

Izmenični signali pri koncentriranih elementih (16)

V tem delu bomo obravnavali analizo vezij s koncentriranimi elementi pri vzbujanji z izmeničnimi, večinoma harmoničnimi signali. Elementi vezij bodo večinoma linearni. Zopet lahko razdelimo elemente vezij na aktivne in pasivne. Na aktivni strani imamo tokovne in napetostne generatorje, na pasivni pa upore, kondenzatorje in tuljave (tudi sklopljene).

Osnovni pojmi:

1) Večinoma bomo imeli opravka s periodičnimi signali. Času, v katerem se začne funkcija ponavljati pravimo **perioda** in jo označimo z veliko črko T . Za tako funkcijo velja $f(t) = f(t + T)$.

SLIKA: Primer periodičnega signala s periodo T .

2) **Frekvenca** takega signala je $f = \frac{1}{T}$, njena enota je s^{-1} , pogosteje uporabimo ekvivalentno enoto Hz (po Heinrichu Hertzu, ki je s svojimi eksperimenti prvi dokazal pravilnost Maxwellovih enačb). Pogosto uporabimo za opis signala tudi **kotno frekvenco** (kotno hitrost) ω , ki je enaka $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$.

3) Pogosto nas zanima **srednja** ali **povprečna** vrednost signala, ki je v osnovi površina pod krivuljo v eni periodi deljena s periodo ali matematično (za npr. tokovni signal)

$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot dt \quad (16.1)$$

Ta zapis pogosto za harmonične signale preuredimo tako, da namesto integracije po času zapišemo integracijo po kotu ωt . V tem primeru je

$$I_{sr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(t) \cdot d(\omega t) \quad (16.2)$$

4) Pogosto nas zanima tudi povprečna vrednost kvadrata signala. V tem primeru govorimo o **efektivni** vrednosti (**ang. RMS – root mean square**), ki jo določimo kot

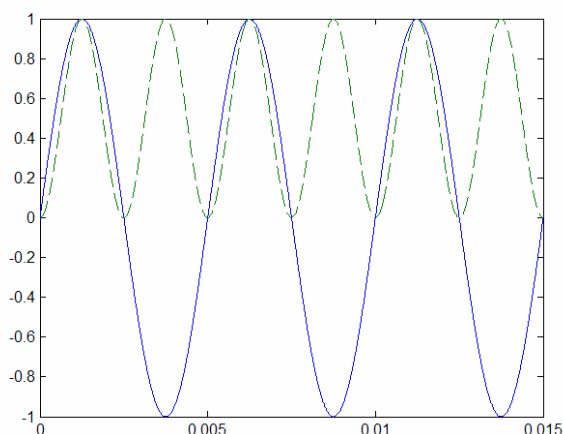
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) \cdot dt} \quad (16.3)$$

Efektivna vrednost signala je posebno pomembna tedaj, ko nas zanima povprečna moč ali energija signala, kar pa je v elektrotehniki pogosto.

Primer: Določimo srednjo in efektivno vrednost tokovnega signala oblike $i = I_m \sin(\omega t)$.

Izračun: $I_{sr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m \sin(\omega t) d(\omega t) = 0$. Srednja vrednost je očitno enaka nič, saj je sorazmerna površini pod krivuljo, ki pa je enaka v pozitivni in negativni Y osi. Drugače pa je z efektivno vrednostjo, saj s kvadriranjem postane signal izključno pozitiven:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)} = I_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{2} - 0 \right)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$



SLIKA: Sinusni signal in kvadrat signala.

MATLAB: `T=5e-3; om=2*pi/T; dt=T/1000; t=0:dt:3*T; plot(t,sin(om.*t),t,(sin(om.*t)).^2,'--')`

5) **Usmerjena** vrednost je določena kot povprečje usmerjenega signala, torej kot povprečna vrednost absolutne vrednosti signala.

$$I_r = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt$$

6) Za karakterizacijo oblike signala lahko uporabimo **faktor oblike (ang. form faktor)**, ki je določen kot kvocient med efektivno in usmerjeno vrednostjo

$$\text{faktor oblike} = FF = \frac{I_{ef}}{I_r}. \quad (16.4)$$

*** Merjenje efektivne vrednosti signala v praksi:** Cenejši merilni inštrumenti ne merijo prave efektivne vrednosti, pač pa jo določajo iz usmerjene vrednosti ali pa iz maksimalne vrednosti. V primeru signala sinusne oblike je $I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$, usmerjena vrednost pa je

$$I_r = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |I_m \sin(\omega t)| dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin(\omega t) dt = I_m \frac{2}{\pi} = 0,64 I_m.$$

Faktor oblike je torej

$$FF = \frac{I_{ef}}{I_r} = \frac{I_m / \sqrt{2}}{I_m 2 / \pi} \cong 1,1107.$$

Merilni inštrument za izračun efektivne vrednosti torej pomnoži izmerjeno usmerjeno vrednost signala s faktorjem 1,1107, pri čemer predvideva, da je signal sinusne oblike. Čim je merjeni signal drugačne oblike, je prikazani rezultat efektivne vrednosti napačen. Boljši inštrumenti merijo t.i. "pravo" efektivno vrednost (ang. true RMS).

VEČ:

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-6916EN.pdf>
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-5513EN.pdf>
[http://us.fluke.com/usen/support/appnotes/default?category=A_P_DMM\(FlukeProducts\)&parent=APP_NOTES\(FlukeProduct s\)#](http://us.fluke.com/usen/support/appnotes/default?category=A_P_DMM(FlukeProducts)&parent=APP_NOTES(FlukeProduct s)#)

SLIKA: TRUE RMS meter Fluke 114.

Za merjenje prave efektivne vrednosti je mogoče uporabiti več metod. En od principov temelji na uporabi termistorja, ki meri spremembo temperature na elementu, ta pa je neposredno povezana z efektivno vrednostjo toka. Na tržišču obstajajo tudi čipi, ki opravljajo množenje (kvadriranje) signala in s tem močno olajšajo delo. Primer takega elementa je čip AD8361 podjetja Analog Devices, www.analog.com. Vse več inštrumentov pa že zajema signale s pomočjo analogno/digitalne pretvorbe, kjer je izračun efektivne vrednosti mogoč z enostavno numerično integracijo kvadriranega signala. Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/True_RMS_converter.

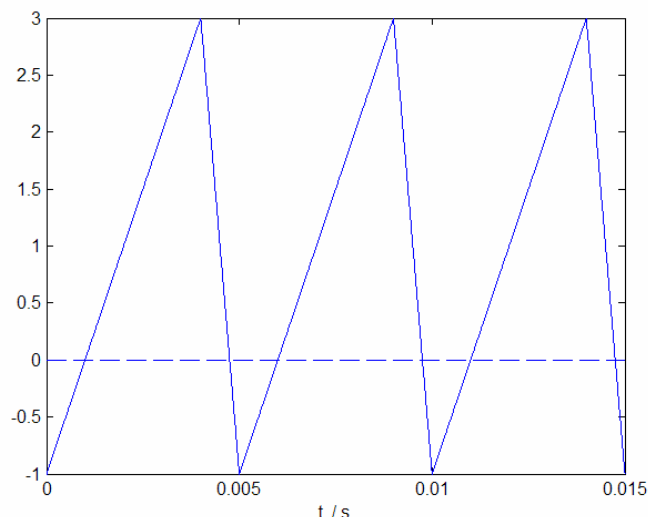


kvadriranega signala. Vir:

7) Podobno kot faktor oblike je definiran **temenski faktor (ang. crest factor)**. Določen je kot kvocient maksimalne in efektivne vrednosti

$$\text{temenski faktor} = \frac{I_m}{I_{ef}} \quad (16.5)$$

Primer: Določimo periodo, frekvenco, srednjo vrednost in efektivno vrednost časovne oblike signala na sliki. Signal je naraščajoč v 80% časa periode in v preostalem času padajoč.



Izračun: Perioda signala je $T = 5 \text{ ms}$, frekvenca je $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \text{ ms}} = 200 \text{ s}^{-1} = 200 \text{ Hz}$. Za izračun

srednje vrednosti moramo signal zapisati v matematični obliki in ga integrirati v času ene periode ter deliti s periodo. Ker je sestavljen iz premic (odsekoma zvezen), mora biti oblike $y = k \cdot t + n$. Iz zapisa v dveh skrajnih točkah od $t = 0$ do $t = 0,8 \cdot 5 \text{ ms} = 4 \text{ ms}$ velja $-1 = k \cdot 0 + n$ in $3 = k \cdot 4 \text{ ms} - 1$, od koder dobimo enačbo $y = t / \text{ms} - 1$. Podobno dobimo za drugi del periode enačbo $y = -4t / \text{ms} + 19$.

Sedaj uporabimo enačbo za izračun srednje vrednosti in dobimo

$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot dt = \frac{1}{5 \text{ ms}} \left(\int_0^{4 \text{ ms}} (t / \text{ms} - 1) dt + \int_{4 \text{ ms}}^{5 \text{ ms}} (-4t / \text{ms} + 19) dt \right). \text{ Rešitev enačbe je:}$$

$$I_{sr} = \frac{1}{5 \text{ ms}} (8 \text{ ms} - 4 \text{ ms} - 2(25 - 16) \text{ ms} + 19(5 - 4) \text{ ms}) = 1. \text{ Srednja vrednost signala je } 1. \text{ Z}$$

izračunom efektivne vrednosti je nekaj več dela, saj je potrebno rešiti sledeči integral:

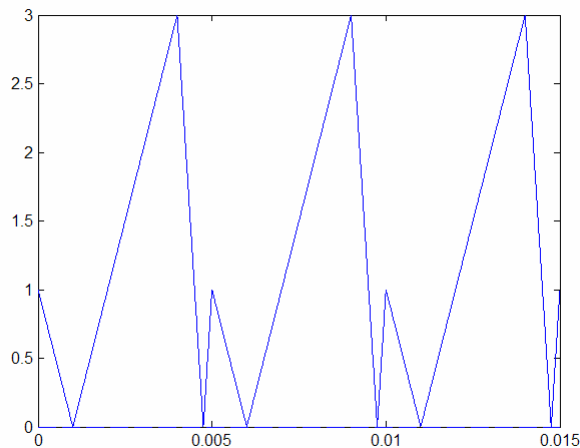
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{5 \text{ ms}} \left(\int_0^{4 \text{ ms}} (t / \text{ms} - 1)^2 dt + \int_{4 \text{ ms}}^{5 \text{ ms}} (-4t / \text{ms} + 19)^2 dt \right)}. \text{ Rešitev za vajo poskusite}$$

najti sami. Mi jo bomo poiskali kar s programom Matlab, ki da vrednost 1,5275.

$$I_r = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt = \frac{1}{5ms} \left(\int_0^{4ms} |t/ms - 1| dt + \int_{4ms}^{5ms} |-4t/ms + 19| dt \right) = 1,250$$

$$\text{faktor oblike} = \frac{I_{ef}}{I_r} = 1,222$$

$$\text{temenski faktor} = \frac{I_m}{I_{ef}} = \frac{3}{1,5275} = 1,964$$



SLIKA: Absolutna vrednost signala: iz te izračunamo usmerjeno vrednost.

MATLAB: T=5e-3; om=2*pi/T; dt=T/1000; t=0:dt:3*T; i=2*sawtooth(om.*t,0.8)+1;
 plot(t,i); Isr=trapz(i)*dt/(3*T); hold on; plot([0 0 3*T], [0 0 0], 'b--'); Ief=sqrt(trapz(i.^2)*dt/(3*T));
 Ir=trapz(abs(i)*dt/(3*T)); FF=Ief/Ir

Dodatno: Kolikšna moč se troši na bremenu (uporu 3 kΩ), če gre skozi upor tok oblike na sliki (v amperih).

Izračun: Trenutna moč na uporu je $p = u_R \cdot i_R = i_R^2 R$. Povprečna moč pa bo

$$\overline{p} = P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T i_R^2 R dt = R \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i_R^2 dt = R \cdot I_{R,ef}^2.$$

Povprečno moč običajno označimo z veliko črko P . Očitno je povprečna moč na uporu sorazmerna efektivni vrednosti toka. Tu se že kaže pomembnost definiranja efektivne vrednosti: med drugim določa povprečno moč na uporu pri izmeničnih signalih. V konkretnem primeru je povprečna moč na uporu enaka $P = R \cdot I_{R,ef}^2 = 3 \text{ k}\Omega \cdot 1,5275 \text{ A}^2 = 7 \text{ kW}$.

Če bi želeli preračunati moč, ki se na ohmskem bremenu troši z merilnikom, ki določa efektivno vrednost iz usmerjene vrednosti, bi dobili vrednost $1,25 \cdot 1,1107 = 1,3884$ namesto pravilne vrednosti 1,5275. Napaka prikaza bi bila 9,1 %.

Zveze med tokom in napetostjo na uporu, tuljavi in kondenzatorju

UPOR

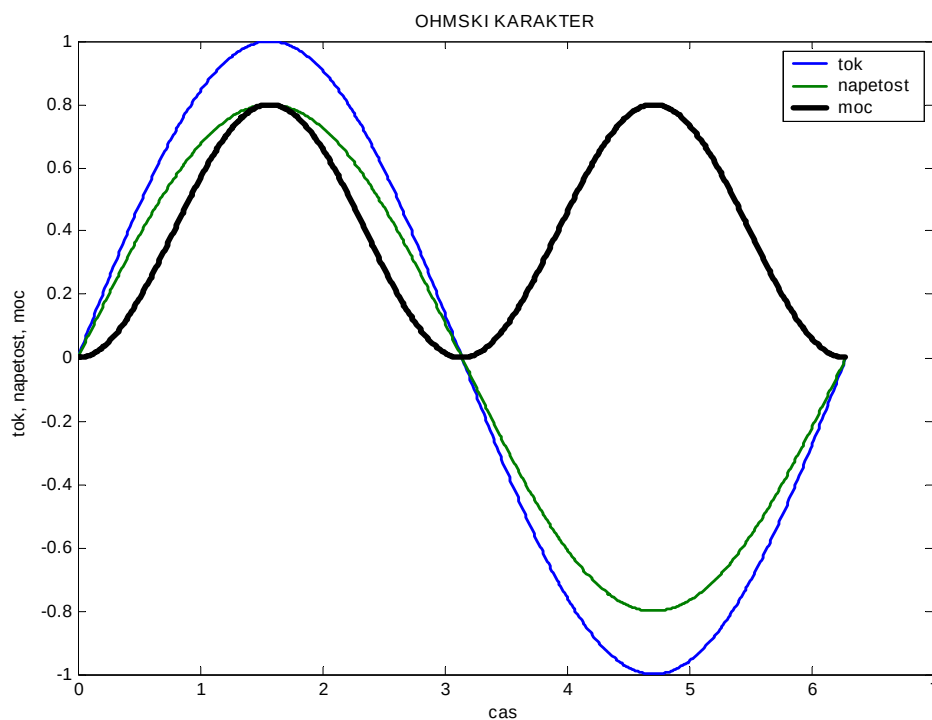
Velja zveza $u(t) = Ri(t)$.

Če je tok sinusne oblike $i = I_m \sin(\omega t)$, je napetost tudi sinusne oblike

$$u = RI_m \sin(\omega t) = U_m \sin(\omega t), \text{ kjer je } U_m = RI_m.$$

Moč na uporu dobimo kot zmnožek toka in napetosti na uporu

$$p = u \cdot i = i^2 R = I_m^2 R \sin^2(\omega t) \quad (16.6)$$



SLIKA: Tok in napetost na uporu sta v fazi. Moč niha z dvojno frekvenco in ima enosmerno komponento, ki je povprečna moč.

Moč. Moč na uporu lahko z uporabo zveze $\sin^2(\alpha) = \frac{1}{2}(1 - \cos(2\alpha))$ zapišemo kot

$$p = \frac{I_m^2 R}{2} (1 - \cos(2\alpha)) \quad (16.7)$$

Ugotovimo, da ima (trenutna) moč na upor tudi sinusno obliko vendar niha z dvojno frekvenco osnovnega signala, povprečna vrednost pa je $P = \frac{I_m^2 R}{2} = I_{ef}^2 R$. Ponovno ugotovimo, da povprečno vrednost določa efektivna vrednost signala.

Energija. Določimo še energijo v eni periodi (toplotna energija ali joulske izgube), ki bo

$$W_T = \int_0^T p \cdot dt = P \cdot T = I_{ef}^2 R \cdot T \quad (16.8)$$

Skupne ugotovitve za upor:

- 1) Če je tok skozi tuljavo $i = I_m \sin(\omega t)$, bo napetost na upor $u = U_m \sin(\omega t)$. Napetost na upor je v fazi s tokom, kar lahko prikažemo tudi grafično na kazalčnem diagramu.
- 2) Amplitudo napetosti lahko zapišemo tudi kot $U_m = I_m \cdot R$, kjer je R ohmska upornost.
- 3) Napetost na upor je neodvisna od frekvence tokovnega signala (in seveda obratno).
- 4) Moč na upor niha z dvojno frekvenco tokovnega (ali napetostnega) signala „okoli” enosmerne komponente, ki predstavlja povprečno moč in je enaka $P = \frac{I_m^2 R}{2} = I_{ef}^2 R$.

TULJAVA

Zveza med tokom skozi tuljavo in napetostjo na tuljavi je

$$u = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt}.$$

Če je tokovni signal oblike $i = I_m \sin(\omega t)$, bo napetost na tuljavi

$$u = L \frac{d}{dt}(I_m \sin(\omega t)) = LI_m \omega \cos(\omega t) = U_m \cos(\omega t) \text{ ali tudi } u = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Napetost prehiteva tok za kot $\pi/2$. To lahko prikažemo tako v časovnem poteku kot s kazalčnim diagramom ali kasneje – s kompleksorji v kompleksni ravnini.

SLIKA: Časovni potek in kazalčni diagram faznega prehitevanja napetosti na tuljavi pred tokom.

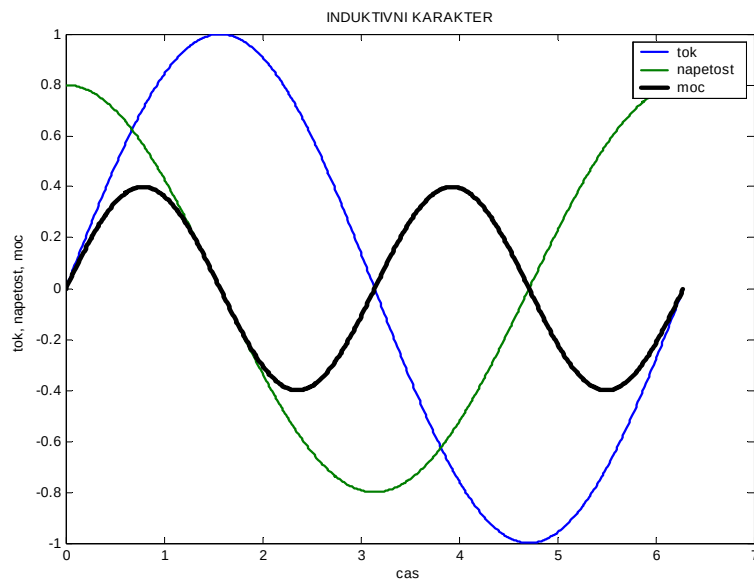
Amplituda napetosti bo torej $U_m = I_m \omega L$.

Upornost tuljave pri izmeničnih signalih se večja linearno s frekvenco in je enaka $\frac{U_m}{I_m} = \omega L$.

Moč. Trenutna moč bo zmnožek trenutne napetosti in toka na tuljavi, torej

$$p = iu = I_m \sin(\omega t) \cdot U_m \cos(\omega t) = \frac{I_m U_m}{2} \sin(2\omega t) \quad (16.9)$$

Trenutna moč niha z dvojno frekvenco vendar je brez enosmerne komponente. Energija se v četrtini periode porablja za grajenje magnetnega polja, v drugi četrtini pa se vrača v vezje. Povprečna (izgubna) moč bo 0 W.



SLIKA: Tokovni in napetostni signal na tuljavi sta zamaknjena za četrtno periode. Napetost prehiteva tok, moč na tuljavi niha z dvojno frekvenco in nima enosmerne komponente. Povprečna moč na tuljavi je nič.

Energija. Energijo v tuljavi dobimo z integracijo moči

$$W(t) = \int_0^t p dt = \frac{I_m U_m}{2} \int_0^t \sin(2\omega t) dt = \frac{I_m U_m}{2 \cdot 2\omega} (1 - \cos(2\omega t)).$$

Energija, ki je akumulirana v magnetnem polju tuljave, niha z dvojno frekvenco osnovnega signala, je v vsakem trenutku pozitivna in v povprečju velika

$$W_{sr} = \frac{I_m U_m}{4\omega}. \quad (16.10)$$

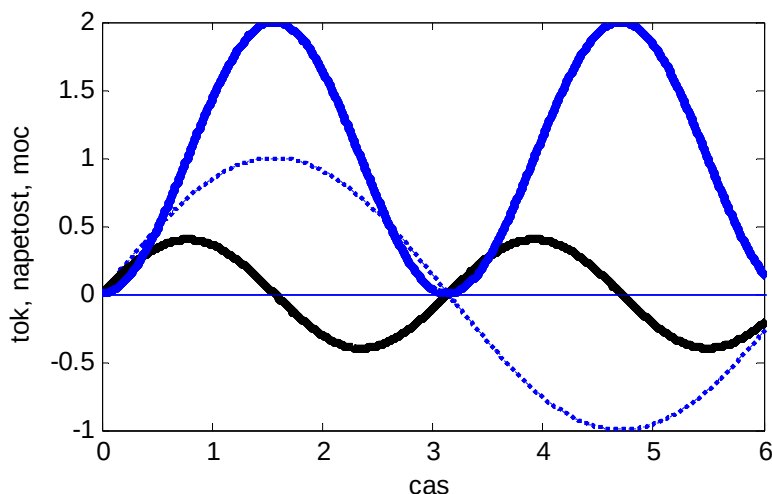
Spomnimo se še druge oblike zapisa trenutne energije. V poglavju (13) smo obravnavali energijo v magnetnem polju tuljave in ugotovili, da jo lahko zapišemo kot

$$W(t) = \int_{t_0}^t p(t) dt = \int_{t_0}^t L \frac{di}{dt} i dt = \int_{i(t_0)}^{i(t)} L i di$$

od koder smo zapisali enačbo za trenutno energijo v magnetnem polju tuljave z induktivnostjo L v obliki $W = \frac{Li^2}{2}$.

Maksimalna energija v tuljavi nastopi tedaj, ko je maksimalen tok. Tedaj je

$$W_{max} = \frac{LI_m^2}{2} \quad (16.11)$$



Slika: Moč (polna črna črta) in energija (polna modra črta) pri vzbujanju tuljave s sinusnim tokovnim signalom (modra črtkana črta).

Skupne ugotovitve za tuljavo:

- 1) Če je tok skozi tuljavo $i = I_m \sin(\omega t)$, bo napetost na tuljavi $u = U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$. **Napetost na tuljavi prehiteva tok** za četrtno periode signala, kar lahko prikažemo tudi grafično na kazalčnem diagramu.
- 2) Amplitudo napetosti lahko zapišemo tudi kot $U_m = I_m \omega L$, kjer je ωL upornost tuljave pri izmeničnih signalih.
- 3) Za lažjo predstavo lahko tuljavo pri zelo nizkih frekvencah (enosmerne razmere) nadomestimo s kratkim stikom (zelo majhna upornost), pri zelo visokih pa z odprtimi sponkami (zelo velika upornost).
- 4) Moč na tuljavi niha z dvojno frekvenco tokovnega (ali napetostnega) signala, povprečna moč je enaka nič.
- 5) Energija v magnetnem polju tuljave niha z dvojno frekvenco osnovnega signala, je vedno pozitivna in v povprečju velika $\overline{W} = W_{sr} = \frac{U_m I_m}{4\omega}$. Trenutna vrednost je sorazmerna kvadratu toka $W = \frac{Li^2}{2}$, maksimalna energija v tuljavi nastopi vsako četrtno periode signala, ko je velika $W_{max} = \frac{LI_m^2}{2}$.
- 6) Za vezja, v katerih napetost prehiteva tok rečemo, da imajo **induktivni karakter**.

Primer: Na toroidno jedro okroglega preseka površine 1 cm^2 srednjim polmerom 2 cm z $\mu_r = 100$ navijemo 500 obojev. Kolikšna je napetost na tuljavi, če jo vzbujamo s tokom $i = 0,4 \cos(100\text{s}^{-1}t) \text{ A}$? Določimo še povprečno in maksimalno moč na tuljavi.

Izračun: Induktivnost toroida je $L = \frac{\mu_r \mu_0 N^2 A}{2\pi r_s} = 25 \text{ mH}$, torej je induktivna upornost

$X_L = \omega L = 2,5 \Omega$, maksimalna napetost je $U_m = I_m X_L = 0,4 \text{ A} \cdot 2,5 \Omega = 10 \text{ V}$. Če bi želeli zapisati napetost na tuljavi v obliki časovnega signala, bi morali upoštevati, da napetost na tuljavi tok prehiteva za fazni kot $\frac{\pi}{2}$, torej bo $u(t) = 10 \cos(100\text{s}^{-1}t + \frac{\pi}{2}) \text{ V}$.

KONDENZATOR

Zopet vzemimo sinusno obliko toka $i = I_m \sin(\omega t)$. Tok izrazimo s spremembo naboja na ploščah

kondenzatorja $i = \frac{dQ}{dt}$ in upoštevamo zvezo med nabojem na ploščah in napetostjo $Q(t) = Cu(t)$ in

dobimo $i = C \frac{du}{dt}$. Ker tok poznamo, zanima pa nas napetost, izrazimo napetost na kondenzatorju

kot¹ $u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u(0)$. Za sinusno obliko toka bo napetost enaka

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t I_m \sin(\omega t) \cdot dt + u(0) = -\frac{I_m}{\omega C} \cos(\omega t) = \frac{I_m}{\omega C} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ oziroma}$$

$$u = U_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \text{ Napetost na kondenzatorju zaostaja za tokom za četrtno periode.}$$

SLIKA: Časovni potek in kazalčni diagram faznega zaostajanja napetosti na kondenzatorju pred tokom.

Amplituda napetosti bo torej $U_m = \frac{I_m}{\omega C}$.

Člen $\frac{1}{\omega C}$ ima enoto upornosti in tudi predstavlja upornost kondenzatorja pri izmeničnih signalih.

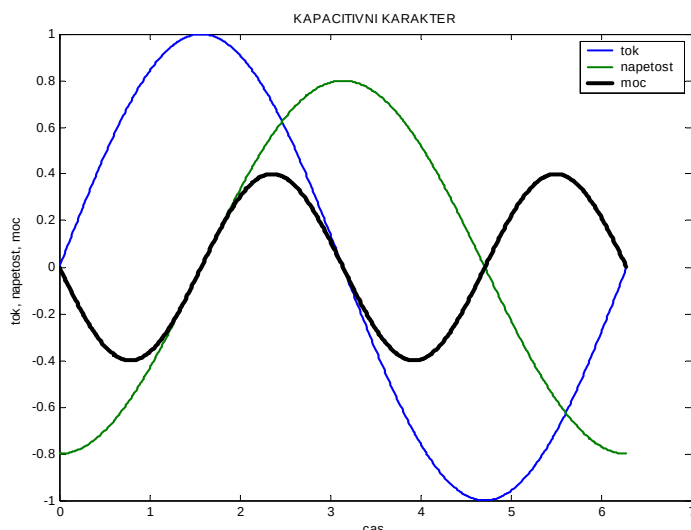
Moč. Trenutna moč bo zmnožek trenutne napetosti in toka na tuljavi, torej

$$p = iu = -I_m \sin(\omega t) \cdot U_m \cos(\omega t) = -\frac{I_m U_m}{2} \sin(2\omega t) \quad (16.12)$$

Trenutna moč niha z dvojno frekvenco vendar je brez enosmerne komponente, enako kot pri tuljavi. Energija se v eni četrtni periode porablja za grajenje električnega polja, v drugi četrtni pa se vrača v vezje. Povprečna (izgubna) moč bo 0 W.

¹ Zakaj dodamo $u(0)$? Pri veličinah, ki so določene z integralom, je potrebno upoštevati "zgodovino" integranta. Torej

bi bilo vedno potrebno slediti integrirano veličino od $-\infty$, torej $u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u(0)$.



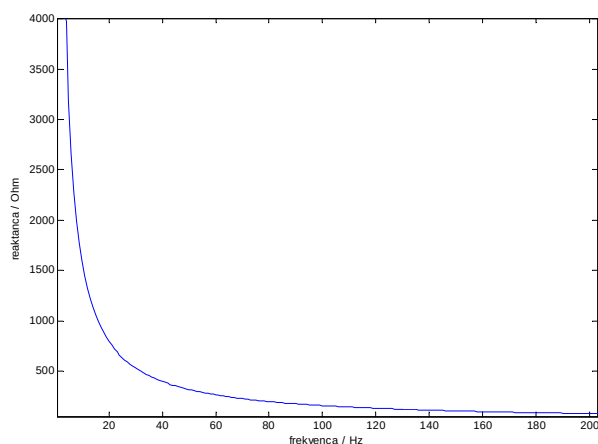
SLIKA: Tokovni in napetostni signal na kondenzatorju. Napetost na kondenzatorju zaostaja za tokom za četrtno periode signala.

Energija. Podobno kot pri tuljavi energija niha z dvojno frekvenco, je vedno pozitivna, v povprečju enaka $W_{sr} = \frac{I_m U_m}{4\omega}$, maksimalna energija shranjena v polju kondenzatorja pa je

$$W_{\max} = \frac{CU_m^2}{2}.$$

SLIKA: Kapacitivna upornost $X_C = \frac{1}{\omega C}$

se zmanjšuje s višanjem frekvence
vzbujalnega signala s funkcijsko
odvisnostjo $\frac{1}{f}$. **Na sliki je reaktanca za**
 $C = 10 \mu\text{F}$.



Skupne ugotovitve za kondenzator:

- 1) Če je tok skozi tuljavo $i = I_m \sin(\omega t)$, bo napetost na kondenzatorju $u = U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$.

Tok na kondenzatorju prehiteva napetost za četrtno periode signala, kar lahko prikažemo tudi grafično na kazalčnem diagramu.

- 2) Amplitudo napetosti lahko zapišemo tudi kot $U_m = \frac{I_m}{\omega C}$, kjer je $\frac{1}{\omega C}$ upornost kondenzatorja pri izmeničnih signalih².
- 3) Za lažjo predstavo lahko kondenzator pri zelo nizkih frekvencah (enosmerne razmere) nadomestimo z odprtimi sponkami (zelo velika upornost), pri zelo visokih pa s kratkim stikom (zelo majhna upornost).
- 4) Moč na kondenzatorju niha z dvojno frekvenco tokovnega (ali napetostnega) signala, povprečna moč je enaka nič.
- 5) Energija niha z dvojno frekvenco osnovnega signala, v povprečju je enaka $W_{sr} = \frac{I_m U_m}{4\omega}$, maksimalna energija v kondenzatorju nastopi vsako četrtno periode signala, ko je velika $W_{max} = \frac{CU_m^2}{2}$. Energija je akumulirana v električnem polju kondenzatorja.
- 6) Za vezja, v katerih napetost zaostaja za tokom rečemo, da imajo kapacitivni karakter.

Primer: Na kondenzator kapacitivnosti $8 \mu\text{F}$ priključimo vir napetosti sinusne oblike amplitude 1 V. Kolikšna mora biti frekvenca napetostnega signala, da bo imel tok kondenzatorja amplitudo 2,5 mA?

Izračun: Iz $U_m = \frac{I_m}{\omega C}$ mora biti $\omega C = \frac{1\text{V}}{2,5\text{mA}} = 400 \Omega$ od koder je

$$\omega = \frac{1}{400 \Omega \cdot 8 \mu\text{F}} = 312,50 \text{ s}^{-1} \text{ oziroma } f = \frac{312,50}{2\pi} \text{ Hz} \approx 50 \text{ Hz}.$$

² Pogosto se uporablja zapis reaktance kondenzatorja kot $X_C = \frac{1}{\omega C}$. Kasneje bomo ugotovili, da je reaktanca

definirana kot imaginarni del impedance in je v primeru kondenzatorja negativna, torej $X_C = -\frac{1}{\omega C}$.

Vprašanja za obnovo:

- 1) Osnovni pojmi: perioda, frekvenca, kotna frekvenca.
- 2) Srednja vrednost, efektivna vrednost, usmerjena vrednost, faktor oblike, temenski faktor.
- 3) Zveze med tokom in napetostjo na upor, tuljavi in kondenzatorju:
 - a. Časovni signali, kazalčni prikaz
 - b. Prehitevanje ali zaostajanje toka za napetostjo, karakter vezja
 - c. Moč, povprečna moč
 - d. Energija, trenutna energija, povprečna, maksimalna
 - e. Upornosti pri izmeničnih signalih

Kolokvijske in izpitne naloge:**Efektivna vrednost:**

2. kolokvij, 13. 06.2002

izpit, 20. junij 2003

Izpit 26. 6. 2002

izpit, 8. aprila 2002