
Močnostni transformatorji – 8. del: Navodilo za uporabo

Power transformers – Part 8: Application guide

Transformateurs de puissance – Partie 8: Guide d'application

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

SIST IEC 60076-8:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5cce7c2-5807-4cc0-b16c-091a5c2f66be/sist-iec-60076-8-2001>

ICS 29.180

Referenčna oznaka
SIST IEC 60076-8:2001 (sl)

Nadaljevanje na straneh 2 do 77

NACIONALNI UVOD

Standard SIST IEC 60076-8 (sl), Močnostni transformatorji – 8. del: Navodilo za uporabo, 2001, ima status slovenskega standarda in je istoveten mednarodnemu standardu IEC 60076-8 (en), Power transformers – Part 8: Application guide, 1997.

NACIONALNI PREDGOVOR

Mednarodni standard IEC 60076-8:1997 je pripravil tehnični odbor Mednarodne organizacije za standardizacijo na področju elektrotehnike IEC IEC/TC 14, Power transformers.

Slovenski standard SIST IEC 60076-8:2001 je prevod mednarodnega standarda IEC 60076-8:1997. V primeru spora glede besedila slovenskega prevoda v tem standardu je odločilen izvirni mednarodni standard v angleškem jeziku. Slovensko izdajo standarda je pripravil tehnični odbor SIST/TC ETR, Energetski transformatorji.

Odločitev za privzem tega standarda po metodi ponatisa je januarja 2001 sprejel tehnični odbor SIST/TC ETR. Maja 2018 je odbor sklenil, da se pripravi prevod standarda.

ZVEZE S STANDARDI

S privzemom tega mednarodnega veljajo za omejeni namen referenčnih standardov vsi standardi, navedeni v izvirniku, razen tistih, ki so že sprejeti v nacionalno standardizacijo:

<u>Publikacija</u>	<u>Naslov</u>	SIST
IEC 600050(421):1990	Mednarodni elektrotehniški slovar (IEV) – Poglavlje 421: Močnostni transformatorji in dušilke	SIST IEC 60050(421):1999
IEC 60076 https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5cce7c2-5807-4cc0-b16c-091a5c2f66be/sist-iec-60076-8-2001	Močnostni transformatorji IEC 60076-8:2001	SIST IEC 60076
IEC 60076-1:1993	Močnostni transformatorji – 1. del: Splošno	
IEC 60076-3:1980	Močnostni transformatorji – 3. del: Stopnje izolacije in dielektrični preskusi	
IEC 60289:1988	Dušilke	
IEC 60354:1991	Navodilo za obremenjevanje oljnih močnostnih transformatorjev	SIST IEC 60354:1997
IEC 60722:1982	Navodilo za udarne in stikalne prednapetostne preskuse močnostnih transformatorjev in dušilk	
IEC 60905:1987	Navodilo za obremenjevanje suhih močnostnih transformatorjev	SIST IEC 60905:1997
IEC 60909:1988	Izračun kratkostičnih tokov v trifaznih izmeničnih sistemih	
IEC 60909-1:1991	Izračun kratkostičnih tokov v trifaznih izmeničnih sistemih – 1. del: Faktorji za izračun kratkostičnih tokov v trifaznih izmeničnih sistemih v skladu z IEC 60909 (1988)	

IEC TR 60909-2:1992	Električna oprema – Podatki za izračun kratkostičnih tokov v skladu z IEC 60909 (1988)	
IEC 61378-1:1997	Konvertorski transformatorji – 1. del: Transformatorji za industrijsko uporabo	
ISO 9001:1994	Sistemi vodenja kakovosti – Zahteve (ISO 9001:1994)	

OSNOVA ZA IZDAJO STANDARDA

– privzem standarda IEC 60076-8:1997

PREDHODNA IZDAJA

–

OPOMBE

- Povsod, kjer se v besedilu standarda uporablja izraz “mednarodni standard”, v SIST IEC 60076-8:2001 to pomeni “slovenski standard”.
- Nacionalni uvod in nacionalni predgovor nista sestavni del standarda.
- Ta nacionalni dokument je istoveten mednarodnemu standardu IEC 60076-8:1997.

IteH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[SIST IEC 60076-8:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5cce7c2-5807-4cc0-b16c-091a5c2f66be/sist-iec-60076-8-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5cce7c2-5807-4cc0-b16c-091a5c2f66be/sist-iec-60076-8-2001>

VSEBINA	Stran
Predgovor	5
1 Splošno	6
2 Značilne lastnosti različnih trifaznih kombinacij navitij in zasnov magnetnih krogov	7
3 Značilne lastnosti in uporaba avtotransformatorjev	11
4 Lastnosti ničelnega zaporedja – bremenski tok v nevtralnem vodniku in zemeljskostični pogoji, magnetno nasičenje in vklopni tok	14
5 Izračun kratkostičnih tokov v trinavutnih trifaznih transformatorjih (transformatorji z ločenimi navitji in avtotransformatorji) z ozemljeno nevtralno točko	25
6 Vzporedno obratovanje transformatorjev v trifaznih sistemih	39
7 Izračun padca napetosti za določeno breme, izgube pri obremenitvi trinavutnega transformatorja	45
8 Določanje naznačenih in odcepnih veličin	59
9 Pretvorniške aplikacije s standardnimi transformatorji	69
10 Navodilo za merjenje izgub močnostnih transformatorjev	71
Dodatek A (informativni): Osnovne povezave za enofazne in dvofazne zemeljske stike	76

i T E h S T A N D A R D P R E V I I
(s t a n d a r d s . i t e h . a

[S I S T I E C 6 0 0 7 6 - 8 : 2 0 0](https://standards.iteh.ai/catalog/iec-60076-8-2001)
[h t t p s : / / s t a n d a r d s . i t e h . a i / c a t a l o g /](https://standards.iteh.ai/catalog/iec-60076-8-2001)
[i e c - 6 0 0 7 6 - 8 - 2 0 0 1](https://standards.iteh.ai/catalog/iec-60076-8-2001)

MEDNARODNA ELEKTROTEHNIŠKA KOMISIJA

**MOČNOSTNI TRANSFORMATORJI –
Navodilo za uporabo**
PREDGOVOR

- 1) Mednarodna elektrotehniška komisija (IEC) je svetovna organizacija za standardizacijo, ki združuje vse nacionalne elektrotehniške komiteje (nacionalni komiteji IEC). Cilj IEC je pospeševati mednarodno sodelovanje v vseh vprašanih standardizacije s področja elektrotehnike in elektronike. V ta namen poleg drugih aktivnosti izdaja mednarodne standarde. Za njihovo pripravo so odgovorni tehnični odbori; vsak nacionalni komitej IEC, ki ga zanima obravnavana tema, lahko sodeluje v tem pripravljalnem delu. Prav tako lahko v pripravi sodelujejo mednarodne organizacije ter vladne in nevladne ustanove, ki so povezane z IEC. IEC sodeluje v tesni povezavi z mednarodno organizacijo za standardizacijo ISO skladno s pogoji, določenimi v soglasju med obema organizacijama.
- 2) Uradne odločitve ali sporazumi IEC o tehničnih vprašanih, pripravljani v tehničnih odborih, kjer so prisotni vsi nacionalni komiteji, ki jih ta tema zanima, izražajo, kolikor je mogoče, mednarodno soglasje o obravnavani temi.
- 3) Dokumenti imajo obliko priporočil za mednarodno uporabo in so objavljeni v obliki standardov, tehničnih poročil ali vodil in jih kot take sprejmejo nacionalni komiteji.
- 4) Da bi se pospeševalo mednarodno poenotenje, so nacionalni komiteji IEC v svojih nacionalnih in regionalnih standardih dolžni čim pregledneje uporabljati mednarodne standarde IEC. Vsako odstopanje med standardom IEC in ustreznim nacionalnim ali regionalnim standardom je treba v slednjem jasno označiti.
- 5) IEC ne zagotavlja postopka označevanja za navedbo odobritve in ne more biti odgovoren za kakršnokoli opremo, razglašeno, da je v skladu s katerim od standardov.
- 6) Opozoriti je treba na možnost, da je lahko kateri od elementov tega mednarodnega standarda predmet patentnih pravic. IEC ni odgovoren za identificiranje nobene od teh patentnih pravic.

Mednarodni standard IEC 60076-8 je pripravil tehnični odbor IEC 14: Močnostni transformatorji.

Ta prva izdaja razveljavlja in nadomešča standard IEC 60606, objavljen leta 1978, in je popolna tehnična revizija.

Besedilo tega standarda temelji na naslednjih dokumentih:

FDIS	Poročilo o glasovanju
14/260/FDIS	14/297/RVD

Vse informacije o glasovanju za potrditev tega standarda so na voljo v poročilu o glasovanju v zgornji preglednici.

Standard IEC 60076 sestavljajo naslednji deli s skupnim naslovom Močnostni transformatorji:

1. del: 1993, Splošno
2. del: 1993, Segretek
3. del: 1980, Stopnje izolacije in dielektrični preskusi
5. del: 1976, Kratkostična zmogljivost
8. del: 1997, Navodilo za uporabo

Dodatek A je informativen.

MOČNOSTNI TRANSFORMATORJI – Navodilo za uporabo

1 Splošno

1.1 Področje uporabe in namen

Ta standard se nanaša na močnostne transformatorje, ki so v skladu s publikacijami IEC 60076.

Namen standarda je, da se uporabnikom zagotovijo informacije glede:

- nekaterih osnovnih obratovalnih značilnosti različnih transformatorskih vezav in zasnov magnetnih krogov s posebnim poudarkom na pojavu ničelnega zaporedja;
- sistemskih okvarnih tokov v transformatorjih z vezavami YNynd in podobnimi vezavami;
- vzporednega obratovanja transformatorjev, izračuna padca ali dviga napetosti pod obremenitvijo in izračuna kratkostičnih izgub trinavnih bremenskih kombinacij;
- izbire naznačenih in odcepnih veličin v času naročanja, ki temelji na pričakovanih primerih obremenitve;
- uporabe konvencionalnih transformatorjev za pretvorniška bremena;
- merilnih tehnik in točnosti merjenja izgub.

Del informacij je splošne narave in se uporablja za vse velikosti močnostnih transformatorjev. Vendar nekaj poglavij obravnava vidike in vprašanja, ki se nanašajo samo na specifikacijo in uporabo velikih visokonapetostnih enot.

Priporočila niso obvezna in ne pomenijo zahtev v zvezi s specifikacijo.

Informacije o obremenljivosti močnostnih transformatorjev so za oljne transformatorje podane v IEC 60354, za suhe transformatorje pa v IEC 60905.

Navodila za udarno preskušanje močnostnih transformatorjev so podana v IEC 60722.

1.2 Zveze s standardi

Naslednji normativni dokumenti vsebujejo določila, ki s sklicevanjem v tem besedilu predstavljajo določila tega mednarodnega standarda. V času objave so bile navedene izdaje veljavne. Vsi normativni dokumenti so predmet revizije in stranke naj v pogodbah, ki temeljijo na tem mednarodnem standardu, uporabljajo, če je le mogoče, najnovejšo izdajo normativnih dokumentov, navedenih spodaj. Člani IEC in ISO vzdržujejo seznam trenutno veljavnih mednarodnih standardov.

IEC 60050(421):1990	Mednarodni elektrotehniški slovar (IEV) – Poglavje 421: Močnostni transformatorji in dušilke
IEC 60076	Močnostni transformatorji
IEC 60076-1:1993	Močnostni transformatorji – 1. del: Splošno
IEC 60076-3:1980	Močnostni transformatorji – 3. del: Stopnje izolacije in dielektrični preskusi
IEC 60289:1988	Dušilke
IEC 60354:1991	Navodilo za obremenjevanje oljnih močnostnih transformatorjev
IEC 60722:1982	Navodilo za udarne in stikalne prenapetostne preskuse močnostnih transformatorjev in dušilk
IEC 60905:1987	Navodilo za obremenjevanje suhih močnostnih transformatorjev

IEC 60909:1988	Izračun kratkostičnih tokov v trifaznih izmeničnih sistemih
IEC 60909-1:1991	Izračun kratkostičnih tokov v trifaznih izmeničnih sistemih – 1. del: Faktorji za izračun kratkostičnih tokov v trifaznih izmeničnih sistemih v skladu z IEC 60909 (1988)
IEC 60909-2:1992	Električna oprema – Podatki za izračun kratkostičnih tokov v skladu z IEC 60909 (1988)
IEC 61378-1:1997	Pretvorniški transformatorji – 1. del: Transformatorji za uporabo v industriji
ISO 9001:1994	Sistemi kakovosti – Model zagotavljanja kakovosti v snovanju, razvoju, proizvodnji, vgradnji in servisiranju

2 Značilne lastnosti različnih trifaznih kombinacij navitij in zasnov magnetnih krogov

V tem poglavju je podan pregled področja. Dodatne informacije o lastnostih ničelnega zaporedja so navedene v točki 4.

2.1 Navitja v vezavah Y, D in Z

Obstajata dve glavni trifazni vezavi navitij transformatorja: zvezda (vezava Y) in trikot (vezava D). Za posebne namene, zlasti v manjših močnostnih transformatorjih, se uporablja tudi druga vezava, imenovana cikcak ali Z. V preteklosti je bilo uporabljenih več drugih vezav (kot so "okrnjeni trikot", "razširjeni trikot", "vezava T", "vezava V" itd.). Medtem ko se take vezave uporabljajo v transformatorjih za posebne namene, se le-te ne pojavljajo več v običajnih močnostnih prenosnih sistemih.

2.1.1 Prednosti navitja v vezavi Y

Ta vrsta navitja:

- je gospodarnejša za visokonapetostno navitje;
- ima na voljo nevtralno točko;
- dovoljuje neposredno ozemljitev ali ozemljitev preko impedance;
- dovoljuje znižano stopnjo izolacije nevtralne točke (stopnjevana izolacija);
- dovoljuje, da so odcepi navitja in odcepni preklopnik na nevtralnem koncu vsake faze;
- dovoljuje enofazno obremenitev z nevtralnimi tokom (glej 2.2 in 4.8).

2.1.2 Prednosti navitja v vezavi D

Ta vrsta navitja:

- je gospodarnejša za visokotokovno, nizkonapetostno navitje;
- v kombinaciji z navitjem v zvezdni vezavi zmanjšuje ničelno impedanco tega navitja.

2.1.3 Prednosti navitja v vezavi Z

Ta vrsta navitja:

- dovoljuje obremenitev z nevtralnimi tokom s svojstveno nizko ničelno impedanco. (Uporablja se za ozemljitvene transformatorje, da se ustvari umetni nevtralni priključek omrežja);
- zmanjšuje napetostno neravnovesje v omrežjih z neenakomerno porazdelitvijo bremena po fazah.

2.2 Značilne lastnosti kombinacij vezav navitij

Pri zapisu vezave navitij celotnega transformatorja se upoštevajo določila v IEC 60076-1, točka 6.

V tej podtočki je podan povzetek obnašanja nevtralnega toka v različnih kombinacijah navitij. Taki pogoji se obravnavajo tako, kot da imajo "ničelne komponente" toka in napetosti. Ta koncept je nadalje obravnavan v točkah 4 in 5.

Navedbe veljajo tudi za trifazne skupine enofaznih transformatorjev, ki so med seboj zunanje povezani.

2.2.1 YNyn in YNa (avtovezava)

Ničelni tok se lahko transformira med navitji z uravnoveženimi amper-ovoji, pri čemer naleti na nizko kratkostično impedanco v transformatorju. Tako vezani omrežni transformatorji so lahko dodatno opremljeni z izenačevalnim trikotnim navitjem (glej 4.7.2 in 4.8).

2.2.2 YNy in Yyn

Ničelni tok v navitju z ozemljenim zvezdiščem nima uravnoveženih amper-ovojev v nasprotnem navitju, kjer zvezdišče ni ozemljeno. Zato predstavlja za jedro magnetilni tok, katerega učinek določa ničelna magnetilna impedanca. Ta impedanca je visoka ali zelo visoka, odvisno od zasnove magnetnega kroga (glej 2.3). To vpliva na simetrijo faznih napetosti in morda so potrebne omejitve dovoljenega ničelnega toka zaradi segrevanja, ki ga povzroča stresani magnetni pretok (glej 4.8).

2.2.3 YNd, Dyn, YNyd (obremenljivo terciarno navitje) ali YNy + d (neobremenljivo izenačevalno trikotno navitje)

Ničelni tok v zvezdnem navitju z ozemljenim zvezdiščem povzroča v trikotnem navitju kompenzacijski izenačevalni tok. Impedanca je nizka, približno enaka kratkostični impedanci med navitji za pozitivno zaporedje.

Če sta dve zvezdni navitji z ozemljenima zvezdiščema (vključno s primerom avtotransformatorske vezave z skupnim zvezdiščem), potem je to za ničelni tok primer trinavitne obremenitve. To je obravnavano v 4.3.2 in 4.7.2 ter v točki 5.

2.2.4 Yzn ali ZNy

Ničelni tok v cikcak navitju povzroča svojstveno ravnovesje amper-ovojev med dvema polovicama navitja na vsakem stebru in zagotavlja nizko ničelno impedanco.

2.2.5 Trifazne skupine velikih enofaznih enot – Uporaba terciarnih navitij v trikotni vezavi

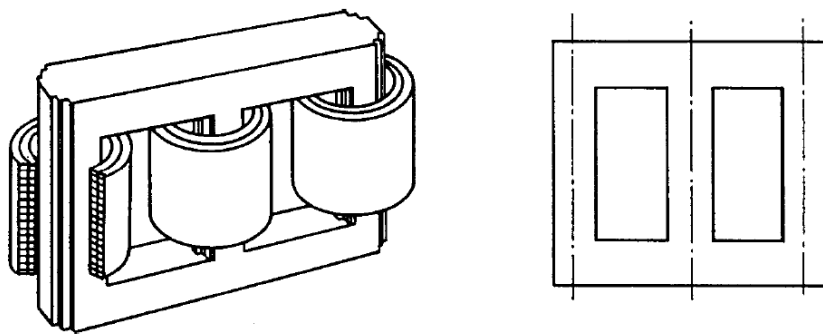
V nekaterih državah so transformatorji za visokonapetostne povezave omrežij običajno sestavljeni iz skupin enofaznih enot. Cena, masa in izgube take skupine so večje kot pri ustreznih trifaznih transformatorjih (dokler jih je mogoče izdelati). Prednost koncepta skupine je dokaj nizka cena zagotavljanja rezervne četrte enote kot strateške rezerve. Ustrezna trifazna enota lahko tudi presega omejitve glede mase transporta.

Trije enofazni transformatorji zagotavljajo neodvisne magnetne kroge, kar za ničelno zaporedje napetosti predstavlja visoko magnetilno impedanco.

V skupini je morda treba zagotoviti funkcijo trikotnega izenačevalnega navitja ali pa se pojavi potreba po dodatni moči relativno nizke napetosti iz terciarnega navitja. To se v postaji lahko doseže z zunanjo povezavo zbiralk med enotami. Zunanja povezava pomeni dodatno tveganje zemeljskega stika ali kratkega stika na kombiniranem terciarnem navitju skupine.

2.3 Različne zasnove magnetnih krogov

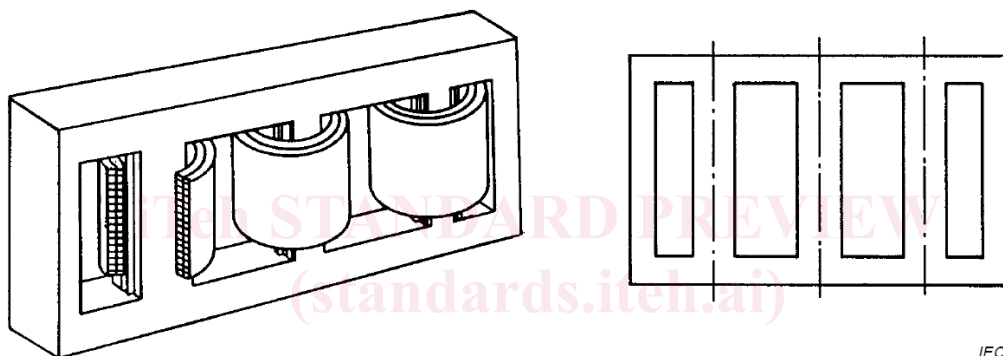
Najpogostejša zasnova skupnega magnetnega kroga za trifazni transformator je tristebna oblika jedra (glej sliko 1). Trije vzporedni navpični stebri so zgoraj in spodaj povezani z vodoravnimi jarmi.



IEC 1119/97

Slika 1: Magnetni krog s tristebrno obliko jedra

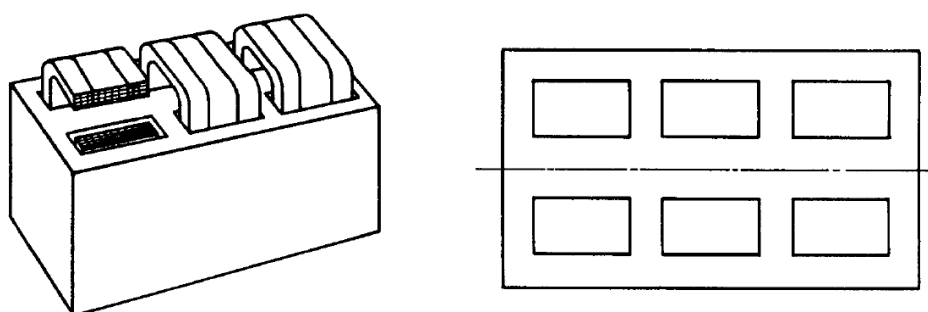
Magnetni krog s petstebrno obliko jedra (glej sliko 2) ima tri stebre z navitji in dva stranska stebra brez navitij z manjšim prerezom. Jarmi, ki povezujejo vseh pet stebrov, imajo v primerjavi z navitimi stebri prav tako zmanjšan prerez.



IEC 1120/97

Slika 2: Magnetni krog s petstebrno obliko jedra

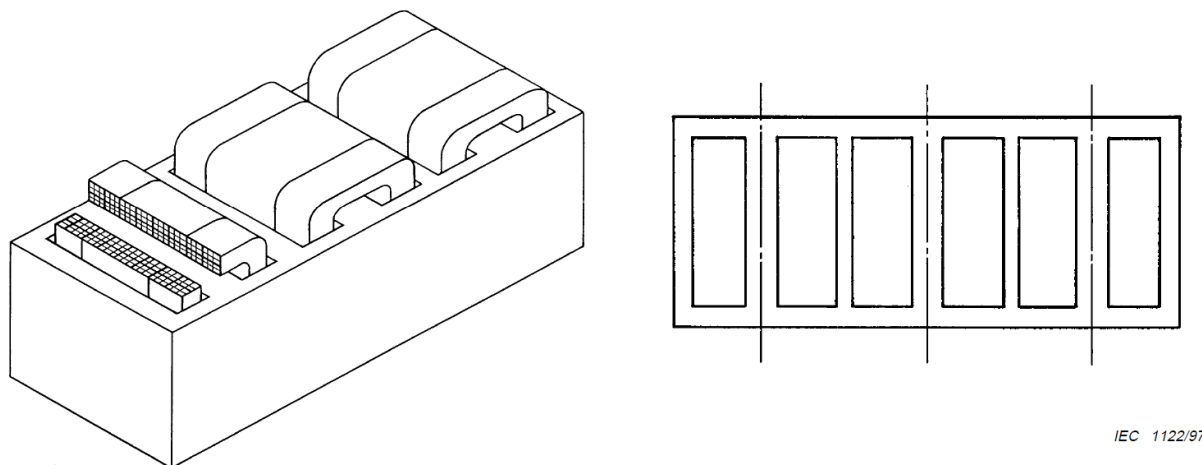
Običajna zasnova trifazne plaščne oblike jedra ima okvir s tremi navitimi vodoravnimi stebri s skupno središčnico (glej sliko 3). Železni stebri jedra znotraj navitij imajo v osnovi pravokotni prerez, sosednji deli magnetnega kroga pa obdajajo navitja kot plašč.



IEC 1121/97

Slika 3: Trifazni običajni plaščni magnetni krog

Novi trifazni plaščni magnetni krog je sedemstebarno jedro, v katerem so naviti stebri različno orientirani (glej sliko 4).



IEC 1122/97

Slika 4: Trifazni sedemstebarno plaščni magnetni krog

Glavna razlika pri obravnavanih zasnovah magnetnih krogov je v njihovem obnašanju, ko so ti podvrženi nesimetričnemu trifaznemu nizu napetosti, katerih vsota ni enaka nič, kar pomeni, da imajo ničelno komponento.

To stanje se lahko opiše, če se izhaja iz ničelnega toka brez uravnoveženih amper-ovojev v nobenem drugem navitju. Za magnetni krog ta tok predstavlja magnetilni tok, katerega učinek določa magnetilna impedanca, na kateri se pojavi ničelni padec napetosti.

Običajne vrste magnetnih krogov se obnašajo tako, kot je opisano v nadaljevanju.

2.3.1 Magnetni krog s tristébrno obliko jedra

V transformatorju s tristébrno obliko jedra se pozitivna in negativna komponenta magnetnega pretoka v navitih stebrih (katerega vsota je v vsakem trenutku enaka nič) izničita v jarmih, vendar pa mora preostali ničelni magnetni pretok najti povratno pot med jarmoma zunaj vzbujanega navitja. Ta stresani magnetni pretok zazna veliko magnetno upornost, zato je za dano količino magnetnega pretoka (dano pritisnjeno ničelno napetost) potrebna precejšnja magnetna napetost (velik magnetilni tok). V smislu električnega vezja predstavlja ta pojav torej razmeroma nizko ničelno (magnetilno) impedanco. Ta impedanca se v odvisnosti od velikosti ničelne komponente spreminja nelinearno.

Nasprotno pa nekompenziran ničelni tok predstavlja magnetilni tok, katerega učinek določa ničelna magnetilna impedanca. Rezultat tega je ničelna komponenta napetosti kot posledica superpozicije nesimetričnih faznih napetosti.

Ničelni stresani magnetni pretok jarma povzroča krožne in vrtilne toke v vpenjalni strukturi in kotlu, kjer generirajo dodatne stresane izgube. Zaradi nenormalnega stresanega magnetnega pretoka se lahko povečajo tudi vrtilne izgube v navitjih. Obstajajo omejitve velikosti vsakega dolgotrajnega nevtralnega toka, dovoljenega med obratovanjem. To obravnava točka 4.8.

2.3.2 Petstebarna ali plaščna oblika magnetnega kroga

Pri petsteborni obliki jedra ali plaščnem transformatorju obstajajo povratne poti za ničelni magnetni pretok skozi nenavite dele magnetnega kroga (stranski stebri petstebarnega jedra, zunanji deli plaščnega okvirja, pri sedemstebarnem plaščnem jedru pa še dva nenavita mednavitna stebra). To za ničelni magnetni pretok predstavlja nizko magnetno upornost, enakovredno zelo visoki magnetilni impedanci, podobni tisti pri običajni pozitivni komponenti napetosti. To velja do meje, ko nenaviti deli magnetnega kroga dosežejo nasičenje. Nad to mejo impedanca pade, posledica tega pa je koničast popačen tok.

Trifazna skupina enofaznih transformatorjev se odziva podobno. Magnetni krogi so ločeni in neodvisni pri kakršnikoli napajalni napetosti.

Zaradi zgoraj opisanih pojavov so taki transformatorji ali skupine transformatorjev navadno opremljeni s trikotno vezanim izenačevalnim navitjem (glej točko 4).

3 Značilne lastnosti in uporaba avtotransformatorjev

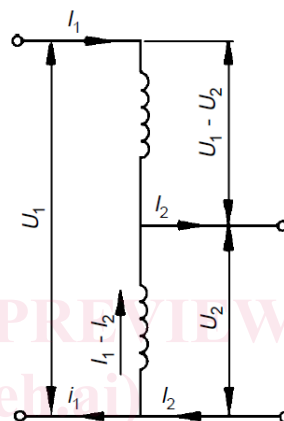
3.1 Po definiciji je avtotransformator tak transformator, ki ima vsaj dve navitji s skupnim delom (glej 3.1.2 v standardu IEC 60076-1).

Enofazna shema avtotransformatorja je prikazana na sliki 5. Visokonapetostna stran transformatorja (na sliki označena z U_1, I_1) je sestavljena iz skupnega in zaporednega navitja. Nizkonapetostno stran (U_2, I_2) sestavlja samo skupno navitje. Visoko- in nizkonapetostno omrežje sta električno povezani.

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 = S$$

$$\frac{U_1 - U_2}{U_1} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} = \alpha$$

$$(U_1 - U_2) I_1 = U_2 (I_2 - I_1) = \alpha S$$



IEC 1123/97

Slika 5: Avtotransformator, enofazna shema

3.2 Redukcijski faktor ali avtofaktor α

Fizično je avtotransformator manjši in ima manjše izgube kot transformator z ločenimi navitji pri enaki preneseni moči. Čim bližje je prestavno razmerje transformatorja vrednosti ena, večji je relativni prihranek. Ti dve navitji (zaporedno in skupno) imata enaki nazivni moči oziroma je med njima ravnovesje amper-ovojev. Povezave, prikazane na sliki 5, neposredno pojasnijo redukcijski faktor α avtotransformatorske vezave. Če je S naznačena moč navitij v avtovezavi, zapisana na tablici z naznačenimi podatki, je transformator glede fizične velikosti in mase podoben transformatorju z ločenimi navitji in naznačeno močjo $\alpha \times S$. Za to moč se pogosto uporabita izraza, kot sta transformirana moč ali ekvivalentna dvonavitna nazivna moč.

Primer

Avtotransformator 420/240 kV, 300 MVA, je primerljiv s transformatorjem z ločenimi navitji naznačene moči:

$$((420 - 240)/420) \times 300 = 129 \text{ MVA}$$

Če je poleg tega transformator opremljen še s terciarnim navitjem, ki ni v avtovezavi, z naznačeno močjo 100 MVA (YNauto d 300/300/100 MVA), bo njegova ekvivalentna dvonavitna navidezna moč:

$$(129 + 129 + 100)/2 = 179 \text{ MVA}$$

3.3 Kratkostična impedanca in vplivi stresanega magnetnega pretoka

Kratkostična impedanca transformatorja se lahko fizično opiše z jalovo močjo v stresanem polju. Ta pa je odvisna od fizične velikosti in geometrije navitij.

Pri avtotransformatorju z zmanjšanimi dimenzijami je jalova moč v stresanem polju že po naravi manjša kot pri transformatorju z ločenimi navitji in z enako naznačeno močjo. Impedanca, izražena v odstotkih, je zato ustrezno manjša. Redukcijski faktor α je tudi merilo za impedanco v odstotkih.

Vendar je mogoče tudi opaziti, da bo v primeru, če je impedanca avtotransformatorja, izražena v odstotkih, določena s povišano vrednostjo (s ciljem omejevanja amplitud okvarnega toka na sekundarni strani), ta transformator po zasnovi fizično majhna enota z dokaj velikim stresanim poljem. To se odraža z večjimi dodatnimi izgubami (vrtinčne izgube v navitjih in tudi izgube stresanega magnetnega polja v mehanskih delih) in morda celo z nasičenjem zaradi stresanega magnetnega pretoka, ki se delno zaključuje po magnetnem krogu. Taki pojavi bi omejili obremenljivost enote nad naznačenimi pogoji, česar pa običajni preskusi ne razkrijejo.

Navodilo za obremenjevanje transformatorja, IEC 60354, te pojave upošteva pri ločevanju med velikimi in srednjimi močnostnimi transformatorji. Avtotransformatorje je treba namesto po podatkih na tablici z naznačenimi podatki razvrščati v skladu z ekvivalentno dvonavitno naznačeno močjo in ustrezno impedanco, izraženo v odstotkih.

3.4 Omejitve omrežja, koordinacija izolacije

Neposredna električna povezava primarnih in sekundarnih (trifaznih) sistemov pomeni, da imajo skupno nevtralno točko in da je trifazna vezava avtotransformatorja zvezdna. V praksi so sistemi običajno učinkovito ozemljeni in nevtralna točka avtotransformatorja je navadno določena z znižano stopnjo izolacije.

- Če je nevtralna točka transformatorja neposredno ozemljena, je potrebna stopnja izolacije zelo nizka (glej 5.5.2 standarda IEC 60076-3).
- Alternativno se lahko predvidi, da vse nevtralne točke več transformatorjev v postaji ne bodo neposredno ozemljene. Na ta način se zmanjšajo pričakovani toki zemeljskega stika. Neozemljene nevtralne točke so običajno opremljene s prenapetostnim odvodnikom za zaščito pred prehodnimi impulzi. Določeno naznačeno napetost odvodnika in stopnja izolacije nevtralne točke je treba uskladiti z napetostjo omrežne frekvence, ki se pojavi na neozemljeni nevtralni točki med zemeljskim stikom omrežja.
- V omrežjih z zelo visokimi napetostmi in dolgimi nadzemnimi vodi se možnost uspešnega enopolnega ponovnega vklopa lahko izboljša s posebej uglaseno ozemljilno dušilko. To zahteva razmeroma dobro izolacijo nevtralne točke transformatorja, ki je z uglasilno dušilko povezana z zemljo.

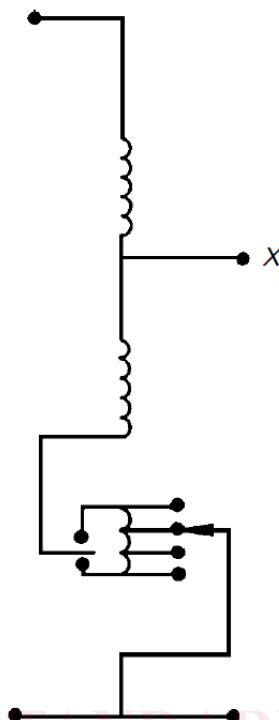
Zaporedno navitje avtotransformatorja včasih predstavlja težave pri zasnovi izolacije čez navitije. Predpostavlja se, da priključek X, nizkonapetostni linijski priključek, v primeru prehodne prenapetosti na visokonapetostnem linijskem priključku ostane na nizkem potencialu. Obremenitev, ki ustreza stopnji izolacije celotnega impulza na visokonapetostni strani, se zato porazdeli le vzdolž zaporednega navitja. To predstavlja ustrezno višjo medovojno napetost v primerjavi s prenapetostjo na nizkonapetostni strani, ki je porazdeljena vzdolž skupnega navitja.

3.5 Regulacija napetosti avtotransformatorjev v medomrežni povezavi

Sprememba napetostne prestave avtotransformatorja je lahko urejena na različne načine. Nekateri od njih upoštevajo osnovna načela v 5.1 standarda IEC 60076-1, drugi pa jih ne upoštevajo, ker se število učinkovitih ovojev sočasno spreminja v obeh navitjih.

Odcepni ovoji so na nevtralnem priključku ali na stiku med skupnimi in zaporednimi navitji (skupna točka) (glej sliko 6).

3.5.1 Odcepni ovoji v nevtralni točki



iTeh STANDARD PREVIEW
IEC 1124/97

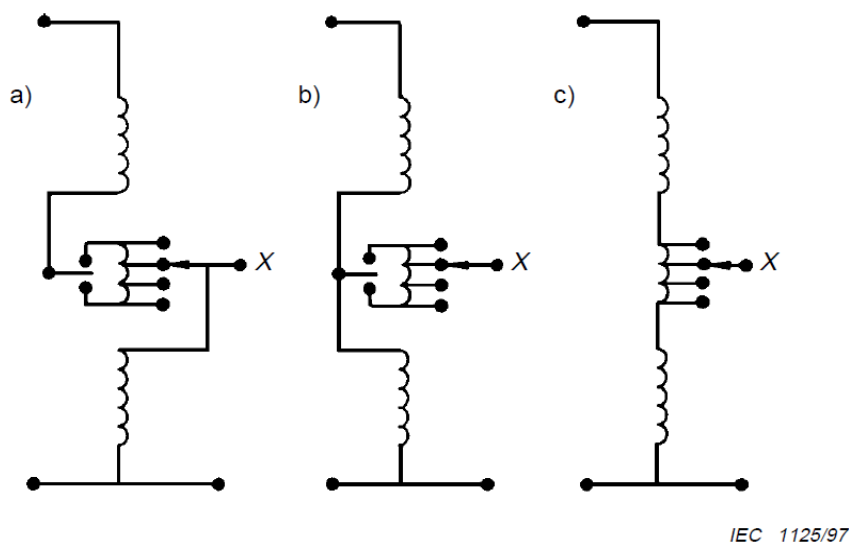
Regulacija v nevtralni točki sočasno zvišuje ali znižuje število ovojev v visokonapetostnih in tudi nizkonapetostnih navitjih, vendar se spreminja tudi razmerje med navitji. Ta način regulacije je pomanjkljiv, saj zahteva veliko regulacijskih ovojev za določeno območje spreminjanja prestave. Zaradi tega se ovojna napetost v transformatorju v odcepnem območju precej spreminja (spremenljiv magnetni pretok). Ta pojav postaja izrazitejši z bližanjem prestave transformatorja vrednosti ena (nizka vrednost α). To mora biti urejeno z ustreznim predimenzioniranjem magnetnega kroga. Povzroči tudi neenako napetost na stopnjo.

Očitna prednost regulacije v nevtralni točki je nizka stopnja dozemne izolacije odcepnega navitja in odcepnega preklopnika, ker sta blizu nevtralnemu potencialu.

Slika 6: Odcepni ovoji v skupni nevtralni točki

3.5.2 Odcepni ovoji na priključku X

Pri regulaciji v točki avtopovezave transformatorja (linijski priključek na nizkonapetostni strani) morata biti odcepno navitje in odcepni preklopnik zasnovana za stopnjo izolacije priključka X. Neposredno sta izpostavljena prehodnim napetostim s strmim čelom, ki so posledica udarov strel ali stikalnih prenapetosti. Na sliki 7 je prikazano več različnih izvedb.



- a) Število ovojov skupnega navitja ostane nespremenjeno. To je logična izbira, če napetost nizkonapetostnega sistema ostane precej nespremenjena, medtem ko je napetost visokonapetostnega sistema bolj spremenljiva.
- b) Ta možnost je nasprotje možnosti a). Število ovojov za napetost visokonapetostnega sistema ostaja nespremenjeno, medtem ko se efektivno število ovojov nizkonapetostne strani spreminja.
- c) Število ovojov visokonapetostne strani je nespremenjeno, vendar se za določeno število priključenih odcepnih ovojov prestava spreminja bolj kot v primeru b). Po drugi strani pa primer b) dovoljuje uporabo odcepnega navitja v plus in minus z obračanjem, kot je prikazano na sliki 7.

Slika 7: Odcepni ovoji na nizkonapetostnem priključku

4 Lastnosti ničelnega zaporedja – bremenski tok v nevtralnem vodniku in zemeljskostični pogoji, magnetno nasičenje in vklopni tok

V tej točki so opisane značilnosti trifaznih transformatorjev in skupin enofaznih transformatorjev glede na trifazne nesimetrične obratovalne pogoje.

Razlike so odvisne od geometrije magnetnega kroga in od kombinacije trifaznih vezav navitij.

Nesimetrični pogoji obsegajo tako prehodne motnje kot tudi nesimetrije med obratovanjem, ki povzročajo:

- začasno izgubo simetrije trifaznih napetosti in posledično nesimetrično magnetenje jedra;
- začasno ali stalno nesimetrijo bremenskih tokov, še posebej toka v nevtralnem vodniku, ki vpliva na napetostno stabilnost, stresani magnetni pretok in magnetenje jedra.

4.1 Uvedba simetričnih komponent trifaznega sistema

Kratka razlaga konvencionalnih analitičnih metod, imenovanih simetrične komponente, ki je pogosto navedena v analizah elektroenergetskega sistema, je podana v 4.1.1. Za nadaljnje informacije o metodi in njeni uporabi glej učbenike o analizah elektroenergetskih sistemov.

Nadaljnja razlaga v zvezi s praktičnimi vidiki ozemljitve sistema po nevtralni točki transformatorja je podana v 4.1.2.

4.1.1 Načela in izrazoslovje simetričnih komponent napetosti in toka

Metoda, ki se konvencionalno uporablja, predpostavlja sinhrono in sinusno napetosti in toke, povezane z elementi tokokroga, v obliki konstantne impedanace ali admittance z enakimi vrednostmi v treh fazah. Te predpostavke pomenijo, da so vse enačbe tokokrogov linearne in da so spremembe spremenljivk možne z linearnimi transformacijami. Ena takih je transformacija v simetrične komponente.

V splošnem nesimetričnem primeru imajo tri posamezne fazne napetosti ali fazni toki neenake amplitude z neenakim časovnim razmikom (niso 120 električnih stopinj narazen). Vsota trenutnih vrednosti je lahko različna od nič. Slika kazalcev je nesimetrična zvezda. Vektorska vsota treh kazalcev ne tvori nujno zaprtega trikota (vsota ni enaka nič).

Kljub temu je vedno mogoče zamenjati tri prvotne nesimetrične spremenljivke s kombinacijo naslednjih treh simetričnih komponent:

- pozitivna komponenta, ki ima popolnoma simetričen, običajen niz trifaznih napetosti in tokov;
- negativna komponenta z drugim simetričnim naborom, vendar z nasprotnim faznim zaporedjem;
- ničelna komponenta z enakimi kazalci v vseh treh fazah, med katerimi ni faznega zamika.

Prvi dve komponenti imata v vsakem trenutku vsoto nič. Tretja komponenta predstavlja ostanek, neničelno vsoto prvotnih spremenljivk, z eno tretjino te vrednosti v vsaki fazi.

Prednost metode simetričnih komponent za izračun napetosti in tokov je v tem, da se prvotni sistem treh sklopljenih enačb s tremi neznankami zamenja s tremi ločenimi enofaznimi enačbami z eno neznanko, vsako za eno komponento. Vsaka enačba uporablja ustrezne impedančne ali admitančne parametre za pripadajočo komponento.

Rešitve enačb za ločene simetrične komponente se nato po posameznih fazah superponirajo nazaj, da se dobijo fazne napetosti ali tokovi dejanskega sistema.

Algoritme za transformacijo prvotnih faznih veličin v simetrične komponente in obratno je mogoče najti v ustreznih učbenikih.

4.1.2 Praktični vidiki

Lastnosti komponent imajo v zvezi s toki in napetostmi praktične posledice, navedene spodaj.

- Vsota treh linijskih tokov v sistemu brez zemeljskega povratnega toka ali nevtralnega vodnika je enaka nič. Transformacija v simetrične komponente vsebuje pozitivne in negativne komponente, ne pa ničelne komponente.

To lastnost imajo toki iz omrežja v navitje, ki je vezano v trikot.

- Če obstaja ničelni zemeljski tok ali tok v nevtralnem vodniku (četrti vodnik), ima sistem faznih tokov lahko komponento ničelnega zaporedja. To je normalno stanje v štirivodnih distribucijskih sistemih z enofaznimi bremenami, priključenimi med fazo in nevtralno točko. Visokonapetostni prenosni vodi običajno ne prenašajo nobenega namernega ničelnega bremenskega toka. Če obstaja nesimetrija bremena, ima predvsem značaj medfaznega bremena, kar povzroči negativno komponento, ne pa tudi ničelne.
- Komponenta ničelnega zaporedja je opredeljena s kazalci, ki so v fazi in imajo enako amplitudo v vseh treh fazah. Komponenta ničelnega zaporedja toka je posledično natančno ena tretjina nevtralnega toka.
- Vsota medfaznih napetosti na navitju, vezanem v trikot, je zaradi zaprte vezave enaka nič in posledično ne vsebuje ničelne komponente napetosti. Vendar pa v trikotnem navitju lahko teče ničelni tok, to je kratkostični tok, ki kroži v samem trikotnem navitju, inducirano iz drugega navitja (glej 4.5).