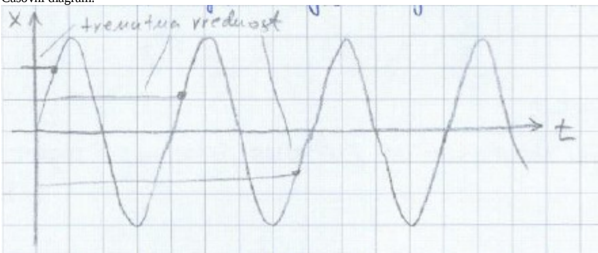
ČASOVNO SPREMENLJIVO VZBUJANA IN HARMONIČNO VZBUJANA EL.VEZJA

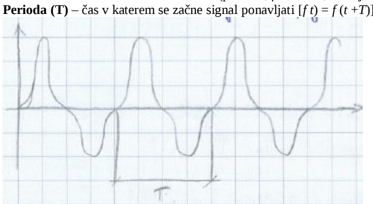
1. Časovno spremenljiva in periodična količina (časovni diagram, trenutna vrednost)

Časovni diagram:



2. Periodična količina (perioda, frekvenca, srednja in efektivna vrednost)

Perioda (T) – čas v katerem se začne signal ponavljati [$f(t) = f(t+T)$]



Frekvenca - periodičnega signala je $f = \frac{1}{T}$, njena enota je s^{-1}, pogosteje uporabimo enoto Hz.

Kotna frekvenca – $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

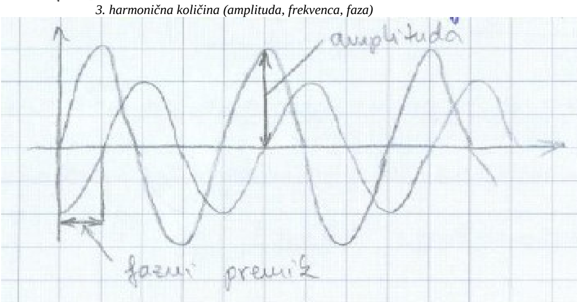
Srednja ali povprečna je v osnovi površina pod krivuljo signala deljena s periodo.

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

Efektivna vrednost (RMS – root mean square) povpr. vred. kvadrata signala.

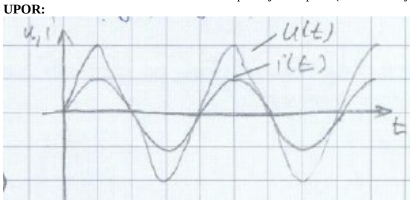
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\cdot dt}$$

3. harmonična količina (amplituda, frekvenca, faza)



4. Odnos med tokom in napetostjo na uporu (kondenzatorju, tuljavi)

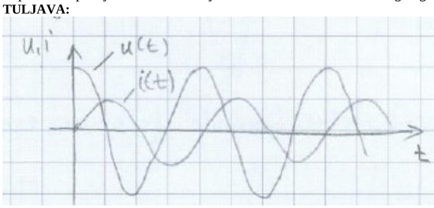
UPOR:



$u(t) = Ri(t)$ $i = I_m \sin(\omega t)$ $u = RI_m \sin(\omega t) = U_m \sin(\omega t)$

Napetost na uporu je v fazi s tokom in je neodvisna od frekvence tokovnega signala.

TULJAVA:



$u = \frac{d\Psi}{dt} = L\frac{di}{dt}$ $i = I_m \sin(\omega t)$

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

Napetost prehiteva tok za 90^0[pi/2]. Amplituda napetosti: $U_m = I_m\omega L$

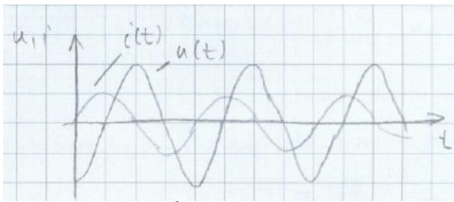
Upornost tuljave (reaktanca) pri izmeničnih signalih se veča linearno s frekvenco

$\frac{U_m}{I_m} = X_L = \omega L$

Tuljavo lahko pri zelo nizkih frekvencah (enosmerne razmere) nadomestimo s kratkim stikom (zelo majhna upornost), pri zelo visokih pa z odprtimi sponkami (zelo velika upornost).

Za vezja, v katerih napetost prehiteva tok rečemo, da imajo **induktivni karakter**.

KONDENZATOR:



$i = I_m \sin(\omega t)$ $i = C\frac{du}{dt}$

$u = U_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ $U_m = \frac{I_m}{\omega C}$ Amplituda napetosti

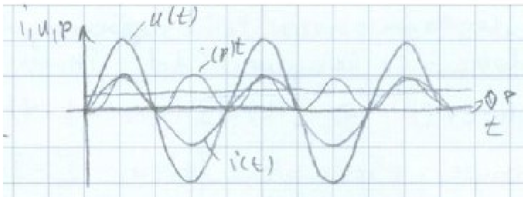
Napetost zaostaja za tokom za 90^0[pi/2].

Kondenzator pri zelo nizkih frekvencah (enosmerne razmere) lahko nadomestimo z odprtimi sponkami (zelo velika upornost), pri zelo visokih pa s kratkim stikom (zelo majhna upornost).

Za vezja, v katerih napetost zaostaja za tokom rečemo, da imajo **kapacitivni karakter**.

5. Močnostne in energijske razmere na uporu (kondenzatorju, tuljavi)

UPOR:



Moč:

$$p = \frac{I_m^2 R}{2}\left(1 - \cos(2\omega t)\right)$$

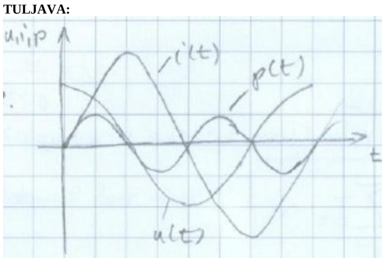
Trenutna moč na uporu ima sinusno obliko, vendar niha z dvojno frekvenco osnovnega signala.

Povprečna moč: $P = \frac{I_m^2 R}{2} = I_{ef}^2 R$

Energija:

$$W_T = \int_0^T p\,dt = PT = I_{ef}^2 RT$$

TULJAVA:



Moč:

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

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

Energija:

$$W(t) = \int_0^t p\,dt = \frac{I_m U_m}{2}\int_0^t \sin(2\omega t)dt = \frac{I_m U_m}{2.2\omega}\left(1 - \cos(2\omega t)\right)$$

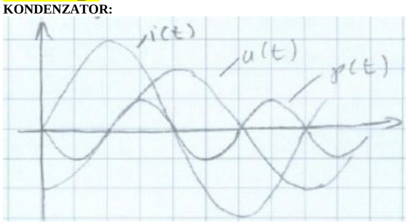
Energija, ki je akumulirama v mag. polju tuljave, niha z dvojno frekvenco osnovnega signala, je v vsakem trenutku pozitivna in v povprečju velika $W_{sr} = \frac{I_m U_m}{4\omega} = \frac{LI_m^2}{4}$

$W = \frac{Li^2}{2}$ Trenutna energija

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

$W_{max} = \frac{LI_m^2}{2}$

KONDENZATOR:



Moč:

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

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

Energija:

Niha z dvojno in je vedno pozitivna.

$W_{sr} = \frac{CU_m^2}{4}$; povpr.

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

6. Kazalec harmonične količine (časovni in frekvenčni prostor)

Eulerjev obrazec:

$$e^{j\alpha} = \cos(\alpha) + j\sin(\alpha)$$

S pomočjo Eulerjevega obrazca lahko zapišemo poljuben harmoničen signal, pri čemer pa poleg realnega dela pridobimo še imaginarni del.

$$\underline{i}(t) = I\left(\cos(\omega t + \varphi) + j\sin(\omega t + \varphi)\right) = Ie^{j(\omega t + \varphi)} = Ie^{j\varphi}e^{j\omega t} =$$

Tvorili smo kompleksor harmonične funkcije $\underline{I} = Ie^{j\varphi}$, ki opisuje amplitude in fazo (fazni kot) toka, kar pa je tudi popolna informacija o toku v vezju.

7. Odnos med kazalcema toka in napetosti na uporu (kondenzatorju, tuljavi)

UPOR:

$$i(t) = I\cos(\omega t) \quad \underline{I} = Ie^{j0} = I$$

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

$\underline{U} = R\underline{I}$ Kompleksorja toka in napetosti sta v fazi.

TULJAVA:

$$\underline{I} = Ie^{j0} = I \quad u(t) = I\omega L\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\underline{U} = I\omega Le^{j\frac{\pi}{2}} = I\omega L \cdot j$$

$$\underline{U} = j\omega L\underline{I}$$

KONDENZATOR:

$$\underline{U} = \frac{I}{\omega C}e^{-j\frac{\pi}{2}} = \frac{I}{e^{j\frac{\pi}{2}}\omega C} = \frac{I}{j\omega C}$$

$$\underline{U} = \frac{\underline{I}}{j\omega C} \quad \underline{U} = -j\frac{I}{\omega C}$$

8. Kirchoffova zakona v kompleksnem

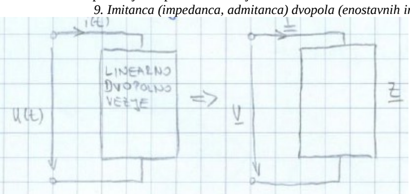
$$\sum_{k=1}^{m} \underline{I}_k = 0$$

- Vsota vseh kompleksorjev toka v spojišče je enaka nič.

$$\sum_{j=1}^{n} \underline{U}_j = 0$$

- Vsota vseh kompleksorjev napetosti v zanki je enaka nič.

9. Imitanca (impedanca, admitanca) dvopola (enostavnih in sestavljenih dvopolov)



Kvocient komplesorjev napetosti in toka imenujemo **impedanca** ali **kompleksna upornost**.

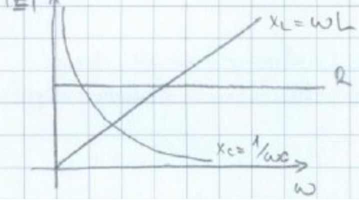
$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}}$$ velja: $$\underline{Z} = \frac{Ue^{j\varphi_u}}{Ie^{j\varphi_i}} = \frac{U}{I}e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = Ze^{j\varphi}$$

Impedanca je kompleksno število. Absolutna vrednost impedance je kvocient med amplitudo napetosti in toka, argument pa je razlika med faznima kotoma napetostnega in tokovnega signala. Inverzna impedanci je **admitanca** ali **kompleksna prevodnost.**

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{\underline{I}}{\underline{U}}$$ lahko tudi: $$\underline{Y} = \frac{1}{Z}e^{-j\varphi} = Ye^{-j\varphi}$$

	Impedanca	**Admitanca**
	$\underline{Z}$	$\underline{Y}$
Upor	$\boldsymbol{R}$	$\boldsymbol{G}$
Tuljava	$j\omega L = jX_L$	$\frac{1}{j\omega L} = jB_L$
Kondenzator	$\frac{1}{j\omega C} = jX_C$	$j\omega C = jB_C$

$X_{L,C}$=reaktanca (imaginarni del impedance)
B = susceptanca (imaginarni del reaktance)



- ZAPOREDNA VEZAVA:

$$\underline{Z}_{zaporedno} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \ldots$$

- VZPOREDNA VEZAVA:

$$\underline{Y}_{vzporedno} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \ldots$$

10. Kompleksna moč (delovna, jalova in navidezna moč, faktor moči)

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 enaka tej enosmerni komponenti moči, ki jo imenujemo **delovna moč**.

$$P = \frac{U_m I_m}{2}\cos(\varphi) = U_{ef}I_{ef}\cos(\varphi)$$ Cosφ – imenujemo faktor moči ali faktor delavnosti

To je del moči, ki se pretvarja v neko drugo obliko, na uporu v toplotno (Joulske izgube), v motorjih pa v mehansko.
Navidezna moč: trenutna moč niha z dvojno frekvenco okoli vrednosti povprečne moči. Amplituda nihanja moči (brez enosmerne komponente). Pove nam, koliko smemo obremenjevati napravo.

$$S = \frac{I_m U_m}{2}$$

Jalova moč:

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

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

$$Q = \frac{I_m U_m}{2}\sin(\varphi)$$, velja tudi: $$S^2 = P^2 + Q^2$$

To moč bi lahko zapisali tudi s kompleksorji v obliki:

$$\underline{S} = \underline{P} + j\underline{Q} \quad \underline{S} = \frac{1}{2}\underline{U} \cdot \underline{I}^*$$

Če upoštevamo še Ohmov zakon:

$$\underline{S} = \frac{1}{2}\underline{I}\underline{Z}\underline{I}^* = \frac{1}{2}\left|\underline{I}\right|^2\underline{Z} = \frac{1}{2}I^2\underline{Z} = \frac{1}{2}U^2\underline{Y}^*$$

Delovna moč predstavlja realno, jalova pa imaginarno komponento kompeksorja navidezne moči.
Bilanca moči:
Vsota moči virov (generatorjev) = vsota moči na bremenih vezja

11. Kompenzacija jalove moči

Večina električnih naprav ima induktivni karakter, saj za pretvarjanje iz električne v mehansko energijo potrebujejo razna navitja (motorji, transformatorji, dušilke…). Ti potrebujejo energijo za vzpostavljanje in »zmanjševanje« magnetnega polja, ki se manifestira v izmenjalni moči, ta pa v jalovi moči, ki je definirana kot amplituda te izmenjalne moči. Ta moč je potrebna za delovanje el. naprav in se ji ne moremo izogniti. Bremeni pa ta moč električno omrežje in jo porabnik tudi plačuje. Jalovo moč je navzven mogoče do določene mere kompenzirati, to pomeni, da bremenu dodamo elemente, ki izmenjujejo energijo z bremenom. V ta namen se uporablja vzporedno vezavo kondenzatorjev.
Poznamo **popolno in nepopolno kompenzacijo**. Pri popolni kompenzaciji breme navzven deluje kot ohmsko, torej je jalova moč navzven enaka nič, pri nepopolni, pa jalovo moč le zmanjšamo do določene mere. Pogosto za mero kompenzacije uporabimo faktor delavnosti cos(φ). Popolna kompenzacija ima faktor delavnosti 1.
- Popolna kompenzacija: φ=0 oz cosφ=1
- Nepopolna kompenzacija: φ- zmanjšamo tako, da je običajno cosφ=0.9-0.94

12. Resonanca (vsiljeno nihanje zaporednega in vzporednega nihajnega kroga)

Resonančni pojav nastopi ob izrazitem povečanju amplitude toka ali napetosti.
ZAPOREDNI NIHAJNI KROG:
Zaporednega nihajni krog sestavljajo zaporedna vezava kondenzatorja, upora in tuljave.
Frekvenca, pri kateri imamo max. tok [resonančna frekv.]

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

VZPOREDNI NIHAJNI KROG:
Imamo vzporedno vezavo upora, kondenzatorja in tuljave.
Frekvenca, pri kateri imamo max. napetost

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Razlika je v tem, da je sedaj pri resonančni frekvenci na zunanjih sponkah maks. napetost, pri zaporedni resonanci pa tok. *Vzporedno resonanco* zato tudi imenujemo **napetostna**, *zaporedno* pa **tokovna resonanca.**

13. Pasovna širina in kvaliteta nihajnega kroga (bočni frekvenci, razglašenost, uporabe)

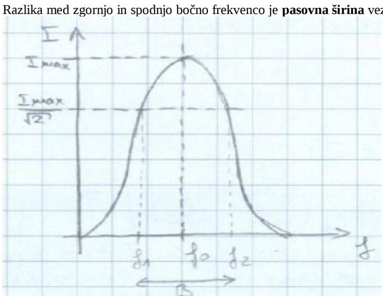
Razglašenost vezja:

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}$$

Kvaliteta vezja je določena s kvocientom moči na reaktivnem elementu in delovno močjo:

$$Q = \frac{Q_{X_0}}{P}$$

Kvaliteta vezja je mera za »ozkost« resonančne krivulje. Bolj kot je krivulja ozka (strma okoli resonančne frekvence), večja je njena kvaliteta. V primeru zaporedne vezave elementov R, L, C je kvaliteta večja pri manjši upornosti.
Dušenje je recipročna vrednost kvalitete ($D = 1/Q$).
Bočni frekvenci (f_2 in f_1) sta določeni pri vrednostih toka, ki je od maksimalne vrednosti manjši za koren od 2.
Razlika med zgornjo in spodnjo bočno frekvenco je **pasovna širina** vezja.



$$B = f_2 - f_1$$

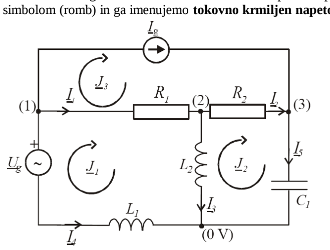
Normirana pasovno širino, ki je pasovna širina deljena z resonančno frekvenco: $$B_{\text{norm}} = \frac{f_2 - f_1}{f_0}$$

Kvaliteta je definirana tudi kot recipročna vrednost normirane pasovne širine:

$$Q = \frac{1}{B_{\text{norm}}} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

14. Metode analize harmonično vzbujanih vezij

Sklopljene tuljave: Sklopljeni elementi, nastopajo v primeru obravnave vezij z najmanj dvema tuljavama, ki si delita del ali celoten fluks. Ti elementi imajo zaradi sklopitve dodaten padec napetosti na tuljavi, ki se padcu napetosti zaradi lastne induktivnosti prišteva ali pa odšteva. Podpiranje (seštevanje) fluksov označimo tako, da postavimo piko v obeh sklopljenih elementih na začetek ali konec elementa glede na tok v element. Ta dodatni padec napetosti lahko označimo s posebnim simbolom (romb) in ga imenujemo **tokovno krmiljen napetostni vir**.



1) Metode Kirchoffovih zakonov (1. in 2.)
2) Metode zančnih tokov
3) Metoda spojiščnih potencialov

Stavki teoremi:

1) Stavek superpozicije

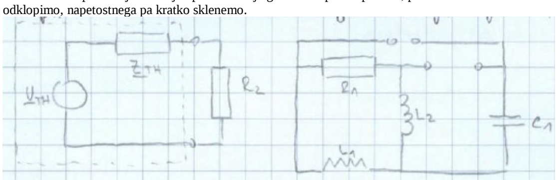
Če imamo več različnih virov v vezju, lahko pri linearnem vezju odklopimo določen vir in analiziramo vezje kot vsoto več poenostavljenih vezij. Če so viri različnih frekvenc, ne smemo izračunanih kompleksorjev tokov preprosto sešteti, saj gre za časovne signale različnih frekvenc. Seštejemo lahko časovne signale. Z metodo superpozicije lahko analiziramo tudi vezje, ki vključuje enosmerne in izmenične vire.

2) Theveninovo nadomestno vezje
3) Nortonovo nadomestno vezje
4) Teorem maksimalne moči

15. Theveninov in Nortonov teorem

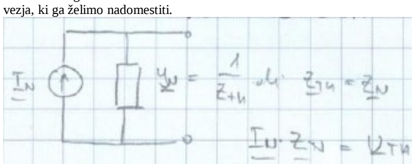
- THEVENINOVO NADOMESTNO VEZJE

Vezje med poljubnima dvema sponkama nadomestimo z realnim napetostnim virom.
Recimo, da nas zanima tok skozi upor R_2. Poiščimo nadomestno Theveninovo upornost in napetost. Theveninova upornost je notranja upornost vezja gledana s sponk upora R_2, pri čemer tokovni vir odklopimo, napetostnega pa kratko sklenemo.



- NORTONOVO NADOMESTNO VEZJE

Predstavimo ga z realnim tokovnim virom. Tok lahko določimo kot tok kratkega stika med sponkama vezja, ki ga želimo nadomestiti.



17. Transformator brez izgub (prestava, magnetilni in ravnotežni tok, transformacija moči)

S transformatorjem lahko zvišamo ali znižamo izmenično napetost, prilagodimo breme, ga uporabimo za merjenja, kot ločilni transformator, itd.. Ne vsebuje gibljivih delov in je s tem njegova življenjska doba dolga, poleg tega pa z dokaj dobrim magnetnim sklepom omogoča relativno majhne izgube pri pretvarjanju iz višje v nižjo napetost in obratno. V osnovi lahko transformator predstavimo kot dvovhodno vezje s sklopljenima tuljavama. Vhodna in izhodna stran sta v principu enakovredni, saj lahko z zamenjavo strani zvišamo ali znižamo izhodno napetost, impedanco, tok.
Vzemimo idealno sklopljeni tuljavi s faktorjem sklopa enak 1. Tedaj bo zveza med lastnima induktivnostima navitij in medsebojno induktivnostjo sledeča: $M = \sqrt{L_1 L_2}$

Vhodno napetost na eni strani zapišemo kot $\underline{U}_1 = j\omega L_1 \underline{I}_1 + j\omega M \underline{I}_2$

To stran bomo imenovali **primarna**, drugo stran pa **sekundarna**. Primarna stran je običajno priključena na napajalno napetost (vir), sekundarna pa na breme. Ker smo toka in pike označili tako, da se fluksa obeh tuljav podpirata, bo napetost na drugi strani (sekundarni) enaka

$$\underline{U}_2 = j\omega L_2 \underline{I}_2 + j\omega M \underline{I}_1$$

Izhodna napetost je odvisna le od razmerja lastnih induktivnosti tuljav, te pa so sorazmerne kvadratu ovojev

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{N_1^2/R_m}{N_2^2/R_m}} = \frac{N_1}{N_2} = n \qquad \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Razmerje med vhodno in izhodno napetostjo enako razmerju števila ovojev n. Temu razmerju rečemo tudi **napetostna prestava.**

Napetostna prestava in maksimalni fluks v jedru:

$$U_{i1,ef} = \left|\underline{U}_{i1,ef}\right| = N_1 2\pi f \frac{\Phi_{gl,\max}}{\sqrt{2}} = 4{,}44 f N_1 \Phi_{gl,\max}$$

Magnetilni tok - Če so na sekundarni strani sponke odprte, teče na primarni strani tok

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{j\omega L_1} = \underline{I}_{1m}$$

Ta tok povzroča fluks v jedru transformatorja in je v fazi s fluksom.
Če na sekundarno navitje transformatorja priključimo breme, rečemo, da je transformator **obremenjen.**

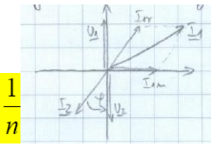
Sedaj bomo imeli dva toka, ki magnetita jedro. $\Theta = N_1 \underline{I}_1 + N_2 \underline{I}_2$

Magnetna napetost bo neodvisna od bremenskega toka, saj se priključena napetost in s tem inducirana napetost na primarni strani (v idealnih razmerah enaka priključeni napetosti) ni spremenila.

$$N_1 \underline{I}_1 + N_2 \underline{I}_2 = N_1 \underline{I}_{1m}$$

Tokovna prestava:

$$\frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2} = -\frac{1}{n}$$



Moč na bremenu je manjša od moči na vhodu za jalovo moč magnetenja *S1m*. Le ta pa je običajno dosti manjša od moči na bremenu, velja

$$\underline{S}_1 \cong \underline{S}_2$$

Kar pomeni, da je v idealnih razmerah moč bremena enaka moči na vhodu.

18. Idealni transformator (transformacija impedance)

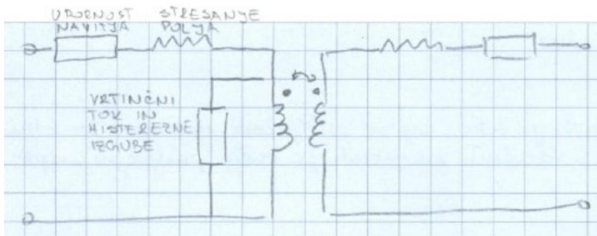
$$\underline{Z}_{vh} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}$$

S preureditvijo osnovnih enačb transformatorja in ob predpostavki, da bo bremenska upornost mnogo manjša od induktivnih upornosti

$$\underline{Z}_{vh} \approx n^2 \underline{Z}_b$$

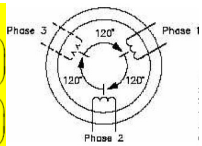
19. Realni transformator (vrste izgub in modelno vezje ter kazalčni diagram)

Pri realnem transf. upoštevamo stresanje polja, upornost navitja, izgubo v jedru (histerezne, vrtinčni tokovi)



20. Trifazni sistem (modelno vezje trifaznega generatorja, fazne in medfazne napetosti)

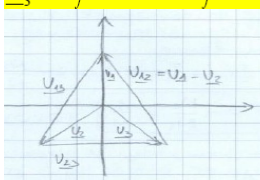
$$u_1 = U_m \cos(\omega t + \alpha),$$
$$u_2 = U_m \cos\left(\omega t + \alpha - \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$u_3 = U_m \cos\left(\omega t + \alpha + \frac{2\pi}{3}\right)$$



Trifazni sistem s takim zaporedjem faz imenujemo pozitiven, saj se kompleksorji napetosti izmenjujejo v smeri urinega kazalca

- Efektivne vrednosti:

$$\underline{U}_1 = U_f e^{j\frac{\pi}{2}} = U_f e^{j90^0}$$
$$\underline{U}_2 = U_f e^{j\left(\frac{\pi}{2}-\frac{2\pi}{3}\right)} = U_f e^{-j\frac{\pi}{6}} = U_f e^{-j30^0}$$
$$\underline{U}_3 = U_f e^{j\left(\frac{\pi}{2}+\frac{2\pi}{3}\right)} = U_f e^{-j150^0}$$



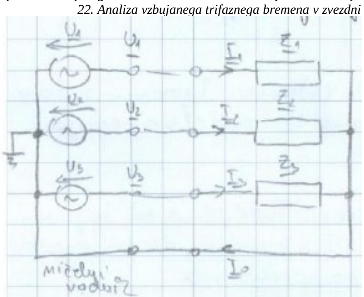
- Medfazne napetosti:

$$U_{mf} = \sqrt{3} U_f$$

21. Prednosti trifaznega sistema (pri prenosu energije, vrtilno magnetno polje)

Lažji prenos energije na večje oddaljenosti.
Zmanjšanje materiala - en vodnik lahko uporabimo skupno (povratni ali ničelni vodnik)
Asinhroni stroji delujejo na principu kratko sklenjene vrtljive tuljave (zanke) v vrtilnem magnetnem polju. V kratko sklenjeni tuljavici se pod vplivom časovne spremembe fluksa inducira napetost, ki požene t.i. kratkostični tok v tuljavi. Ta tok povzroča lastno polje tuljave. Vemo, da na vodnike s tokom deluje magnetna sila in navor. Na tuljavico torej deluje navor, ki zavrti zanko. Ker magnetni moment nastaja pod vplivom toka v zanki, ta je pa posledica inducirane napetosti v tuljavi (ki zaostaja za tokom, ki tvori vrtilno magnetno polje), se vrteča tuljavica vrti počasneje kot vrtilno magnetno polje. Temu rečemo asinhrono ali nesočasno vrtenje (motorji, lahko tudi generatorji).
Poleg asinhronih motorjev poznamo tudi **sinhrone motorje**. Pri teh je na rotorju trajni magnet ali pa ima dodatno navitje, ki je napajano z enosmernim tokom (elektromagnet). Tak rotor se vrti sinhrono z vrtilnim magnetnim poljem. Ti motorji se ne morejo vzbuditi sami, zato imajo na rotorju dve navitji, eno kratkostično, ki je potrebno pri zagonu in eno navitje, ki ga napajamo z enosmernim tokom. Ko vklopimo ta tok, potegne rotor v sinhronizem z »zunanjim« vrtilnim poljem.

22. Analiza vzbujanega trifaznega bremena v zvezdni vezavi z nevtralnim vodnikom



Vsako od bremen je priključeno na eno od faznih napetosti.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1} = \underline{U}_1 \underline{Y}_1$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_2} = \underline{U}_2 \underline{Y}_2$$

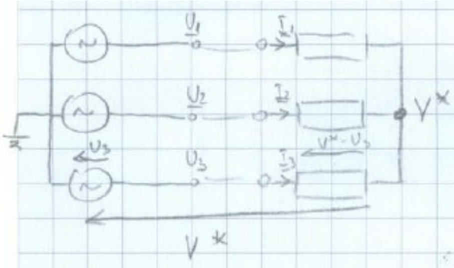
$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_3}{\underline{Z}_3} = \underline{U}_3 \underline{Y}_3$$

Vsota teh tokov je tok v ničelnem vodniku $\underline{I}_0 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3$

Moč bremena je enaka vsoti moči posameznih bremen $\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3$

$$\underline{S}_1 = \underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^* = I_1^2 \underline{Z}_1 = U_1^2 \underline{Y}_1^*$$

23. Potencial zvezdišča



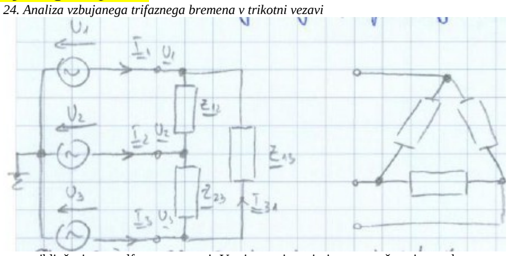
Potencial zvezdišča: Razmere na bremenu vezanem v trikot brez ničelnega vodnika lahko analiziramo s poljubno metodo analize vezij. Najpreprosteje kar z metodo spojiščnih potencialov. En potencial ozemljimo, običajno tistega na strani spojišča generatorjev, potencial drugega pa določimo iz pogoja, da mora biti vsota vseh faznih tokov enaka nič:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$$

Temu potencialu rečemo **potencial zvezdišča**. Če imamo priključen ničelni vodnik, potem je ta potencial enak nič:

$$\underline{V}^* = \frac{\underline{U}_1 \underline{Y}_1 + \underline{U}_2 \underline{Y}_2 + \underline{U}_3 \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3}$$

24. Analiza vzbujanega trifaznega bremena v trikotni vezavi



Elementi bremena so priključeni na medfazne napetosti. V tej vezavi torej nimamo možnosti uporabe ničelnega vodnika. Napetosti na posameznih elementih bremena so za koren iz 3 večji od faznih napetosti: $U_{mf} = \sqrt{3} U_f$

$$\underline{I}_{12} = \frac{\underline{U}_{12}}{\underline{Z}_{12}}, \quad \underline{I}_{23} = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_{23}}, \quad \underline{I}_{31} = \frac{\underline{U}_{31}}{\underline{Z}_{31}}$$ posamezne impedance

Fazni toki pa so razlike teh tokov, npr:

$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31}$, itd.

Za simetrično breme ugotovimo, da je trenutna moč konstantna!

$$p(t) = \frac{3}{2} UI \cos(\beta)$$

V primeru simetričnega bremena bodo bremenski toki zaostajali ali prehitevali fazne ali medfazne napetosti za isti fazni kot.

25. Prehodni pojav (fizikalno ozadje, metode reševanja, začetno in končno stanje)

Veljata Kirchoffova zakona in osnovne zveze:

UPOR: $u(t) = R \cdot i(t) \quad \Leftrightarrow \quad i(t) = G \cdot u(t)$

KONDENZATOR: $u(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t) + u_{C0} \quad \Leftrightarrow \quad i(t) = C\frac{du(t)}{dt}$

TULJAVA: $u(t) = L\frac{di(t)}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad i(t) = \frac{1}{L}\int_0^t u(t)dt + i_{L0}$

Zapišemo enačbe vezja po preklopu z uporabo Kirchoffovih zakonov. Tako tvorimo sistem (ene ali več) diferencialnih enačb, ki jih je potrebno rešiti. Potrebujemo še začetne pogoje - stanje na elementih vezja tik po preklopu.

Začetni pogoji: Napetost na kondenzatorju je integral toka skozi kondenzator. Tudi, če se tok hipoma spremeni, se lahko napetost spremeni le postopoma, zvezno. To pomeni, da bo napetost na kondenzatorju tik pred spremembo enaka napetosti tik po spremembi.

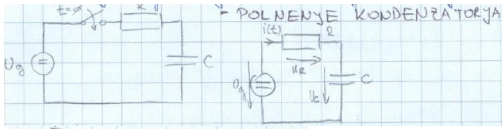
$$u_C(0^+) = u_C(0^-)$$

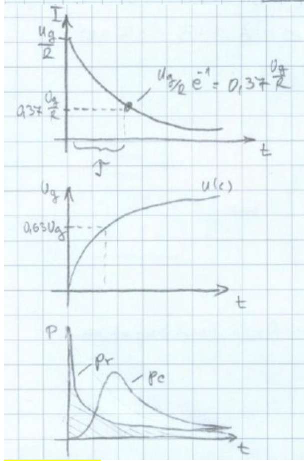
Tok skozi kondenzator se lahko spremeni hipoma. Pri tuljavi se ne more hipoma spremeniti tok skozi tuljavo (lahko pa se napetost).

$$i_L(0^+) = i_L(0^-)$$

26. Polnjenje in praznjenje kondenzatorja ali tuljave

POLNJENJE KOND.:





$\tau = RC$ tau – časovna konst.

$$i(t) = \frac{U_g}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$ tok na kond.

$$u_C(t) = U_g\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$ napetost na kond.

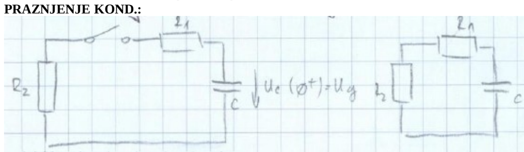
Moč:

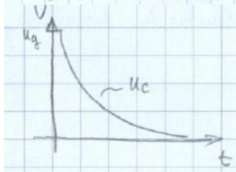
$$p_C(t) = i_C \cdot u_C = Cu\frac{du}{dt}$$

Energija:

$$W_C(t) = C\frac{u_C^2}{2} = \frac{CU_g^2}{2}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)^2$$

PRAZNJENJE KOND.:

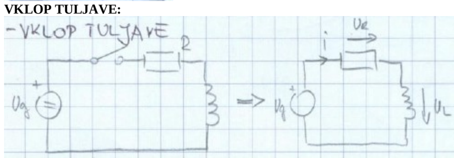


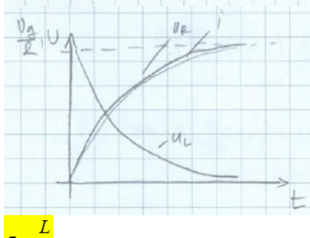


$Ae^{-\frac{t}{\tau}}$ tok i(t)

$$\boxed{U_C = U_g e^{-t/\tau}}$$

VKLOP TULJAVE:





$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$\boxed{i_L(t \Rightarrow \infty) = \frac{U_g}{R}}$$