

9 USMERNIŠKI TRANSFORMATOR

Usmerniški transformator ima dve osnovni nalogi:

- galvansko ločitev in
- prilagoditev napetostnih nivojev enosmernega in izmeničnega sistema.

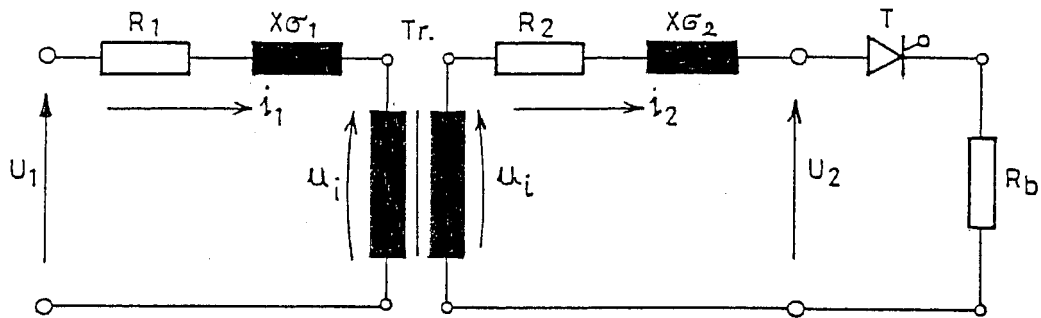
Pri dimenzioniranju navitja transformatorja moramo upoštevati dejstvo, da srednja vrednost enosmernega toka, ki je značilna veličina enosmerne strani ni identična efektivni vrednosti toka, za katerega mora biti dimenzionirano navitje transformatorja. Upoštevati moramo torej glajenja enosmernega toka ter vezavo usmerniškega transformatorja.

Dimenzioniranje železnega jedra je podrejeno pritisnjeni napetosti, ki je običajno sinusne oblike, če smo na javnem omrežju. Postopek je podoben dimenzioniranju energetskih transformatorjev. Transformatorje za visokofrekvenčne DC/AC pretvornike bomo posebej obravnavali.

Na tem mestu želimo posebej razsvetliti problem enosmerne predmagnetizacije. Značilen je za nekatere enohodne usmerniške vezave, pojavi pa se lahko tudi pri defektnih kot n.pr. izpad posameznih faz ali varovalk.

9.1 Enofazno enohodno vezje

Na sliki 9.1 je prikazano vezje takega enostavnega usmernika. Transformator je opremljen z elementi nadomestne sheme, ki nam bodo v pomoč pri razlagi enosmerne predmagnetizacije, sam T_r na sliki pa si predstavljamo kot idealen s prestavnim razmerjem 1 : 1. Da nam ne bo istočasno treba razmišljati še o vklopnem problemu transformatorja, smo kot usmerniški element uporabili tiristor.



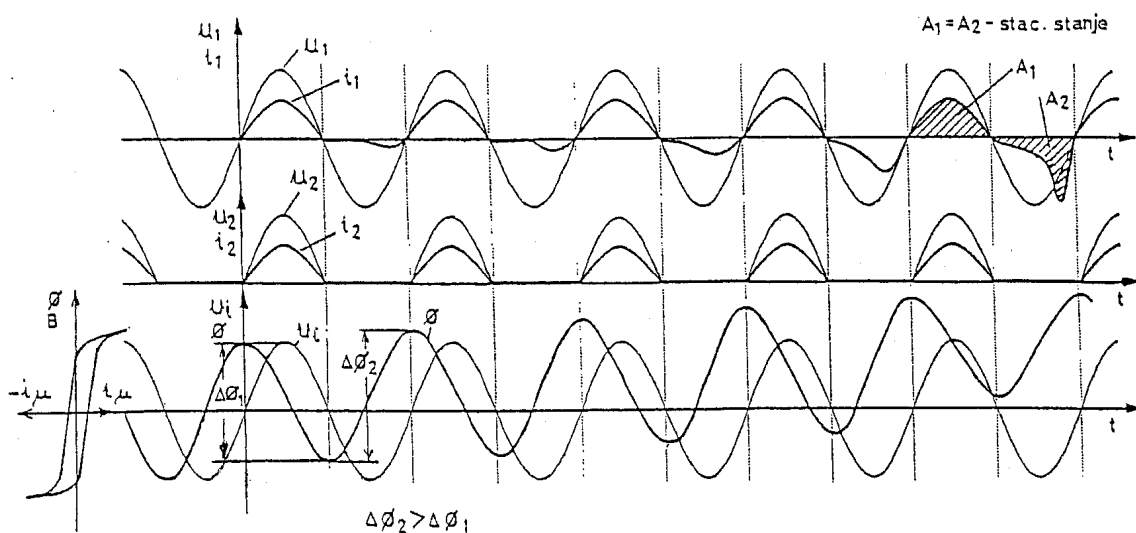
Slika 9.1: Enofazno enohodno vezje

Vežje je priključeno na omrežje, tiristor je izklopljen, tako da je v praznem teku v stacionarnem stanju. Razmere v transformatorju so pogojene s pritisnjeno omrežno napetostjo:

$$U_{0m} = U_{\max} \cdot \sin(\omega t)$$

V železnem jedru se vzbudi magnetno polje takšne amplitude in časovnega poteka, kot je potrebno, da se v primarnem navitju inducira napetost, ki drži ravnotežje pritisnjeni napetosti.

$$\phi = \phi_{\max} \cdot \cos(\omega t)$$



Slika 9.2: Prehod transformatorja v nasičenje

V stacionarnem stanju v praznem teku je magnetno jedro magneteno simetrično v obeh smereh pod magnetnim nasičenjem. Razmere so prikazane v prvi periodi na sliki 9.2. Na začetku druge periode smo vklopili tiristor, kar ima za posledico tok na sekundarni strani $I_2 = U_2/R_2$ (glej sliko 9.2).

Magnetenje I_2N_2 se v tej delovni polperiodi, ko prevaja tiristor, kompenzira z I_1N_1 na primarni strani. Padec napetosti zaradi I_1 na serijskih upornostih primarnega navitja $\Delta U_1 = I_1(R_1 + jX_{\sigma 1})$ pa pomeni za toliko manjšo potrebno inducirano protinapetost in zato tudi manjšo potrebno spremembo $\Delta \Phi$ v tej polperiodi. Naslednja polperioda je podobna kot v praznem teku. Inducirana protinapetost je zopet enaka kot v praznem teku, temu primerno pa je tudi sprememba magnetnega polja $\Delta \Phi$. V polperiodi, ko prevaja tiristor, je sprememba magnetnega polja manjša, kot pa v polperiodi, ko je tiristor polariziran v reverzni smeri in na sekundarni strani ni toka. Opisan proces pomeni, da jedro transformatorja ni več simetrično magneteno in počasi prehaja v eno od obeh nasičenih stanj na magnetilni krivulji. Proti nasičenju leze v tisti polperiodi, ko na sekundarni strani ni toka. V tej polperiodi prične naraščati magnetilni tok in ta proces lezenja v nasičenje traja vse dotlej, dokler ni tok enak toku I_1 v delavni polperiodi. (Temu pravimo tudi »izmenični pogoj«). Takrat imamo zaradi enakih padcev napetosti na primarni strani v obeh polperiodah tudi enaki inducirani protinapetosti in enaki spremembi magnetnih polj. To je stacionarno stanje pri nekem bremenskem toku na sekundarni strani.

9.2 Trifazna enohodna vezja

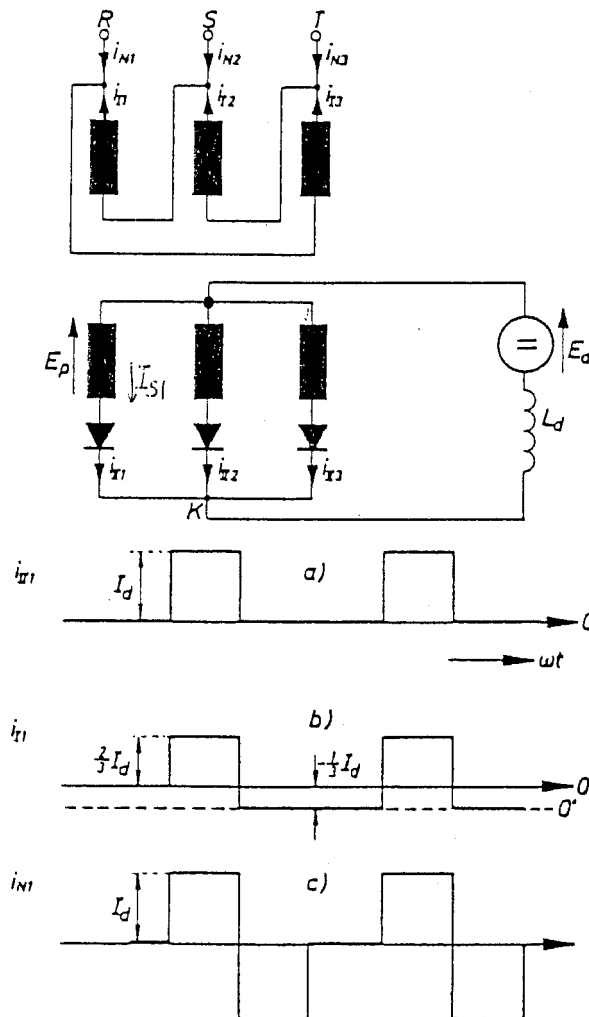
Tudi pri trifaznih enohodnih vezjavah moramo biti previdni. Enofazno enohodno vezje je sprejemljivo le za zelo nezahtevne porabnike majhnih moči (nekaj 10 W). Tri- in večfazne enohodne vezjave pa so zanimive zlasti za nizkonapetostne enosmerne porabnike, koder padec napetosti na ventilu že pomeni znaten del izhodne napetosti. Npr. za galvanski usmernik z izhodno napetostjo 12 V pomeni padec napetosti 1 V na diodi več kot 8% slabši izkoristek. Dvohodna vezja za tako nizke napetosti niso zanimiva.

Kot smo pri enofazni enohodni vezjavi ugotovili, lahko teče v primarnem navitju le čisti izmenični tok, kar sledi iz izmeničnega pogoja. To je tok, ki je v eni polperiodi protiutež enosmernemu toku na sekundarni strani, v drugi polperiodi pa magnetilni tok, ker je jedro temu primerno zasičeno.

Pri dvofaznem enohodnem vezju, ki ga imenujemo tudi enofazno vezje s srednjim odcepom na transformatorju, je izmenični pogoj na primarni strani izpolnjen. Tok v eni polperiodi na primarni strani kompenzira amperne ovoje enega sekundarnega navitja, tok v drugi polperiodi pa drugega sekundarnega navitja.

9.3 Trifazno vezje Dy

Trifazno enohodno vezje trikot zvezda je podano na sliki 9.3. Transformator je običajne tritebrne izvedbe. Če bi bil transformator na ameriški način sestavljen iz treh enofaznih transformatorjev, potem bi bil vsak v podobnem režimu, kot transformator v enofaznem enohodnem vezju. Razlika je le v tem, da tok, ki drži ravnotežje enosmernemu toku sekundarne strani, teče na primarni strani le $1/3$ periode. Njegova amplituda je pri prestavnem razmerju $1 : 1$ enaka I_d . Naslednji $2/3$ periode mora priteči iz omrežja tok, ki zagotavlja izmenični pogoj. Ob predpostavki, da je tok gladek, je njegova amplituda enaka $1/2I_d$ in je čisti magnetilni tok.



Slika 9.3: Trifazno vezje Dy

Če imamo trifestbni transformator, je izmenični pogoj dosežen na drugačen način že pri manjših vrednostih tokov.

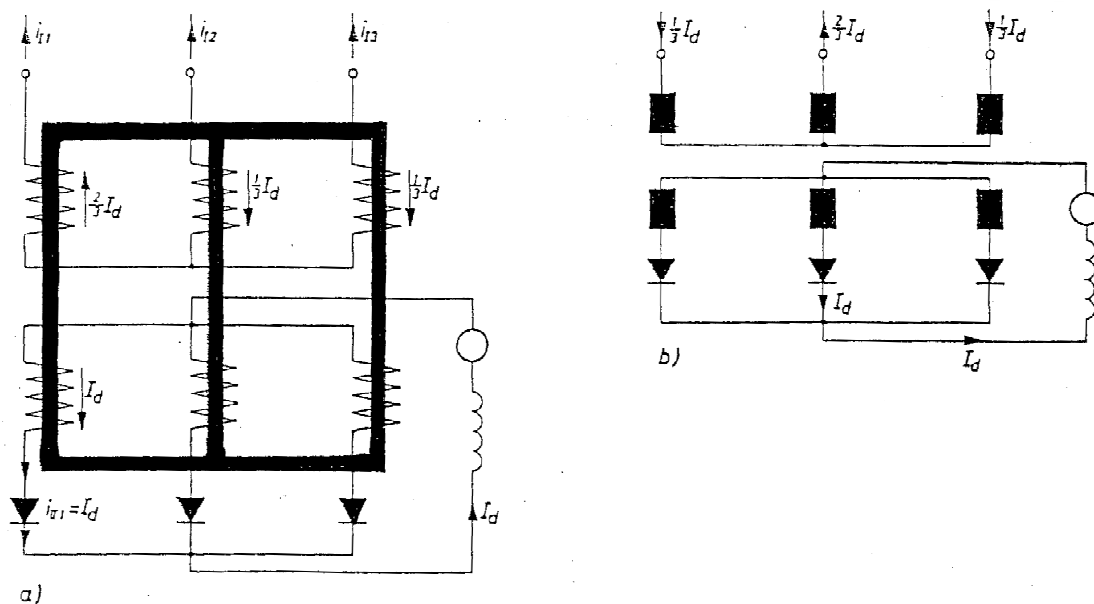
V časovnem intervalu, ko teče enosmerni tok v I_{S1} , mora primarna stran zagotoviti enakovredno magnetenje v levem transformatorskem oknu. Če mora biti razmerje amplitud primarnih tokov v enem ($1/3$ periode) in drugem ($2/3$ periode) časovnem intervalu v razmerju 2:1, potem je to ravnotežje zagotovljeno že pri

$$I_{p1} = \frac{2}{3} I_d, \quad I_{p2} = -1/3 I_d.$$

Vsota obeh magnetenj je enaka magnetenju na sekundarni strani.

Izmenični pogoj na primarni strani je izpolnjen, magnetno ravnotežje v levem oknu pa je tudi zagotovljeno pri tokovih, kot je označeno na sliki. V naslednjem časovnem intervalu čez $T/3$ se amplitude in smeri tokov zamenjajo. Vidimo, da je v vsaki tretjini periode en steber odvečno magneten z $I_d/3$ v našem primeru vedno navzdol. To predstavlja predmagnetizacijo treh stebrov, ki se zaključuje skozi transformatorski kotel in skozi zrak. To vezje za resne aplikacije ni uporabno.

9.4 Trifazno vezje zvezda – zvezda



Slika 9.4: Trifazno vezje Yy

Če je primar vezan v zvezdo, potem v vsakem trenutku veljajo pogoji ravnotežja tokov v zvezdišču:

$$\begin{aligned} I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} &= 0 \\ I_{p1} &= -I_{p2} - I_{p3} \end{aligned}$$

Prav tako mora veljati tudi pogoj magnetnega ravnotežja za obe okni železnega jedra.

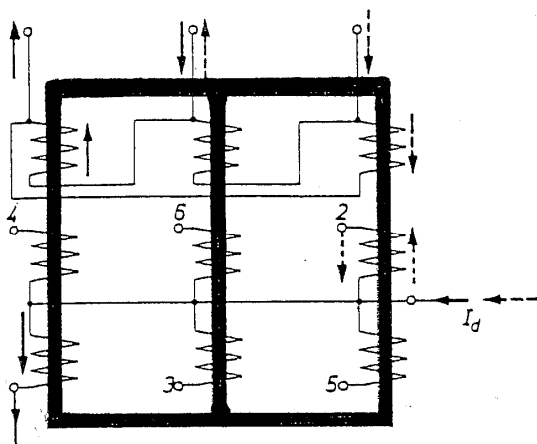
$$\begin{aligned} N_1 I_{p2} - N_1 I_{p3} &= 0 && \text{- desno okno} \\ N_1 I_{p1} - N_1 I_{p2} &= N_2 I_d && \text{- levo okno} \end{aligned}$$

Za $N_1 = N_2$ dobimo: $I_{p2} = I_{p3}$, $I_{p1} = 2/3 I_d$, $I_{p2} = I_{p3} = -1/3 I_d$

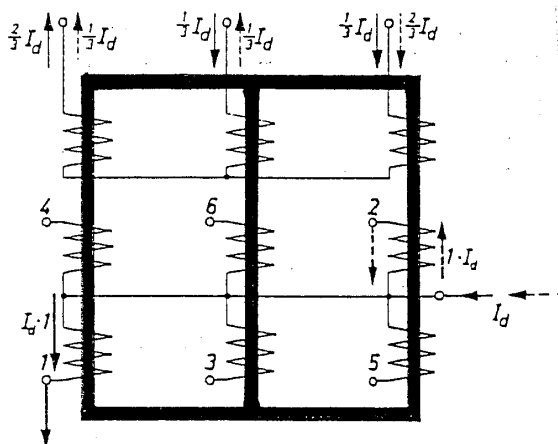
Trenutna vrednost tokov $1/3$ periode kasneje je na sliki zraven. Amplitude in vrednosti se med fazami zamenjajo. Tudi tukaj vidimo stalno prisotno enosmerno predmagnetizacijo enega od treh stebrov. Tudi to vezje, tako kot prejšnje ni uporabno.

9.5 Šestfazno vezje s primarjem v trikotu

Vežje je na sliki 9.5. Sekundarni tok v navitju 1 zahteva pri $N_1 = N_2$ v primarju na istem stebri $+I_d$, 180° kasneje pa sekundarni tok v navitju 4 v primarju tok $-I_d$. Navitja primarja so na medfazni napetosti in jim je z bremenskim tokom v obeh polperiodah izpolnjen izmenični pogoj.



Slika 9.5: Transformator v Dz vezavi



Slika 9.6: Transformator v Yz vezavi

9.6 Šestfazno vezje s primarjem v zvezdi

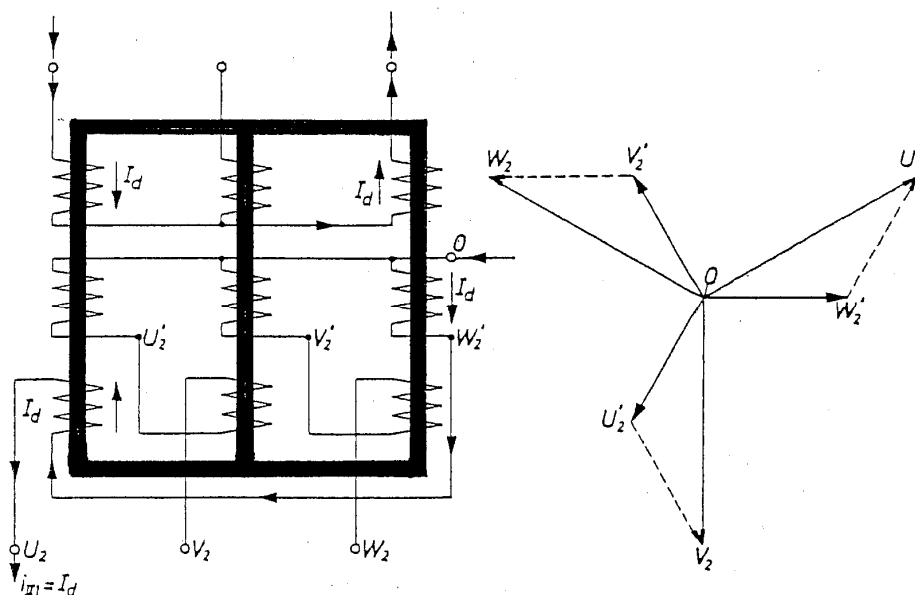
Vezje kaže slika 9.6. Magnetno ravnotežje v levem oknu že zagotavljajo ampelni ovoji $I_d N_2$ ter ampelni ovoji prve in druge faze na primarni strani. Tok tretje faze, ki sledi iz Kirchhoffovega zakona za primarno stran, pa dodatno magneti tretji steber. To magnetenje, ki se v vsakem časovnem intervalu pojavi na drugem stebru, ima pri prevajajočih ventilih 1, 3 in 5 smer navzdol, ko pa prevajajo ventili 2, 4 in 6, pa smer navzgor. Frekvenca tega polja je trikratna osnovna frekvenca, tok ki ga vzbuja pa mnogo večji od magnetilnega.

To ima za posledico:

- Močno stresano magnetno polje, ki ima močan vpliv na stresane reaktance.
- To izmenično magnetno polje ima trikratno frekvenco omrežja in predstavlja neko sofazno magnetenje vseh treh stebrov, ki se mora zaključiti preko zraka in transformatorskega kotla ali pa preko ostalih konstrukcijskih delov. Posledica so dodatne izgube v jedru in kotlu.

Zaradi tega je tudi to vezje neuporabno.

9.7 Trifazno cikcak vezje Yz (Dz)



Slika 9.7: Trifazno vezje s sekundarjem v dvojni zvezdi

Pri tem vezju, ki je na sliki 9.7, je vedno v igri par sekundarnih navitij z ampernimi ovoji I_2N_2 , ki jima drži magnetno ravnotežje par primarnih navitij z ampernimi ovoji I_1N_1 in sicer simetrično v obeh smereh izmenične napetosti na primarni strani. Za velike moči je to vezje najprimernejše.

9	USMERNIŠKI TRANSFORMATOR.....	140
9.1	Enofazno enohodno vezje.....	140
9.2	Trifazna enohodna vezja	142
9.3	Trifazno vezje Dy.....	143
9.4	Trifazno vezje zvezda – zvezda.....	144
9.5	Šestfazno vezje s primarjem v trikotu	145
9.6	Šestfazno vezje s primarjem v zvezdi.....	146
9.7	Trifazno cikcak vezje Yz (Dz)	146