



TRANSFORMATORI

OSNOVI ELEKTROENERGETIKE

Dr Ivana Vlajić-Naumovska

Sadržaj

2

- Uopšteno o transformatorima
- Uloga transformatora
- Naprezanja kod transformatora
- Osnovni elementi konstrukcije transformatora
- Princip rada, osnovne jednacine
- Ekvivalentna šema transformatora
- Gubici i stepen iskorišćenja transformatora
- Trofazni transformatori
- Glavne karakteristike pojedinih sprega trofaznih transformatora
- Paralelni rad transformatora
- Specijalni transformatori

Transformator

3

- Transformator je statički elektrotehnički aparat koji, pomoću elektromagnetne indukcije, pretvara jedan sistem naizmeničnih struja u jedan ili više sistema naizmeničnih struja iste učestanosti i obično različitih vrednosti struja i napona.
- Uloga transformatora u elektroenergetskom sistemu je veoma značajna jer on omogućuje ekonomičnu, pouzdanu i bezbednu proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije pri najprikladnijim naponskim nivoima.
- Dakle, njegovom primenom se, uz veoma male gubitke energije, rešavaju problemi raznih naponskih nivoa i međusobne izolovanosti kola koje se nalaze na različitim naponskim nivoima. Ovde će, pre svega, biti reči o *energetskim transformatorima*.

Trofazni distributivni transformator

4



Naprezanja kod transformatora

5

- Transformator treba da bude projektovan i izrađen tako da izdrži moguća naprezanja kojima je izložen tokom svog životnog veka.
- Naprezanja u osnovi možemo da svrstamo u tri glavne grupe: električna, mehanička i toplotna.
- Kod električnih naprezanja pre svega treba obratiti pažnju na prenapone koji se javljaju kao posledica prekidanja u kolu, atmosferskih pražnjenja, lukova prema zemlji, kratkih spojeva, kao i ispitnih napona.
- Pojave praćene velikim strujama u odnosu na naznačene (kratki spojevi u mreži, kao i uključenje transformatora u praznom hodu), opasne su sa stanovišta mehaničkih i toplotnih naprezanja (ova naprezanja su proporcionalna sa kvadratom struje).
- Do povećanih toplotnih naprezanja dolazi i kod preopterećenja transformatora.
- Takođe treba obratiti pažnju i na buku transformatora.

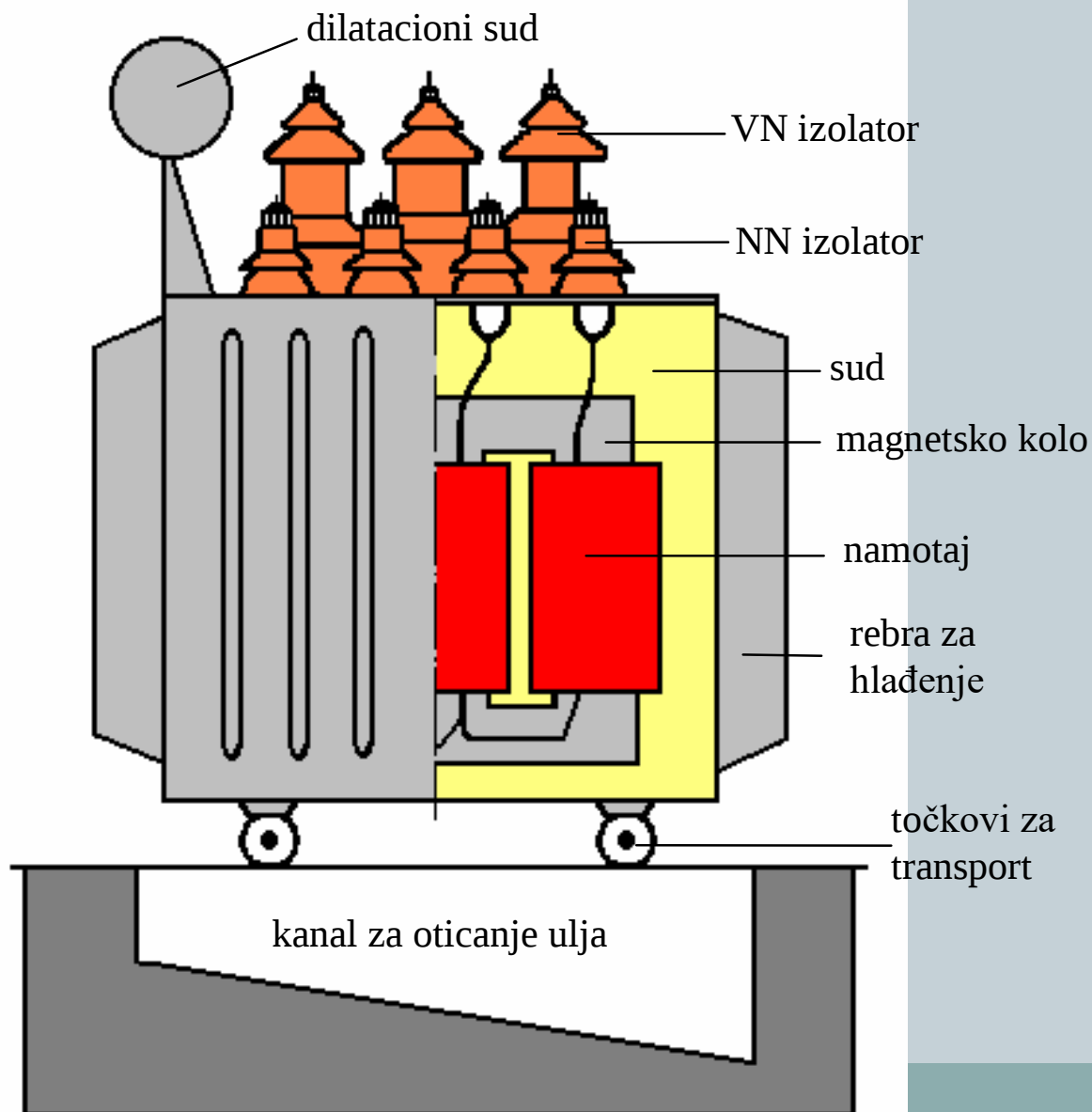
Osnovni elementi konstrukcije transformatora

6

- U pogledu konstrukcije, transformator se sastoji iz sledećih osnovnih delova:
 - magnetskog kola,
 - namotaja,
 - izolacije,
 - transformatorskog suda,
 - pomoćnih delova i pribora.

Osnovni elementi konstrukcije transformatora

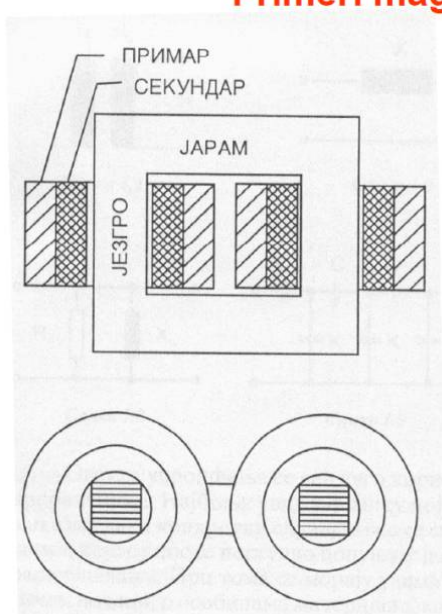
(7)



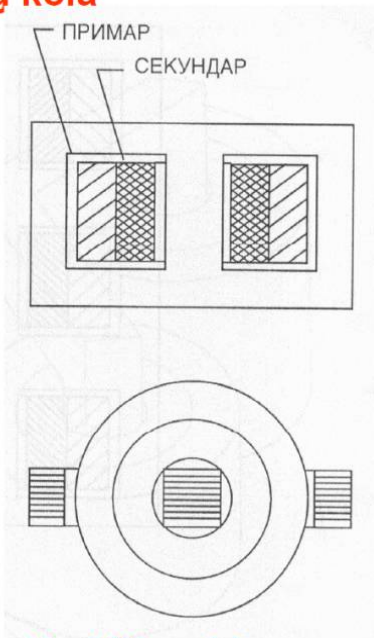
Osnovni elementi konstrukcije transformatora

8

Primeri magnetnog kola

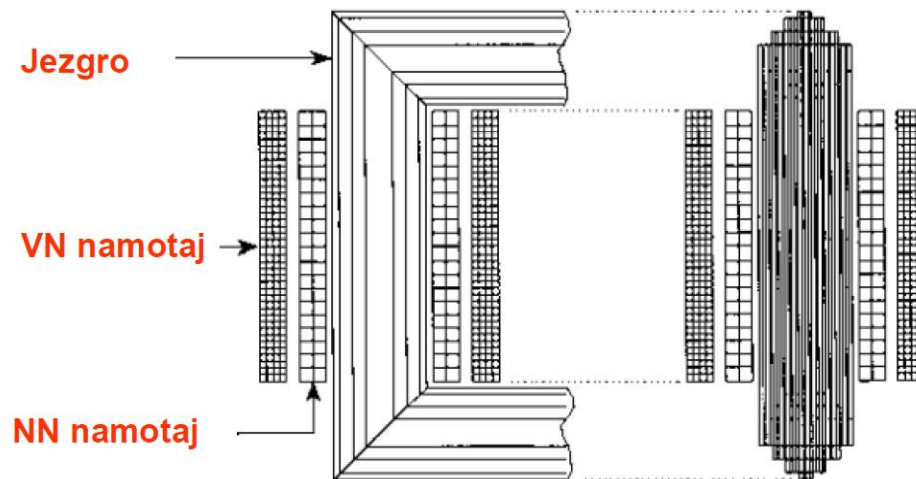


Sa jezgrima



U obliku oklopa

TRANSFORMATORI - delovi



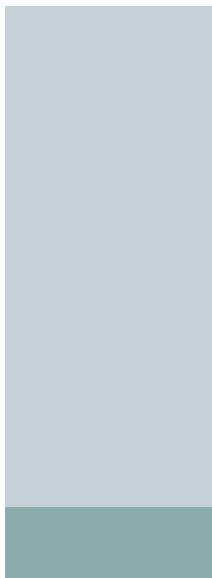
Međusobni položaj namotaja i magnetnog kola.

Osnovni elementi konstrukcije transformatora



Načini slaganja limova u feromagnetnom jezgru. "Pravo" slaganje

Načini slaganja limova u feromagnetnom jezgru. "Koso" slaganje



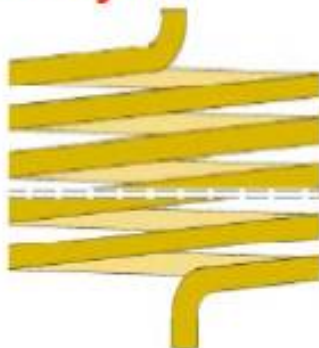
Osnovni elementi konstrukcije transformatora

10

Vrste namotaja



1. Cilindrični



2. Spiralni



4. Folijski



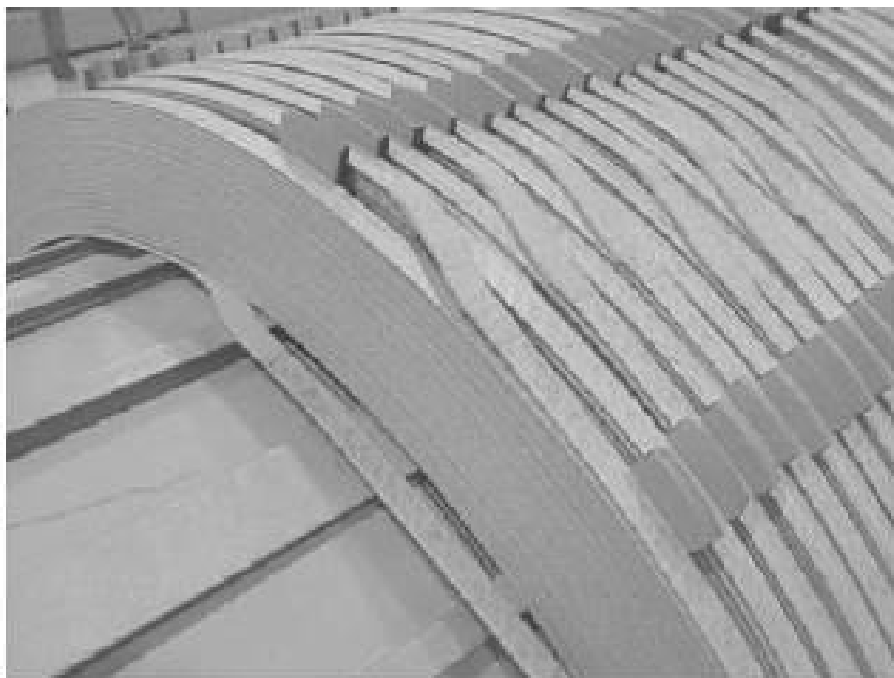
3. Disk namotaj

Izolacija provodnika je najčešće papir (za uljni TR) ili lak (za uljni do 35kV, suvi).

Osnovni elementi konstrukcije transformatora

11

Disk namotaj



Spiralni namotaj



Osnovni elementi konstrukcije transformatora

12

- *Magnetsko kolo* se gradi od visokokvalitetnih hladnovaljanih orijentisanih transformatorskih limova.
- Da bi se smanjila struja magnećenja (pobudna struja) teži se uzimanju što kvalitetnijeg lima, sa velikom relativnom permeabilnošću, i primenjuju se odgovarajuća konstrukciona i tehnološka rešenja u izradi magnetskog kola.
- Radi smanjenja gubitaka usled vihornih (vrtložnih) struja, koriste se međusobno izolovani limovi male debljine (0,30, 0,27 i 0,23mm).
- Osnovni fizički elementi magnetskog kola su: stubovi (jezgra), oko kojih su smešteni namotaji i jarmovi (donji i gornji).

Osnovni elementi konstrukcije transformatora

13

- *Stubovi* imaju stepeničasti oblik i popunjavaju se paketima limova odgovarajuće širine, kako bi ispuna prostora opisanog kruga bilo što bolja.
- Kod transformatora velikih snaga, u jezgra se stavljaju kanali (podužni, širine 6mm) i prema potrebi jedan poprečni (širine 10-15mm), kako bi kroz njih moglo da cirkuliše ulje i hladi magnetsko kolo.
- Magnetsko kolo se priteže odgovarajućim steznim sistemom kako bi se dobila što bolja mehanička kompaktnost.

Osnovni elementi konstrukcije transformatora

14

- *Namotaji* se prave od okruglog, profilnog ili trakastog provodnika od bakra ili aluminijuma, materijala koji imaju mali električni otpor.
- Namotaj koji se priključuje na napajanje se naziva *primar*, dok se namotaj koji je spojen na prijemnik naziva *sekundar*.
- Osnovni oblici namotaja prema načinu izrade su: spiralni, slojeviti i presloženi.
- Gustine struje za namotaje uljnih transformatora su 2-4,5 A/mm².

Osnovni elementi konstrukcije transformatora

15

- *Izolacija* predstavlja kombinaciju celuloze (papir, prešpan) i izolacionog ulja u slučaju *uljnih* transformatora, odnosno čvrste izolacije (staklene tkanine impregnirane epoksidnim, silikonskim ili drugim sintetičkim smolama) u kombinaciji sa vazduhom kod *suvih* transformatora (do 36kV). Izolaciono (transformatorsko) ulje, osim poboljšanja izolacionih svojstava, obezbeđuje i hlađenje transformatora, jer zbog svog velikog specifičnog toplotnog kapaciteta mnogo bolje odvodi toplotu sa magnetskog kola i namotaja na sud i rashladni sistem.
- Međutim, treba imati u vidu da je ulje zapaljivo i da lako gori. Izolacija provodnika je najčešće lak ili papir.

Osnovni elementi konstrukcije transformatora

16

- *Transformatorski sud* postoji kod uljnih transformatora i izrađuje se od kvalitetnog čelika sa ojačanjima. Oblik suda zavisi od načina hlađenja, pa bočne strane mogu biti glatke, valovite ili sa cevima za hlađenje.
- *Pomoćni delovi i pribor transformatora*: natpisna pločica, provodni izolatori za povezivanje sa mrežom, dilatacioni sud (konzervator), regulator napona, priključak za uzemljenje, džep termometra pokazivač nivoa ulja, slavina za ispuštanje ulja, itd.

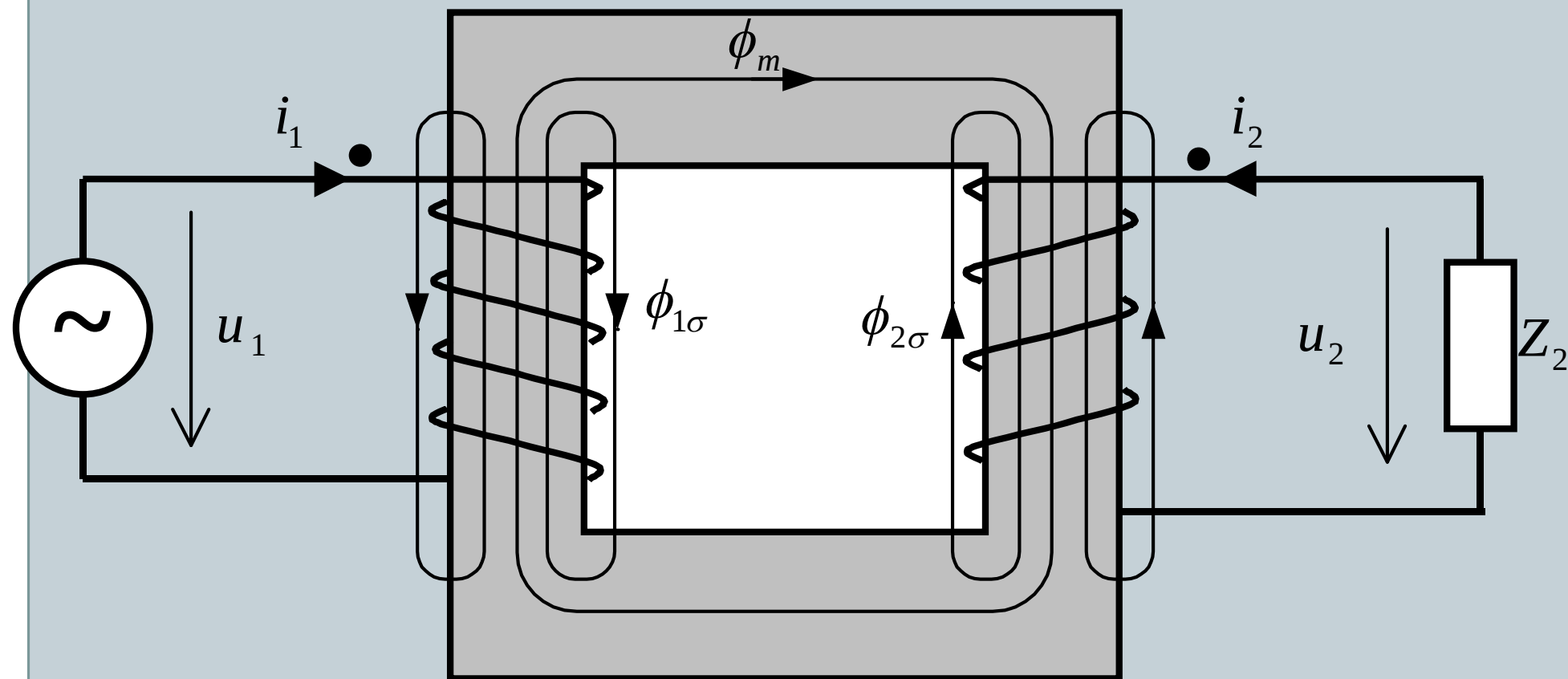
Princip rada, osnovne jednačine

17

- Na primarni namotaj transformatora dovodi se električna energija u obliku naizmeničnog napona, koja u magnetno spregnutom sekundarnom namotaju indukuje odgovarajuću naizmeničnu elektromotornu silu, odnosno struju, koja se koristi za napajanje prijemnika, prikazanog impedansom Z_2 .
- Dakle, primarni namotaj se ponaša kao prijemnik, dok se sekundarni namotaj ponaša kao izvor električne energije.

Princip rada, osnovne jednačine

18



Princip rada, osnovne jednačine

19

- Fluksni obuhvati (ukupni magnetni fluksovi) primarnog i sekundarnog namotaja, ψ_1 i ψ_2 , su:

$$\psi_1 = N_1 \phi_1 = N_1 \phi_{1\sigma} + N_1 \phi_m = L_{1\sigma} i_1 + N_1 \phi_m,$$

$$\psi_2 = N_2 \phi_2 = N_2 \phi_{2\sigma} + N_2 \phi_m = L_{2\sigma} i_2 + N_2 \phi_m,$$

gde je:

- N_1 i N_2 broj navojaka primarnog i sekundarnog namotaja, respektivno,
- ϕ_1 i ϕ_2 ukupni magnetni fluks po navojku primarnog i sekundarnog namotaja, respektivno,
- ϕ_{1s} i ϕ_{2s} rasuti magnetni fluks po navojku primarnog i sekundarnog namotaja, respektivno.
- ϕ_m zajednički magnetni fluks po navojku,
- L_{1s} i L_{2s} rasute induktivnosti primarnog i sekundarnog namotaja, respektivno.

Princip rada, osnovne jednačine

20

- Osnovne jednačine naponske ravnoteže:

$$u_1 = R_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} = R_1 i_1 + L_{1\sigma} \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\phi_m}{dt},$$

$$u_2 = R_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} = R_2 i_2 + L_{2\sigma} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\phi_m}{dt},$$

gde je:

- u_1 napon na koji je priključen primarni namotaj,
- u_2 napon na priključcima sekundarnog namotaja,
- R_1 i R_2 aktivne otpornosti primarnog i sekundarnog namotaja, respektivno.

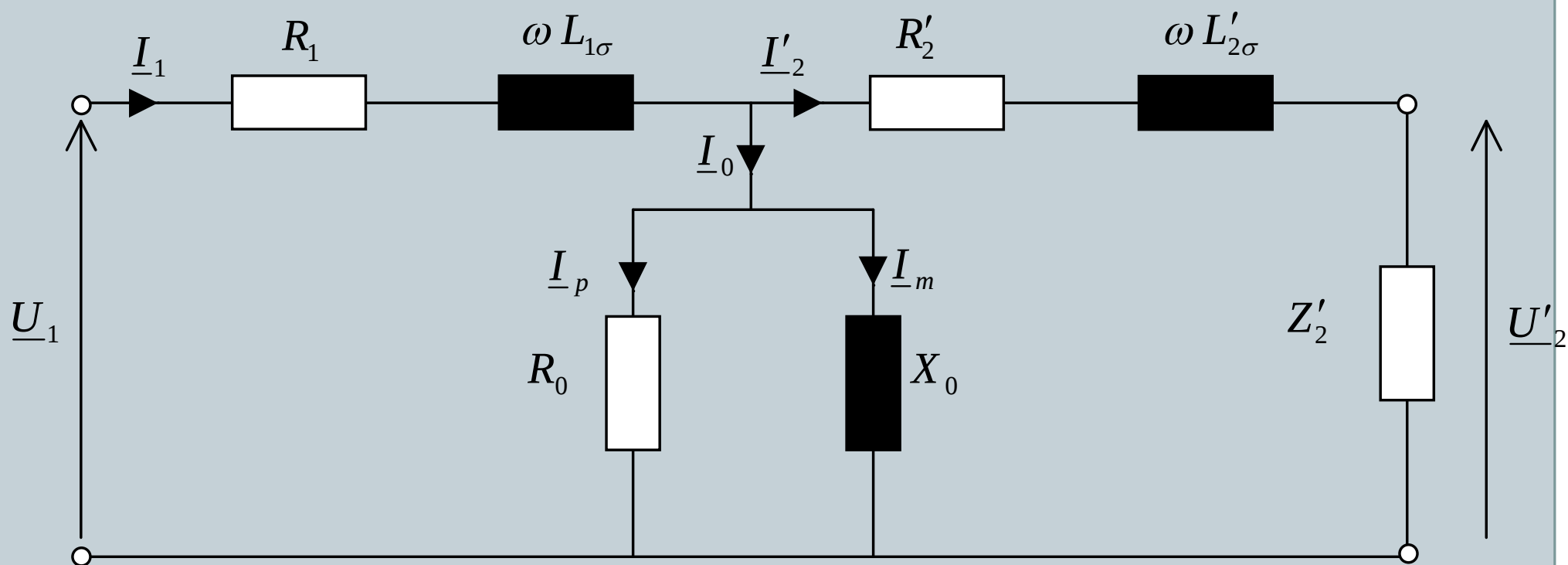
Ekvivalentna šema transformatora

21

- Ekvivalentna šema transformatora predstavlja pojednostavljeni model pomoću kojeg možemo, na posredan način, bez stvarnog opterećenja, da predvidimo ponašanje transformatora u raznim uslovima rada.
- Parametre ekvivalentne šeme određujemo na jednostavan način iz standardnih ispitivanja transformatora u ogledu praznog hoda i kratkog spoja.
- Sve veličine i parametri ekvivalentne šeme su fazne vrednosti, a veličine i parametri sekundara svedeni su na primar (preračunati sa kvadratom odnosa broja navojaka na primar), tako da je npr. $R'_2 = (N_1/N_2)^2 R_2$.

Ekvivalentna šema transformatora

22



Ekvivalentna šema transformatora

23

- Veličine i parametri ekvivalente šeme su:
 - I_0 struja praznog hoda,
 - I_p aktivna komponenta struje praznog hoda,
 - I_m reaktivna komponenta struje praznog hoda (struja magnećenja),
 - R_0 ekvivalentna otpornost u praznom hodu (fiktivna otpornost pomoću koje uzimamo u obzir gubitke u praznom hodu),
 - X_0 reaktansa magnećenja.

Gubici i stepen iskorišćenja transformatora

24

- Pri procesu preobražaja električne energije u transformatoru jedan deo energije se pretvara u toplotu, što sa stanovišta korisnika predstavlja gubitke.
- U odnosu na *gubitke usled magnećenja* ("gubici u gvožđu"), *gubici usled opterećenja* ("gubici u bakru") su značajniji po veličini i posledicama, zato što izolacija provodnika namotaja predstavlja najosetljiviji deo transformatora s obzirom na toplotna naprezanja.
- Toplota proizvedena gubicima zagreva delove transformatora (magnetsko kolo, namotaje, izolaciju, sud) i izaziva porast njihove temperature u odnosu na okolnu sredinu (ambijent).
- Porast temperature, u opštem slučaju, zavisi od veličine i vremenske funkcije opterećenja (trajni rad, ciklični rad i rad u vanrednim uslovima) i načina i efikasnosti hlađenja.
- Sa porastom naznačene snage transformatora, problem zagrevanja postaje sve izraženiji, jer su gubici približno srazmerni sa zapreminom, a odvođenje toplote sa površinom.

Gubici i stepen iskorišćenja transformatora

25

- U cilju određivanja gubitaka i drugih parametara transformatora, sprovode se *ogled praznog hoda* i *ogled kratkog spoja*.
- *Ogled praznog hoda* se prvenstveno sprovodi u cilju određivanja gubitaka u praznom hodu, P_0 , što približno odgovara *gubicima u "gvožđu"*, i *struje praznog hoda*.
- Relativna vrednost struje praznog hoda je oko 1-3% u odnosu na naznačenu struju (kod transformatora velikih snaga i manje od 1%).
- Budući da su parametri poprečne grane obično mnogo veći od parametara uzdužne grane ekvivalentne šeme, prilikom analize ovog ogleda zanemaruju se parametri uzdužne grane.
- Na osnovu rezultata ogleda, mogu se odrediti veličine i parametri poprečne grane ekvivalentne šeme (I_p , I_m , R_0 i X_0).
- Sam ogled se provodi tako da na jedan od namotaja (obično nižeg napona) priključimo naznačeni napon, a priključke drugog namotaja ostavimo otvorenim.

Gubici i stepen iskorišćenja transformatora

26

- *Ogled kratkog spoja* se prvenstveno sprovodi u cilju određivanja gubitaka usled opterećenja, P_k , što približno odgovara *gubicima u "bakru"*, i *napona kratkog spoja*.
- Na osnovu rezultata ogleda mogu se odrediti parametri uzdužne grane ekvivalentne šeme, pri čemu se zanemaruju parametri poprečne grane.
- Sam ogled se sprovodi tako da jedan od namotaja (obično višeg napona), kod kratko spojenih priključaka drugog namotaja, priključimo na napon koji postepeno povećavamo od nule do one vrednosti pri kojoj se uspostavlja naznačena vrednost struje u namotajima.
- Ovu vrednost napona nazivamo *naponom kratkog spoja*, i označavamo sa U_k .

Gubici i stepen iskorišćenja transformatora

27

- Napon kratkog spoja služi za određivanje *pada (promene) napona* u transformatoru usled opterećenja (pomoću tzv. *Kapovog trougla*), *veličine stvarne struje kratkog spoja*, kao i za ispitivanje mogućnosti *paralelnog rada* dvaju ili više transformatora.
- Pad napona predstavlja algebarsku razliku između napona primarnog namotaja U_1 i svedenog napona sekundarnog namotaja U_2' .
- Relativna vrednost napona kratkog spoja, $u_k = U_k / U_n$, kod distributivnih transformatora iznosi 4-6% u odnosu na naznačeni napon.

Gubici i stepen iskorišćenja transformatora

28

- Na osnovu poznavanja gubitaka praznog hoda i gubitaka usled opterećenja određuje se stepen iskorišćenja transformatora:

$$\eta_n = \frac{\text{izlazna snaga}}{\text{ulazna snaga}} = \frac{P_{2n}}{P_{1n}} = \frac{P_{2n}}{P_{2n} + P_{gn}} = \frac{S_n \cos \varphi}{S_n \cos \varphi + P_{0n} + P_{Tn}},$$

➤ gde je S prividna snaga sekundara transformatora, indeks n označava naznačenu vrednost.

- Kod proizvoljnog opterećenja, izraženog pomoću sačinioca b , gde je $b = I_2 / I_{2n}$, stepen iskorišćenja iznosi:

$$\eta(\beta) = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + P_{0n} + \beta^2 P_{Tn}}.$$

Trofazni transformatori

29

- Kod trofaznih transformatora moguća su, u osnovi, dva tehnička rešenja – grupa od tri jednofazna transformatora sa zasebnim magnetskim kolima ili jedan trofazni transformator sa zajedničkim magnetskim kolom.
- Grupa jednofaznih transformatora se obično primenjuje za velike jedinice u Americi (*američka transformacija*) i ima prednost vezanu za transport, održavanje i obezbeđenje rezerve, jer su kvarovi transformatora uobičajeno na jednoj fazi, ali je u osnovi skuplja (oko 15%) jer se ne koristi činjenica da je zbir trenutnih vrednosti uravnoteženih flukseva u sve tri faze jednak nuli i zahteva više prostora.
- Trofazni transformatori sa zajedničkim magnetskim kolom se često primenjuju u Evropi (*evropska transformacija*).

Trofazni transformatori

30



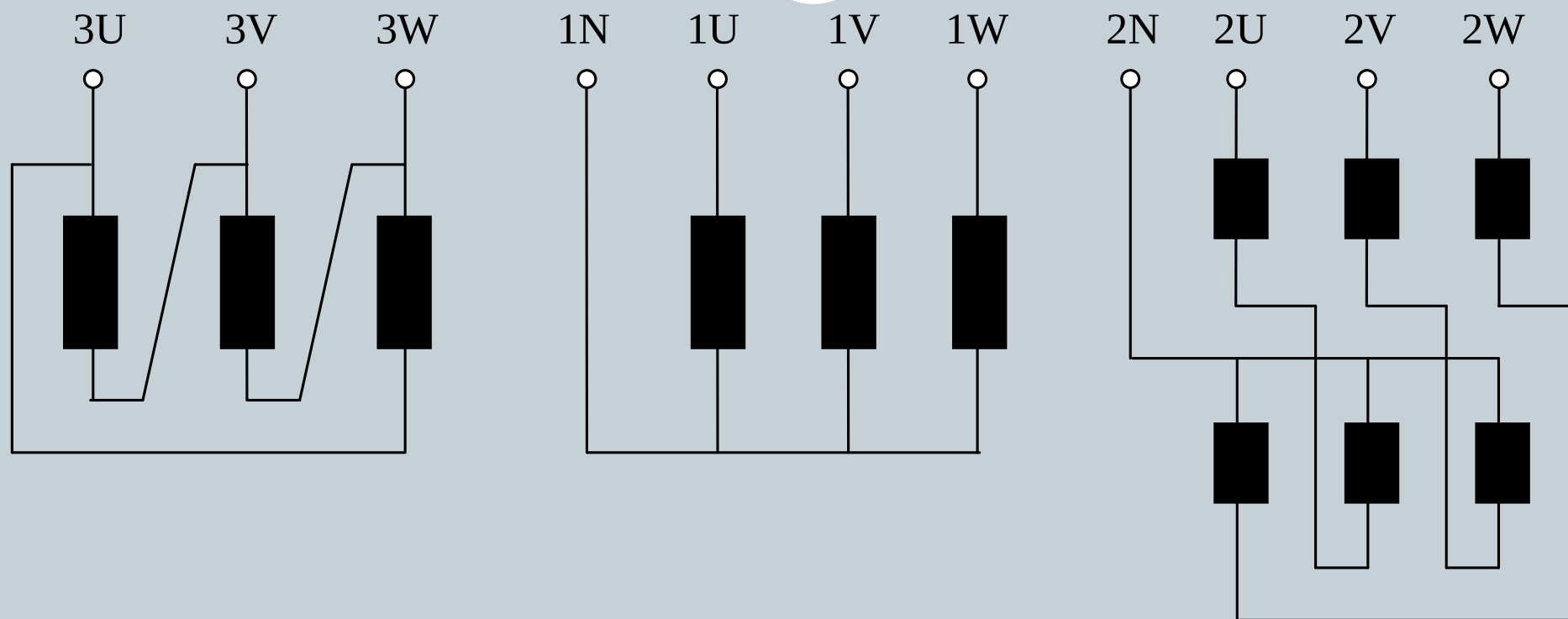
Trofazni transformatori

31

- Namotaji trofaznih transformatora sprežu se u:
 - trougao,
 - zvezdu,
 - slomljenu zvezdu (cik-cak sprega).
- Prema važećim standardima priključne stezaljke, odnosno provodni izolatori označavaju se sa slovnim oznakama U, V, W, N (ranije A, B, C, N).
- Ispred slovne oznake za pojedinu fazu se stavljaju brojčane oznake za označavanje visine napona namotaja: broj "1" za visokonaponski namotaj (VN), "2" za niskonaponski namotaj (NN) kod dvonamotajnih transformatora, odnosno srednjenaponski namotaj (SN) kod tronamotajnih transformatora i "3" za NN namotaj kod tronamotajnih transformatora.

Trofazni transformatori

32



Slika 1 Primeri trofaznih namotaja

- a) NN namotaj spojen u trougao,
- b) VN namotaj spojen u zvezdu i
- c) NN namotaj spojen u slomljenu zvezdu

Trofazni transformatori

33

- Krajevi namotaja označavaju se brojnim oznakama "1" za početak i "2" za kraj (svršetak), i to posle slovne oznake, npr. 1U2 za svršetak VN namotaja prve faze.
- Uz krajeve, potrebno je definisati i smer motanja namotaja oko stuba ("desni" ili "levi").

Glavne karakteristike pojedinih sprega trofaznih transformatora

34

- Glavne karakteristike pojedinih sprega trofaznih transformatora su:
 - *trougao* (oznaka D za VN, odnosno d za NN) – budući da su međufazni i fazni naponi jednaki, ova sprega, u odnosu na spregu zvezda, zahteva veći broj navojaka manjeg preseka (radi $\sqrt{3}$ puta manje struje), uz veće učešće izolacije. Ovo ima za posledicu veću količinu bakra kod visokonaponskih transformatora.
 - *zvezda* (oznaka Y za VN, odnosno y za NN) – fazni napon je $\sqrt{3}$ puta manji od međufaznog (priključenog) napona. Ako je namotaj sekundarni, postoji mogućnost primene dva napona, međufaznog, između krajeva priključaka i faznog napona između jedne faze i neutralne tačke.
 - *slomljena zvezda* (oznaka z) – ova sprega se isključivo primenjuje za NN namotaje. Namotaj pojedine faze sačinjavaju dva redno povezana polunamotaja koji nisu na istom stubu. U odnosu na spregu zvezda, ovaj namotaj zahteva 15,5% više bakra, međutim lako podnosi nesimetrično opterećenje, pa se, iako je skuplji, primenjuje kod distributivnih transformatora manjih snaga.

Glavne karakteristike pojedinih sprega trofaznih transformatora

35

- Kada je izveden i priključak na zvezdište ili neutralnu tačku, oznaci sprege dodaje se i slovo N, odnosno n.
- Sprega Yyn primenjuje se kod distributivnih transformatora manje snage. Prednosti upotrebe ove sprege su manja potrošnja bakra i izolacije u odnosu na z-spregu (sa gledišta proizvođača), odnosno mogućnost raspolaganja sa dva naponska nivoa – linijski napon za elektromotore, a fazni za osvetljenje i jednofazne potrošače (sa gledišta korisnika). Nedostatak ove sprege je znatno odstupanje od normalnih vrednosti kada je opterećenje nesimetrično, što je naročito izraženo kada se primenjuje grupa od tri jednofazna transformatora. Zato se ova sprega isključivo koristi kod trofaznog trostubnog transformatora.

Glavne karakteristike pojedinih sprega trofaznih transformatora

36

- Sprega Yd se takođe upotrebljava u distributivnim mrežama, kada su snage i naponi veći nego u prethodnom slučaju. Ovakvi transformatori se uglavnom koriste za napajanje trofaznih potrošača.
- Sprega Dyn se koristi često, kod elektrana (za povišenje napona), odnosno kod prijemnika (za sniženje napona), u širokom dijapazonu snaga.
- Sprega Yzn ima sve dobre osobine sprege Yyn u pogledu raspoloživosti linijskih i faznih napona, a uticaj nesimetrije je zanemarljivo mali. To je plaćeno oko 15% većim utroškom bakra za namotaje u odnosu na spregu zvezda. Ova sprega je posebno povoljna za napajanje tiristorskih i diodnih ispravljača, jer doprinosi redukciji viših harmonika koji se iz ispravljača prenose u mrežu na koju je priključen primar i koji izazivaju izobličenje napona.

Glavne karakteristike pojedinih sprega trofaznih transformatora

37

- Uz sprege, potrebno je definisati *grupu sprege* (*satni broj*) odnosno *fazni stav* (*pomeraj*) između primarnih i sekundarnih napona istoimenih faza.
- Termin satni broj je uveden zbog analogije sa satom (fazori se obeležavaju kao kazaljke sata), dok fazni stav o kome je reč iznosi $n \cdot 30^\circ$, gde je n ceo broj od 0 do 11.
- Obično se fazor primarnog napona prve faze (U, stara oznaka A) stavlja u položaj 0 (12) sati, bez obzira na njegovu spregu i fizičko postojanje.
- Kod nas su standardizovane sledeće sprege: grupa "0" – primenjuju se sprege Yy0, grupa "5" – primenjuju se sprege Yd5, Dy5 i Yz5.

Paralelni rad transformatora

38

- Paralelni rad dvaju ili više transformatora se ostvaruje spajanjem istoimenih priključaka visokonaponske strane svih transformatora na odgovarajuće faze visokonaponske mreže i spajanjem istoimenih priključaka niskonaponske strane svih transformatora na odgovarajuće faze niskonaponske mreže.
- Paralelni rad se može vršiti preko sabirnica ili preko mreže.
- Iako je u osnovi ovo rešenje skuplje nego izbor jednog transformatora veće snage, njemu se pribegava u slučajevima podmirivanja potrebe dodatnih prijemnika koji ranije nisu bili predviđeni, podmirenja povremenih dodatnih opterećenja, etapne izgradnje trafostanice ili potrebe za većom pogonskom sigurnošću koja se ogleda u držanju rezervnog transformatora za slučaj kvara jednog od transformatora.

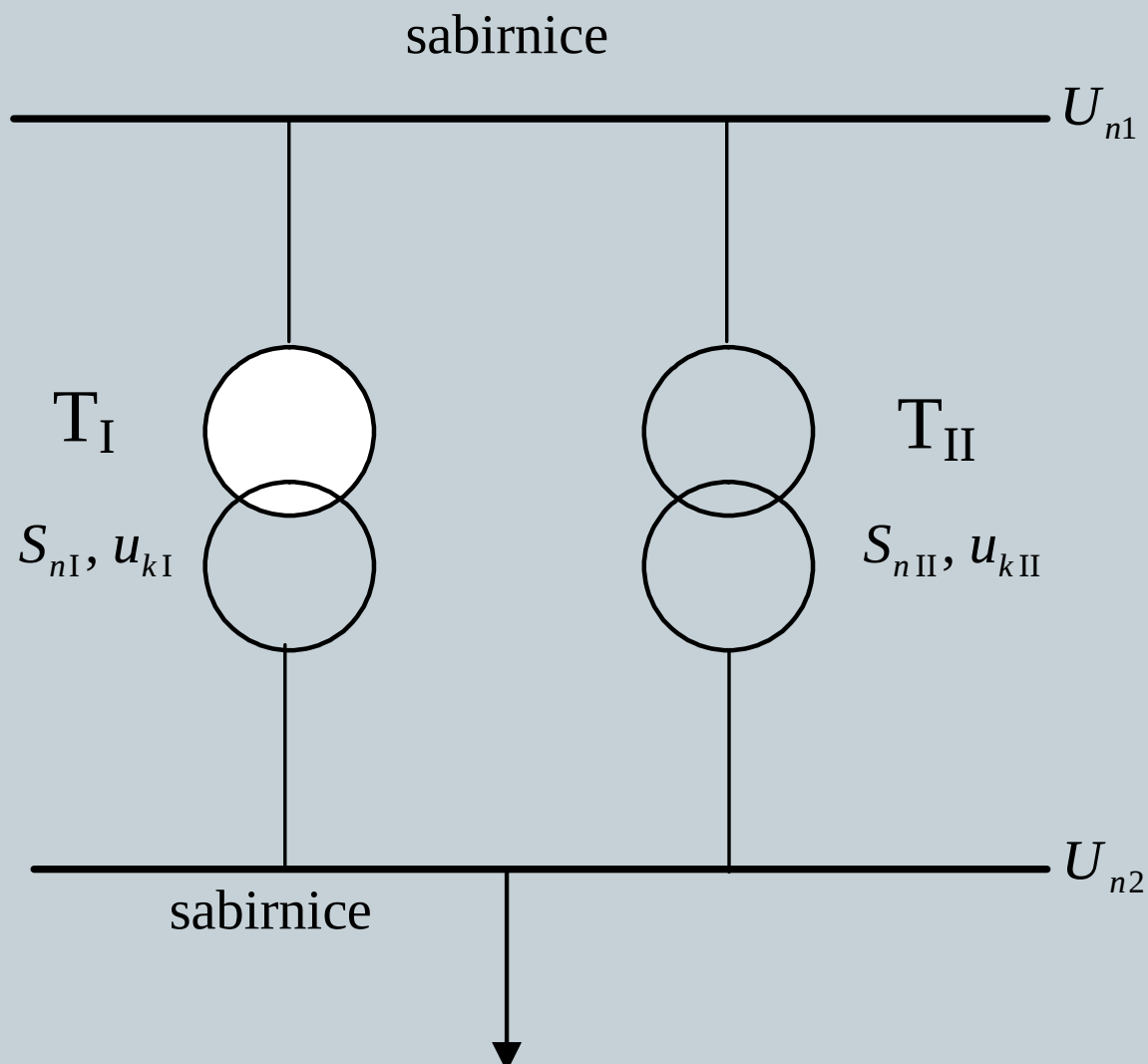
Paralelni rad transformatora

39

- Uslovi koje transformatori moraju ispuniti, da bi radili u paralelnom radu, su sledeći:
 - *primarni namotaji moraju da budu predviđeni za isti napon i odnosi transformacije moraju biti jednaki*, da bi sekundarni naponi u praznom hodu bili jednaki. Pod odnosom transformacije, prema standardu, podrazumevamo odnos naznačenih napona prikazan na natpisnoj pločici.
 - Da bi sekundarni naponi bili u fazi, transformatori moraju pripadati *istoj grupi sprege*.
 - Da bi izbegli struje izjednačenja (uravnoteženja), koje izazivaju preopterećenje jednog, odnosno podopterećenje drugog transformatora, *relativni naponi kratkog spoja moraju biti jednaki* – dozvoljava se tolerancija $\pm 10\%$ u odnosu na aritmetičku srednju vrednost relativnih napona kratkog spoja svih transformatora. S ovim u vezi je i *preporuka* da naznačene snage transformatora treba da budu približno jednake (nema smisla povezivati u paralelni rad transformatore koji imaju *odnose naznačenih snaga* veće od 1:3).

Paralelni rad transformatora

40



Slika 2 Paralelni rad dva transformatora

Specijalni transformatori

41

- Pod *standardnim* (najznačajnijim i najčešćim) transformatorom do sada smo podrazumevali energetski, uljni, po broju faza trofazni ili jednofazni, po broju faznih namotaja dvonamotajni (i to razdvojeni), po vrsti napona sinusnog oblika učestanosti 50Hz.
- Postoji veliki skup drugih *specijalnih* (nestandardnih) transformatora, koji se, barem po nekoj osobini, razlikuju od standardnih.
- Ovde ćemo nabrojati i ukratko opisati samo najznačajnije:
 - *tronamotajni transformatori*. Ovi transformatori imaju, osim primara i sekundara, još jedan namotaj za prenos snage. Moguće kombinacije su sa jednim primarom i dva sekundara, odnosno dva primara i jednim sekundrom. Upotrebljavaju se u razvodnim postrojenjima sa tri različita naponska nivoa.

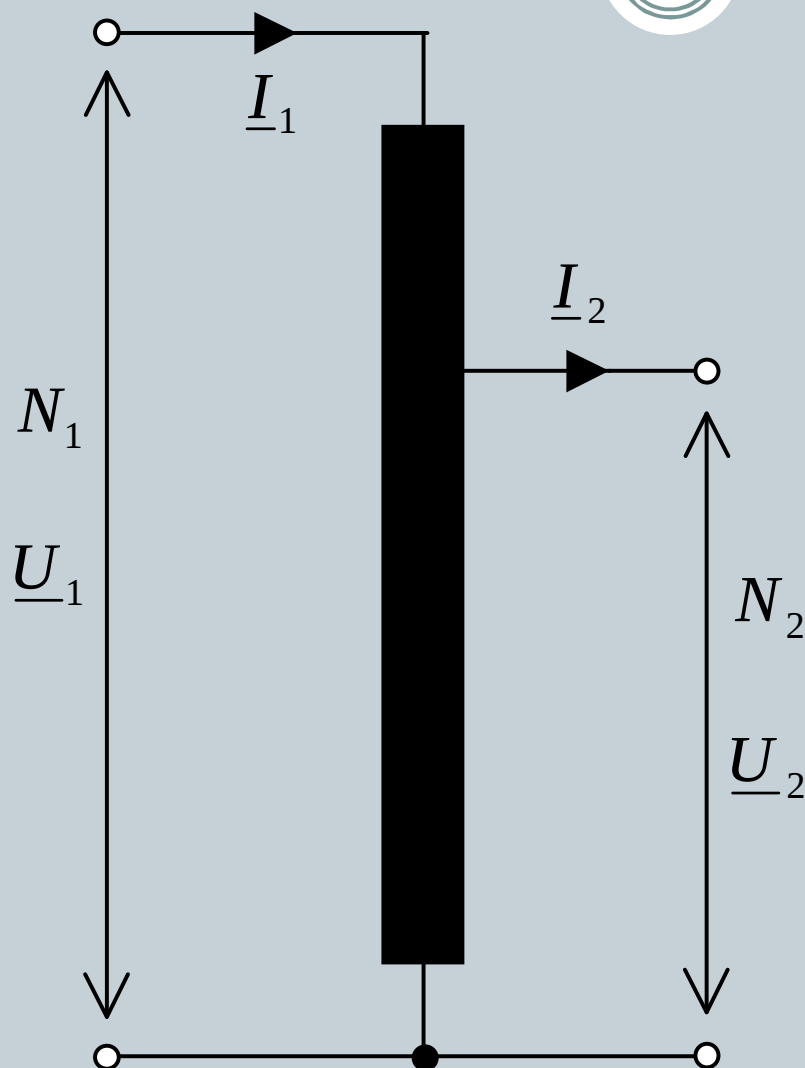
Specijalni transformatori

42

- *autotransformatori*. Oni imaju samo jedan namotaj – primar i sekundar su fizički (galvanski) sjedinjeni, ali postoji visokonaponska i niskonaponska strana.
- Ovakva izvedba je, u odnosu na dvonamotajne iste snage, ekonomičnija jer ima manju masu aktivnog dela (magnetskog kola i namotaja), uz veći stepen iskorišćenja; međutim manje je pouzdana zbog postojanja galvanske veze između (delova) namotaja, a rektansa rasipanja je mnogo manja.
- Trofazni autotransformatori se često prave za velike snage.

Specijalni transformatori

43



Slika 3 Autotransformator

Specijalni transformatori

44

- *transformatori sa izvodima (regulacioni transformatori)* se koriste tamo gde je potrebno da se odnos preobražaja menja: u elektrolučnim pećima radi prilagođenja napona proizvodnom ciklusu, odnosno u elektroenergetskim sistemima radi održavanja napona u propisanim granicama jer se padovi napona znatno menjaju sa opterećenjem.
- To se tehnički sprovodi promenom "aktivnog" broja navojaka jednog namotaja.
- Biranje izvoda se vrši u beznaponskom stanju ili pod opterećenjem, što je složenije jer se struja ne sme prekidati, niti se dva susedna navojka ili grupe navojaka smeju direktno spojiti, jer bi u tom slučaju njima tekla struja kratkog spoja.

Specijalni transformatori

45

- *merni transformatori* su uređaji čije su osnovne funkcije svođenje velikih struja (*strujni*) i napona (*naponski*) na one struje i napone koji se mogu meriti standardnom mernom opremom i povećanje sigurnosti rada putem galvanskog odvajanja od kola sa velikim strujama i naponima. Oni moraju verno da prenose, sa što manjom greškom, amplitudu i fazni pomeraj primarnih struja, odnosno napona.
- pretvarači za pretvaranje broja faza (3 u 2, 6, 12),
- *transformatori za energetske pretvarače* – sa nesinusoidalnim naponima i strujama,

Specijalni transformatori

46

- *suvi transformatori* – porast potrošnje električne energije i ograničavanje građevinskog prostora za smeštaj trafo stanice, nametnuli su zahtev da se transformator umesto u posebnim i udaljenim trafo stanicama ugrađuje u samim centrima potrošnje, kao što su: veliki stambeni, poslovni, sportski, industrijski i drugi objekti.
- U ovakvim objektima postavljaju se veoma strogi zahtevi za nezapaljivost transformatora, smanjenje smeštajnog prostora, nižu buku, jednostavnu i jeftinu montažu i održavanje i zaštitu prirodne sredine.
- Radikalan razvoj izolacionih materijala u visokim termičkim klasama (nomex, delmat, vitroplast, teflon), kao i izolacionih lakova za impregnaciju namotaja, omogućio je postizanje viših temperatura namotaja nego kod uljnih (viša klasa izolacije).
- Međutim, uz iste parametre (snaga, naponi), obično su nekoliko puta skuplji nego uljni.
- Veliku pažnju treba posvetiti tehnologiji izrade namotaja.

Specijalni transformatori

47

- Kao posebnu vrstu spomenućemo transformatore koji se upotrebljavaju u *uređajima za zavarivanje*.
- Njegova osnovna uloga je da smanji napon mreže (380V, 220V), na napon od 50V, koji je dovoljan za paljenje luka, a bezopasan za rukovaoca.
- Zbog neprestanih kratkih spojeva koje stvaraju kapljice istopljenog metala elektrode, aparati za zavarivanje mogu da imaju poseban izvor struje, obrtnu mašinu ili specijalni transformator.
- Dodatno, kako ne bi došlo do trenutnog topljenja elektrode, struja kratkog spoja aparata za zavarivanje mora biti ograničena na najviše dva puta veću vrednost od naznačene.
- Da bi se to postiglo, transformator mora imati veliko rasipanje (relativni napon kratkog spoja oko 80%), ili se transformator izrađuje sa normalnim rasipanjem, a na red sa njim se stavlja navoj velike induktivnosti ili, ponekad, otpornost velikog omskog otpora.

Literatura

48

- M. Milanković, D. Perić, I. Vlajić-Naumovska, *“Osnovi elektroenergetike”*, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2016.