

## ODREĐIVANJE SATNOG BROJA TRANSFORMATORA POMOĆU VOLTMETRA I FAZORSKOG DIJAGRAMA

### DETERMINATION OF TRANSFORMER'S VECTOR GROUP WITH VOLTMETER

Ivor Marković, Tomislav Đuran, Tomislav Novak

*Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, Hrvatska*

#### Sažetak

U ovom radu opisana je jednostavna i praktična metoda za određivanje satnog broja grupe spoja trofaznog transformatora odnosno faznog pomaka napona između primarnog i sekundarnog namota. Opisana metoda korištena je u sklopu laboratorijskih vježbi i provjerena korištenjem osciloskopa. Nakon uvodnog teoretskog osvrt prikazana su mjerenja i grafički prikaz određivanja satnog broja za slučajno odabranu grupu spoja. Također, detaljno su opisani i koraci kojima se samo pomoću voltmetara može odrediti satni broj. Nakon toga u radu su prikazani razni mogući spojevi primarnog i sekundarnog namota s pripadajućim satnim brojem trofaznih transformatora. Određivanje grupe spoja jednofaznih transformatora ovdje nije detaljno obrađeno nego samo teoretski ukratko opisano. Na kraju je još ukratko opisana i razjašnjena metoda određivanja grupe spoja trofaznog transformatora uz pomoć osciloskopa.

**Ključne riječi:** *transformator, satni broj, grupa spoja, osciloskop*

#### Abstract

This paper describes a simple and practical method for determination of the vector group of a three phase transformers i.e. phase shift between primary and secondary windings. The described method was used as part of laboratory exercises and verified with oscilloscope. After introductory theoretical review, measurements and graphical representation of vector group determination for the randomly chosen group of connection is shown. Also described in detail are steps where only with use of a voltmeter vector group can be determined.

After that, in this paper, various possible connections of primary and secondary winding with the corresponding vector group of a three-phase transformers are shown. Determination of a vector group of a single-phase transformers is not elaborated here in detail but only theoretically briefly described. Finally, the method of determining the group of the three-phase transformer vector group with the help of an oscilloscope is briefly described and clarified.

**Keywords:** *transformer, clock's hands, vector group, oscilloscope*

#### 1. Uvod

##### 1. Introduction

Grupa spoja transformatora daje informaciju o tome koliki je fazni pomak napona između primara i sekundara transformatora. To je jedan od najvažnijih podataka potrebnih za paralelni rad transformatora jer već pri najmanjim razlikama dolazi do poteškoća u radu. Kod trofaznih transformatora fazni pomak je moguć u koracima od 30° različitim spajanjem namota dok je kod jednofaznih moguć pomak u koracima od 180° (mogu biti u fazi ili protufazi).

Kod jednofaznih transformatora grupa spoja može se promijeniti različitim smjerom namatanja primarnog ili sekundarnog namota ili promjenom priključnica.

Da se odredi grupa spoja jednofaznog transformatora od instrumenata potreban je voltmeter s kojim se mjeri napon na primarnom namotu i voltmeter s kojim se mjeri napon između primarnog i sekundarnog namota.

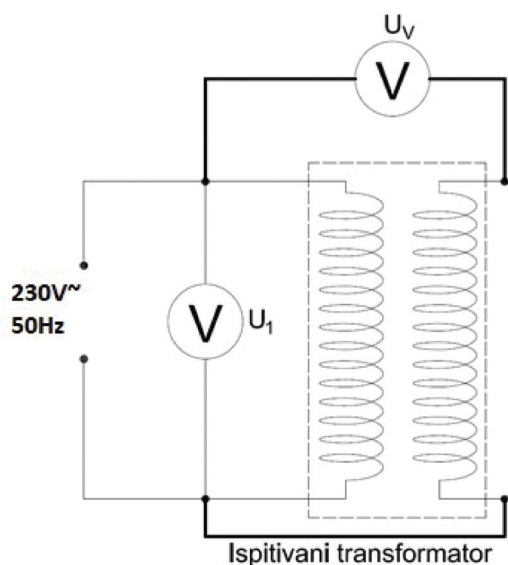
Ukoliko su naponi u fazi voltmetar će mjeriti:

$$U_V = U_1 - U_2, \quad (1)$$

dok će u slučaju protufaznog spoja mjeriti:

$$U_V = U_1 - (-U_2) = U_1 + U_2 \quad (2)$$

Uz poznati prijenosni omjer vrlo lako se može zaključiti o kojem se spoju radi. Potrebno je spojiti instrumente prema slici 1 i može se mjerenjem odrediti grupa spoja.



**Slika 1** Određivanje grupe spoja jednofaznog transformatora [1]

**Figure 1** Determination of vector group of single phase transformer [1]

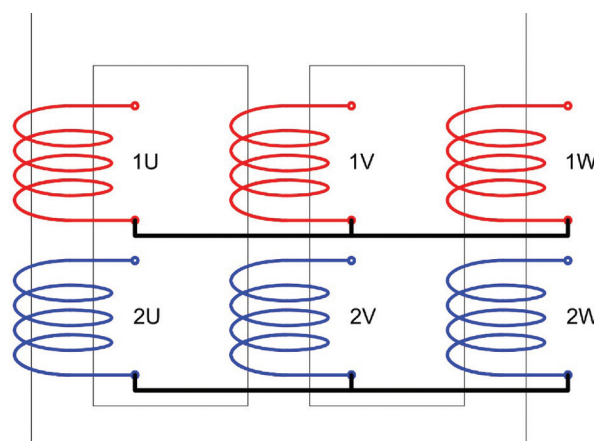
## 2. Grupa spoja trofaznog transformatora

### 2. Vector group of three phase transformer

Grupa spoja ili satni broj je jedan od najvažnijih podataka potrebnih za paralelni rad transformatora jer već pri najmanjim razlikama dolazi do neželjenih negativnih posljedica. Prije puštanja u pogon potrebno je provjeriti grupe spoja transformatora predviđenih za paralelni rad.

Trofazni transformatori se označavaju tako da im se primarni namot označava velikim tiskanim slovom, sekundar (tercijar) malim slovom, a grupa spoja s brojem, npr. Yy0. Primarni i sekundarni namot mogu biti u spoju zvijezda (Y), trokut (D) ili cik-cak (Z) dok grupa spoja može biti broj između 0 i 11 (svaki broj označava pomak za 30°). Ako je neutralna točka dostupna dodaje se i slovo N u oznaku.

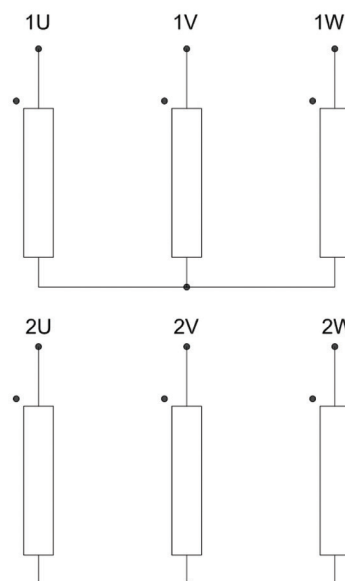
Na primjer, transformator s oznakom grupe spoja YNd5 ima primarni namot spojen u zvijezdu s dostupnom neutralnom točkom i sekundarni namot spojen u trokut, a fazni kut je na "5 sati" odnosno sekundar zaostaje za primarom za 150°. Promjena grupe spoja postiže se različitim smjerom namatanja namota i promjenom rasporeda namota na jezgri ili jednostavnije, promjenom priključnica pojedinih namota. Trofazni transformatori se najčešće izrađuju u trostupnoj izvedbi te im se na svakom stupu nalazi jedan primar i jedan sekundar.



**Slika 2** Trofazni trostupni transformator u spoju Yy0 [1]

**Figure 2** Three phase three legged core transformer in connection Yy0 [1]

Češće se shema trofaznog transformatora prikazuje u obliku:



**Slika 3** Shematski prikaz trofaznog trostupnog transformatora u spoju Yy0 [1]

**Figure 3** Equivalent schematics of three phase three legged core transformer in connection Yy0 [1]

Točkica označava smjer namatanja i od samog smjera namatanja bitniji je odnos između primara i sekundara, tj. jesu li namatani u različitim smjerovima. Ako su namoti primara i sekundara namatani u istim smjerovima, onda su i naponi u oba namota istog smjera. Ako su namotani u suprotnim smjerovima, tada su i naponi suprotnih smjerova.

### 3. Različite grupe spojeva trofaznih transformatora

#### 3. Various vector groups for three phase transformers

Teoretski mogući načini spajanja namota primara i sekundara su: Dd, Dy, Dz, Yd, Yy, Yz, Zd, Zy i Zz, ali su u praksi najčešći slučajevi prvih 6 prikazanih spojeva. Na slici 4 su prikazani uobičajeni spojevi namota trofaznih transformatora.

#### 4. Provjera grupe spoja pomoću voltmetra i fazorskog dijagrama

##### 4. Vector group determination using voltmeter and phasor diagram

Najjednostavnija metoda provjere grupe spoja koja ne zahtjeva specijalizirane uređaje je upravo voltmetarska metoda. Za provedbu mjerenja potrebno je kratko spojiti jedan kraj namota primarnog i sekundarnog namota i izmjeriti napone između preostalih stezaljki međusobno.

Nakon toga je potrebno pomoću šestara u mjerilu ucrtati pojedine napone te na taj način dobiti fazorski dijagram iz kojeg se može zaključiti o kojoj grupi spoja se radi.

Prvo je potrebno utvrditi je li primarni namot spojen u trokut ili u zvijezdu, a to se može otkriti tako da se odredi koliko priključnica ima namot, ako ima četiri radi se o spoju zvijezda ili razlomljena zvijezda (3 faze i nul vodič), a ako ima tri radi se o spoju trokut.

U tablici 1 su prikazani podaci modela trofaznog transformatora korištenog kod mjerenja.

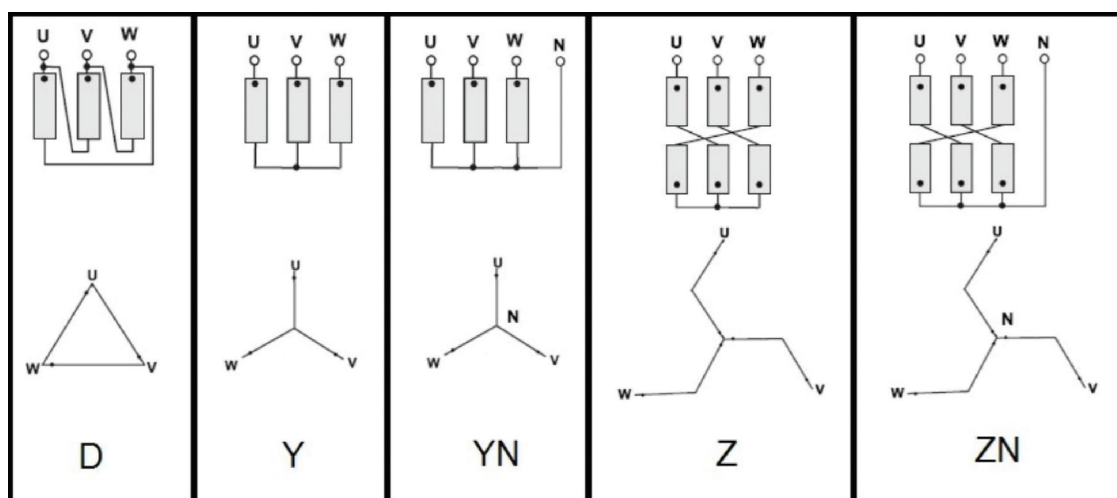
Tablica 1. Nazivni podaci korištenog modela transformatora

Table 1. Nominal values of used transformer model

$U_{\text{phase primary}}$ [V]	29
$U_{\text{phase secondary}}$ [V]	12
$P$ [VA]	72

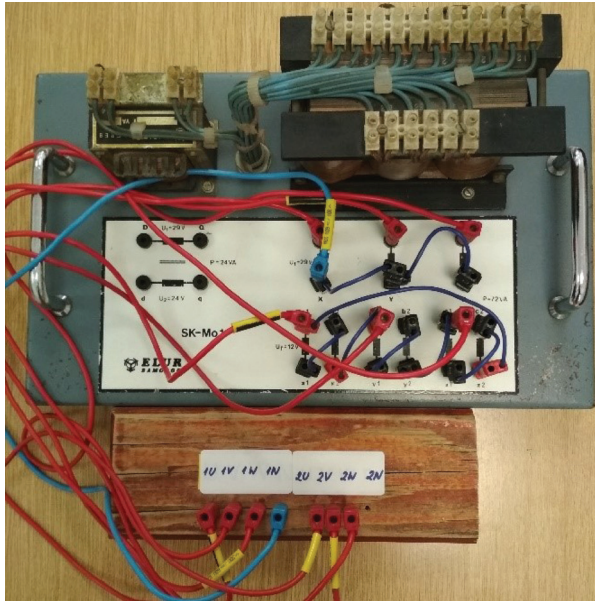
Na slici 5 je prikazan model trofaznog transformatora za spoj YNd5

Za određivanje grupe spoja sa slike 5, postupak je opisan u nastavku. Potrebno je kratko spojiti U fazu primara i sekundara (1U i 2U) i izmjeriti napone 1V-2V, 1V-2W, 1W-2V i 1W-2W. Sve veličine treba preračunati na primarnu stranu (podijeliti s nazivnim naponom primara) u svrhu lakšeg crtanja.



Slika 4 Fazorski dijagram različitih spojeva namota [2]

Figure 4 Phasor diagram of different possible connections of windings [2]

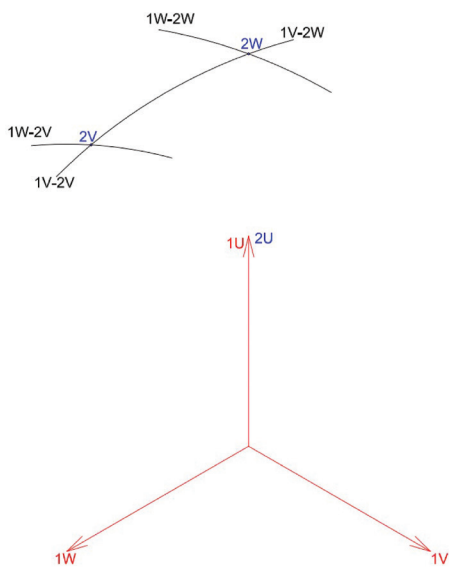


Slika 5 Model trofaznog transformatora za spoj YNd5  
 Figure 5 Model of three phase transformer in connection Yd5

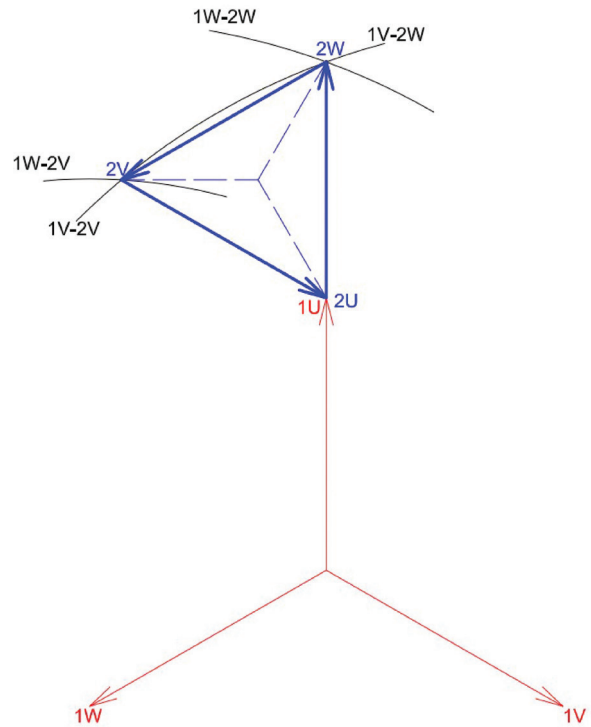
Dobivene vrijednosti su prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Mjerene vrijednosti za spoj YNd5  
 Table 2. Measured values for vector group YNd5

$U_{1V-2V}$ [p.u.]	2,52
$U_{1V-2W}$ [p.u.]	2,52
$U_{1W-2V}$ [p.u.]	1,94
$U_{1W-2W}$ [p.u.]	2,52

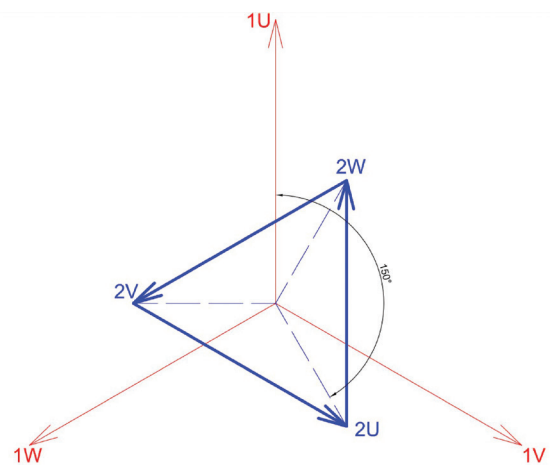


Slika 6 Fazorski dijagram nakon ucrtavanja izmjerenih vrijednosti sa šestarom  
 Figure 6 Phasor diagram after drawing of measured values using caliper



Slika 7 Potpuni fazorski dijagram za spoj YNd5  
 Figure 7 Complete phasor diagram for connection YNd5

Nakon ucrtavanja šestarom i spajanja točaka dobiva se potpuni fazorski dijagram transformatora iz kojeg se može zaključiti o kojem spoju se radi. Da bi se lakše vidjelo o kojoj grupi spoja se radi potrebno je translirati središte fiktivne zvijezde sekundara u središte zvijezde primara.



Slika 8 Potpuni fazorski dijagram s poklopljenim središtima primara i sekundara  
 Figure 8 Complete phasor diagram with coincident centers of primary and secondary windings

Sa slike 5 se može vidjeti da pomak prve faze sekundara u odnosu na prvu fazu primara iznosi 150° i da to odgovara grupi spoja YNd5.

Opisana metodologija se može koristiti i za preostale grupe spojeva trofaznih transformatora.

## 5. Provjera grupe spoja pomoću osciloskopa

### 5. Vector group determination using oscilloscope

Druga metoda pomoću koje se može provjeriti grupa spoja je pomoću osciloskopa. Sonde osciloskopa treba priključiti na priključnice namota transformatora te s ekrana osciloskopa očitati koliki je fazni pomak između pojedinih faza.

Naponi pojedinih faza primarnog namota iznose:

$$U_U = U_p \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$U_V = U_p \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (4)$$

$$U_W = U_p \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (5)$$

dok naponi sekundarnog namota iznose:

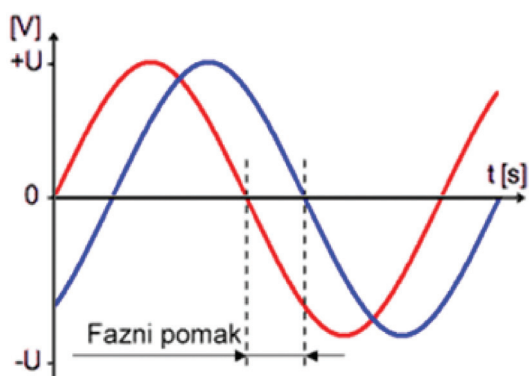
$$U_u = U_s \sin(\omega t - \varphi) \quad (6)$$

$$U_v = U_s \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi) \quad (7)$$

$$U_w = U_s \sin(\omega t - 240^\circ - \varphi) \quad (8)$$

gdje je  $\varphi$  fazni pomak između primarnog i sekundarnog namota.

Za određivanje grupe spoja potrebno je kratko spojiti jednu fazu primarnog i jednu fazu sekundarnog namota da bi se dobila referentna točka te potom izmjeriti fazni pomak između faza primarnog i sekundarnog namota.



Slika 9 Fazni pomak između dvije sinusne veličine [1]

Figure 9 Phase difference between two sinusoidal waves [1]

## 6. Zaključak

### 6. Conclusion

U ovom radu opisana je metodologija relativno jednostavnog određivanja satnog broja transformatora bez uporabe skupih uređaja odnosno korištenjem samo voltmetara adekvatnog mjernog područja napona. Određivanje satnog broja transformatora je izuzetno bitno kod paralelnog rada više transformatora jer već pri najmanjoj mogućoj razlici dolazi do struja izjednačenja koje iznose oko 57% nazivne struje transformatora te zagrijavanja transformatora i smanjenja prijenosne moći. Transformator se može bez pretjerivanja smatrati jednim od najbitnijih elemenata elektroenergetskog sustava zbog njihove važnosti u efikasnom prijenosu i distribuciji električne energije. Paralelni rad energetske transformatora česta je praksa zbog povećanja sigurnosti opskrbe električnom energijom krajnjih kupaca, ali i ekonomski isplativijeg načina nadogradnje elektroenergetskog sustava zbog stalnorastuće potrebe za električnom energijom. Naime, ekonomski je isplativije nadograditi postrojenje dodavanjem još jednog transformatora postojećem nego zamjena postojećeg s novim transformatorom veće snage.

## 7. REFERENCE

### 7. REFERENCES

- [1] Marković I.; Skripta za labose iz transformatora; Tehničko veleučilište u Zagrebu
- [2] <http://dv-power.com/wp-content/uploads/app-notes/transformer/A-TRF110-100-EN%20How%20to%20Determine%20Transformer%20Vector%20Group.pdf>

**AUTORI · AUTHORS****Ivor Marković**

Rođen je 18. 10. 1988. godine u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu pohađao je u Zagrebu. Preddiplomski i diplomski studij završio je 2012. godine na Fakultetu elektrotehnike i

računarstva, smjer Elektroenergetika. Trenutno radi kao predavač na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Također, trenutno radi na doktorskom radu iz područja Električnih strojeva i tehnologija na fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

**Korespodencija**

ivor.markovic@tvz.hr

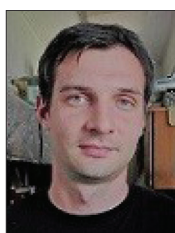
**Tomislav Novak**

Rođen je u Zagrebu 22.07.1985. godine. Osnovnu i srednju školu pohađao u Zagrebu. Preddiplomski i diplomski studij završio na Fakultetu elektrotehnike

i računarstva u Zagrebu 2010. godine, smjer Telekomunikacije i informatika. Radi kao predavač na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu od 2011. godine. Od 2012. godine honorarno radi kao instruktor objektno orijentiranog programiranja i Jave na NetAkademiji.

**Korespodencija**

tomislav.novak@tvz.hr

**Tomislav Đuran**

Rođen je u Zagrebu 2.12.1985. godine. U Zagrebu završava OŠ Luka i XV. gimnaziju (nekad MIOC). Upisuje 2004. godine Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilišta

u Zagrebu. Diplomirao je 2009. godine. U Končar MES-u je radio u periodu 2010-2017 godine kao projektant elektromotora i kasnije voditelj poslova Projekta, Elektrotehnologije i Elektromotornih pogona. Na TVZ-u je zaposlen kao asistent od 2017. godine. Izvodi laboratorijske i auditorne vježbe iz kolegija: Električni strojevi 1 i 2, Transformatori, Elektromotorni pogoni, Transformatori i električni strojevi.

**Korespodencija**

tomislav.duran@tvz.hr