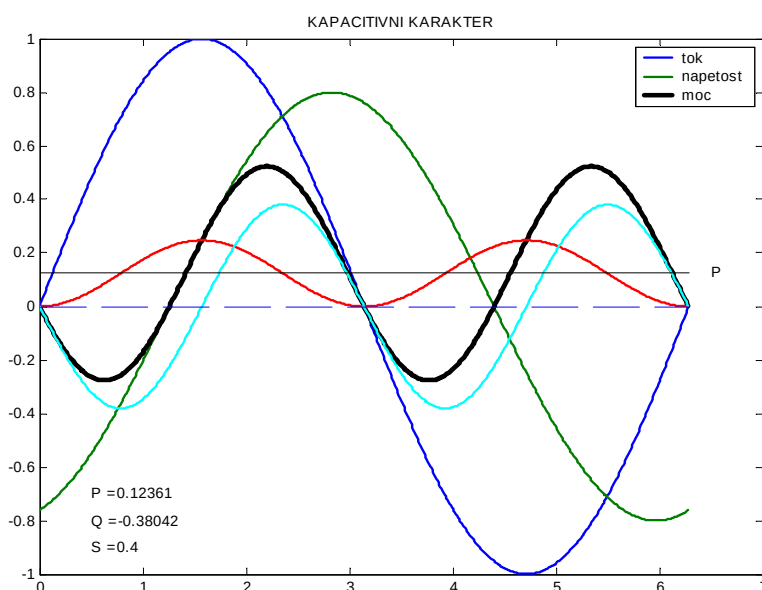
Očitno je, da velja

$$S^2 = P^2 + Q^2, \quad (17.7)$$

kar običajno prikažemo s pravokotnim trikotnikom s stranicami P , Q in S .

SLIKA: Trikotnik moči sestavljajo delovna, jalova in navidezna moč.

Zaradi pomembnosti moči v elektrotehniki in lažje prepoznavnosti, za delovno moč uporabljamo enoto W (Watt), za jalovo pa VAR (Volt – Ampere reaktivno), za navidezno pa VA (Volt - Ampere).



SLIKA: Primer časovnega poteka komponent moči (s polno črto) na vezju kapacitivnega karakterja (tok prehiteva napetost). Prikazana je trenutna moč (krepko), pa tudi razdelitev te moči na dva dela: nihanje moči z amplitudo izmeničnega signala enaki P okoli povprečja, ki je enako P in jalova moč, ki je v povprečju enaka nič ima pa amplitudo Q . Trenutna moč niha okoli povprečne vrednosti (delovne moči) z amplitudo, ki je enaka navidezni moči S .

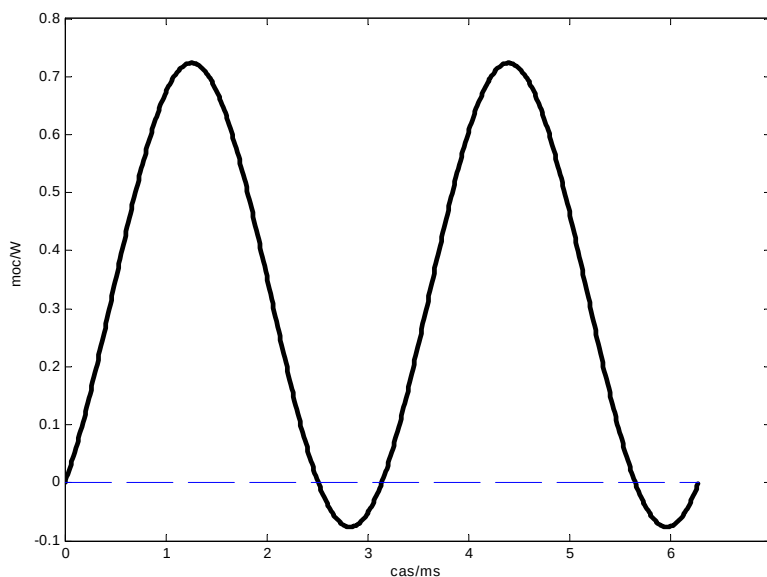
Primer: Motor priključimo na izmeničen vir napetosti $u = 400\sin(\omega t)$ V in med delovanjem izmerimo efektivno vrednost toka 3,68 A, ki za napetostnim signalom zaostaja za fazni kot 25° . Določite delovno, jalovo in navidezno moč motorja.

Izračun: Maksimalna vrednost toka bo $I_m = I_{ef}\sqrt{2} = 5,2$ A. Delovna moč bo $P = \frac{I_m U_m}{2} \cos(\varphi) \cong 961$ W, $Q = \frac{I_m U_m}{2} \sin(\varphi) \approx 448$ VAr in $S = \frac{I_m U_m}{2} = 1060$ VA.

Primer: Navidezna moč električnega aparata je 550 VA, faktor delavnosti pa je 0,8. Določimo delavno in jalovo moč aparata.

Izračun: Iz trikotnika moči lahko razberemo, da je delovna moč $P = S \cos(\varphi) = 440$ W. Ker poznamo P in S lahko Q določimo iz $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 330$ VAr.

Primer: Iz grafa trenutne moči določimo delovno, jalovo in navidezno moč ter frekvenco in fazni kot med napetostjo in tokom. Vrišimo delovno in navidezno moč v sliko. Določimo še amplitudo napetosti, če je amplituda toka 2 A.



Izračun: Amplituda moči je navidezna moč, ki niha okoli enosmerne komponente, ki je enaka delovni moči. Iz vršnih vrednosti lahko razberemo navidezno moč. Spodnja temenska vrednost

moči je $-0,08 \text{ W}$, zgornja pa $0,72 \text{ W}$, $S = \frac{0,72 - (-0,08)}{2} = 0,4 \text{ VA}$. Če to vrednost odštejemo od zgornje vršne vrednosti ali pa prištejemo spodnji, dobimo delovno moč $P = 0,72 \text{ W} - 0,4 \text{ W} = 0,32 \text{ W}$, jalova moč bo torej $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 0,24 \text{ VAr}$.

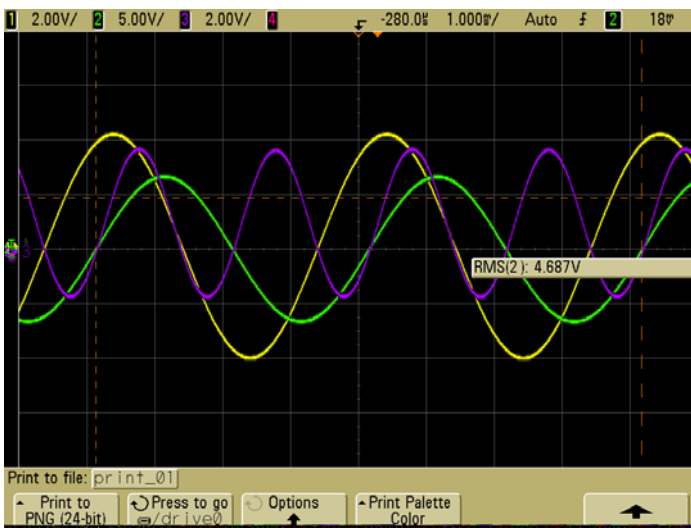
Razberemo še periodo signala, ki je $3,2 \text{ ms}$, od koder je frekvenca signala moči $f_{moc} = \frac{1}{3,2 \text{ ms}} = 312,5 \text{ s}^{-1}$. Moč niha z dvojno frekvenco toka (napetosti), tok bo torej nihal s kotno

frekvenco $156,3 \text{ Hz}$. Ugotoviti moramo še fazni zamik med napetostjo in tokom. Že iz prejšnjega primer smo ugotovili, da je $S = P \cos(\varphi)$ od koder je $\varphi = \text{Arc cos}\left(\frac{S}{P}\right) = 18^\circ$. Določimo še

amplitudo napetosti: iz $S = \frac{I_m U_m}{2}$ sledi $U_m = \frac{2S}{I_m} = 0,4 \text{ V}$.

Vprašanja za obnovo:

- 1) Trenutna moč na poljubnem elementu vezja.
- 2) Delovna moč in faktor moči, jalova moč, navidezna moč. Enote. Trikotnik moči.
- 3) Prikaz moči kot časovni signal in določitev delovne, navidezne moči in frekvence iz signala. (Pomoč: Laboratorijske vaje)



Slika: Primer izrisa trenutne moči iz osciloskopa pri laboratorijski vaji za induktivni karakter vezja. Razloči signal napetosti, toka, moči, določi periodo, frekvenco, delovno moč, navidezno moč. Kako določimo jalovo moč? Kaj izmerimo z ampermetrom in voltmerom?

Primeri izpitnih in kolokvijskih nalog

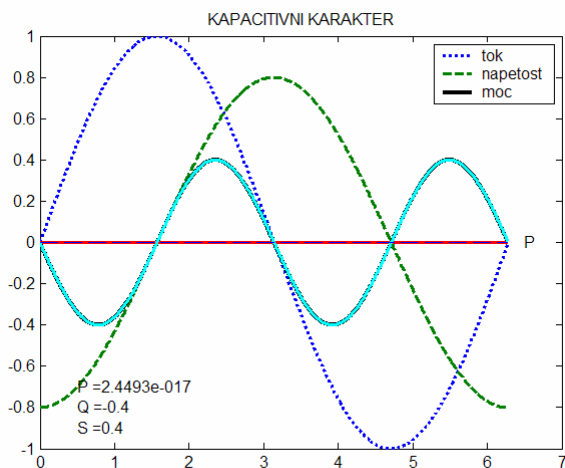
izpit, 23. januar 2007

Izpit, 10. 06. 2004

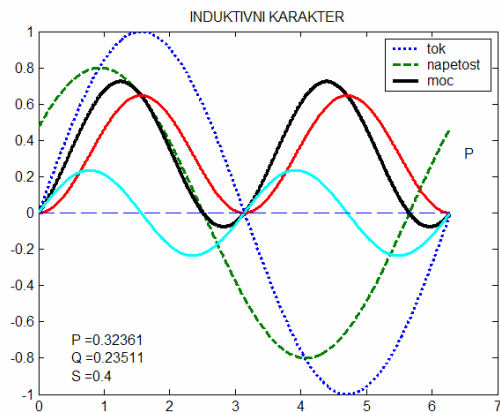
DODATEK: Matlab program za prikaz moči na bremenu kapacitivnega, ohmskega ali induktivnega značaja

```
% Moc na bremenu, fazo spreminjamo od -pi/2 do +pi/2
Im=1; Um=0.8;
x=0:0.01:2*pi;
axis auto
for ii=-1:0.2:1
    fi=ii*pi/2;
    i=Im*sin(x);
    u=Um.*sin(x+fi);
    P=Um*Im*cos(fi)/2;
    Q=Um*Im*sin(fi)/2;
    S=Um*Im/2;

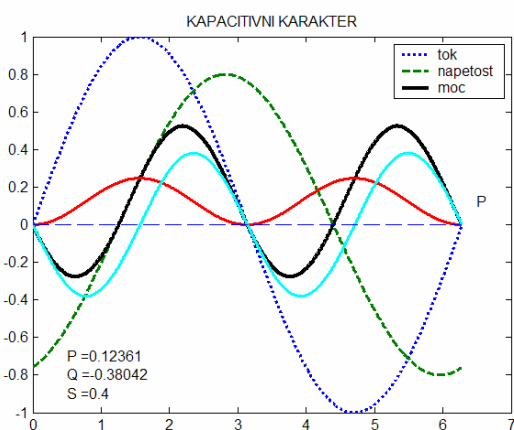
    plot(x,i,'.',x,u,'--','LineWidth',2);
    hold on
    plot(x,u.*i,'k','LineWidth',3)
    plot(x,P*(1-cos(2*x)), 'r', x, Q*sin(2*x), 'c', 'LineWidth',2)
    plot([0 2*pi], [0 0], 'Color', 'b', 'LineStyle', '--')
    plot([0 2*pi], [P P], 'Color', 'k', 'LineStyle', '-')
    %axis off
    title('OHMSKI KARAKTER')
    if fi<0 title('KAPACITIVNI KARAKTER'); end
    if fi>0 title('INDUKTIVNI KARAKTER'); end
    if fi==0 title('OHMSKI KARAKTER'); end
    legend('tok', 'napetost', 'moc')
    text(0.5, -0.7, strcat('P = ', num2str(P)));
    text(0.5, -0.8, strcat('Q = ', num2str(Q)));
    text(0.5, -0.9, strcat('S = ', num2str(S)));
    text(6.5, P, 'P');
    k = waitforbuttonpress
    hold off
end
```



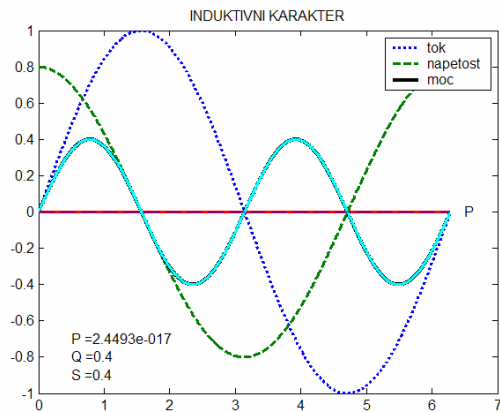
SLIKA: Moč na kondenzatorju.



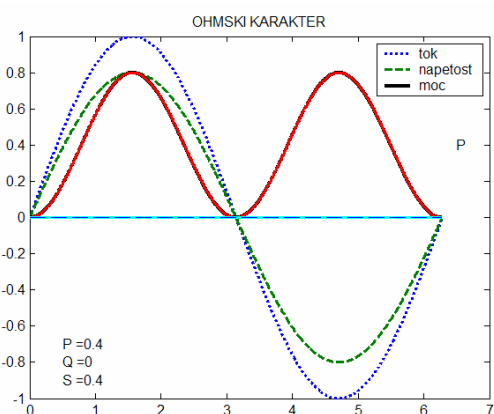
SLIKA: Moč na bremenu induktivnega karakterja



SLIKA: Moč na bremenu kapacitivnega karakterja.



SLIKA: Moč na induktivnem bremenu (tuljavi)



SLIKA: Moč na uporu