Rastav nesimetričnih trofaznih sustava u sustav simetričnih komponenti pomoću računala

Banožić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:065808

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Preddiplomski studij

RASTAV NESIMETRIČNIH TROFAZNIH SUSTAVA U SUSTAV SIMETRIČNIH KOMPONENTI POMOĆU RAČUNALA

Završni rad

Marko Banožić

Osijek, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD……...….6

2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAVI……..….....7

2.1. Uvod.....7

2.2. Moderni sustavi.....7

2.2.1. Sustavi za proizvodnju el.energije.....8

2.2.2. Sustav za prijenos.....9

2.2.3. Distribucijski sustav.....11

2.2.4. Potrošnja.....12

3.METODA SIMETRIČNIH KOMPONENTI.....13

3.1. Povijest metode simetričnih komponenti.....13

3.2. Matematički model metode simetričnih komponenti.....15

3.3. Primjeri.....19

4.RASTAV TROFAZNIH SUSTAVA U SIMETRIČNE KOMPONENTE POMOĆU RAČUNALA.....24

4.1. MATLAB.....24

4.2. Rastav nesimetričnog sustava u simetrične komponente.....33

5.ZAKLJUČAK.....36

LITERATURA.....37

SAŽETAK/SUMMARY.....39

ŽIVOTOPIS.....40

1. UVOD

Temeljni zadatak elektroenergetskog sustava je pouzdana i kvalitetna opskrba električnom energijom a sastoji se od proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije. U pogonu elektroenergetskog sustava nastoji se održavati simetričnost, što znači da su fazori u fazama jednaki, a fazni kutovi pomaknuti za 120°. Ako je sustav simetričan, izračun je matematički lakši jer se provodi samo u jednoj fazi, a ako je sustav nesimetričan, proračun se mora izvršiti u sve tri faze što otežava matematički proračun. Zbog toga početkom 20. stoljeća matematičar Charles L. Fortescue objavljuje znanstveni rad temeljen na rješavanju problema nesimetričnosti u elektroenergetskom sustavu. Njegov rad temelj je za današnje načine rješavanja nesimetričnosti elektroenergetskog sustava i rastavljanje nesimetričnih komponenti pomoću računala.

Završni rad sadrži 4 poglavlja. U drugom poglavlju opisani su elektroenergetski sustavi, način proizvodnje, distribucije i potrošnje električne energije te su navedeni standardno propisani nazivni naponi za isporuku električne energije koji su potkrijepljeni primjerima u svijetu i u Hrvatskoj. U trećem poglavlju opisan povijesni razvoj metode nesimetričnih komponenti, objašnjeno je što su to nesimetrične komponente te kako ih matematički rastaviti u sustav simetričnih komponenti i navedeno je par primjera rješavanja nesimetričnosti. U četvrtom poglavlju objašnjen je rastav trofaznih sustava u simetrične komponente pomoću računalnog programa MATLAB. Peto poglavlje je zaključak rada, opisano su prednosti izračuna nesimetričnih sustava pomoću računalnog programa, te važnost primjene metode simetričnih komponenti u današnjim elektroenergetskim sustavima.

1.1. Zadatak rada

U radu je potrebno opisati i objasniti temelje trofaznog elektroenergetskog sustava. Objasniti metodu simetričnih komponenti s posebnim osvrtom na primjenu metode u proračunima u elektroenergetskom sustavu. Prikazati više primjera rastava originalnog nesimetričnog sustava u sustav simetričnih komponenti. Primjere rješavati pomoću računala.

2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAVI

2.1. Uvod

Prve električne mreže radile su na principu istosmjernih generatora koji su proizvodili el. energiju i distribuirali je pomoću podzemnih kabela. Pojavom generatora izmjenične struje izbjegao se najveći nedostatak istosmjerne struje: prijenos na veće udaljenosti. Prijenos izmjenične struje vrši se pomoću energetskih transformatora koji povisuju napon te time kod iste energije smanjuju struju, a time i gubitke električne energije.

2.2. Moderni sustavi

Današnji moderni sustavi *(Slika 2.1)* su kompleksno spojene mreže. Glavna podjela ovih sustava je [1]:

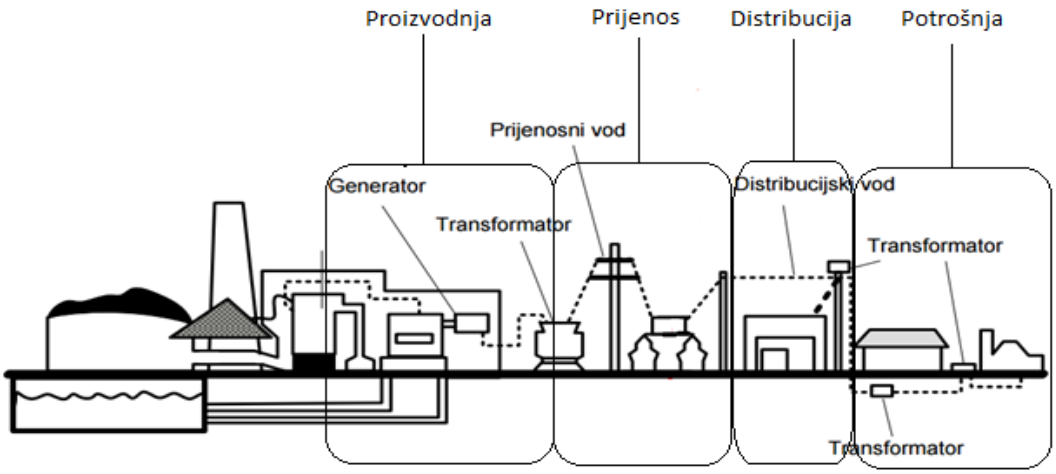
-Sustav za proizvodnju

-Sustav za prijenos

-Sustav za distribuciju

-Potrošnja

U sljedećem podpoglavlju opisana je podjela modernih sustava te su uz objašnjenje navedeni primjeri kako to funkcionira u RH.



Slika 2.1. Shematski prikaz modernog sustava

2.2.1. Sustavi za proizvodnju el. energije

Jedna od glavnih komponenti za proizvodnju električne energije u trofaznom sustavu su izmjenični generatori poznatiji kao sinkroni generatori ili alternatori**.** Sinkroni generatori imaju dva sinkrona rotacijska polja: jedno koje proizvodi rotor i jedno koje proizvodi stator.[1] Današnji sistemi koriste izmjenične generatore s rotirajućim ispravljačima poznatijim kao *Brushless*.[1] Kod nas u RH, najveći proizvođač je HEP proizvodnja d.o.o. koji ima 26 hidroelektrana raspodijeljene na tri područja: Sjever-Zapad-Jug, samostalnu HE Dubrovnik *(slika 2.2.)* te četiri termoelektrane. Za 2014 godinu iz službenih dokumenata EIHP-a proizvedeno je ukupno 11958,4 GWh električne energije koje su proizvele hidroelektrane i termoelektrane, od čega su hidroelektrane proizvele 9067,9 GWh, a termoelektrane 1449,7 GWh, te termoelektrana Plomin koja je proizvela 1440,8 GWh. [11]



Slika 2.2. Prikaz HE Dubrovnik 2 iz zraka[7]

2.2.2. Sustav za prijenos

Svrha sustava za prijenos je da proizvedenu električnu energiju prenese do sustava za distribuciju koji u konačnici isporučuje el. energiju. Sustavi za prijenos prenose velike količine električne energije prijenosnim vodovima na veliku udaljenost *(slika 2.3.)* koji se kasnije snižavaju energetskim transformatorima [6] *(slika 2.4.)*, te se u procesu prijenosa snižavaju naponi. Standardni nazivni naponi prijenosa su 110 kV, 220 kV i 400 kV.[6]

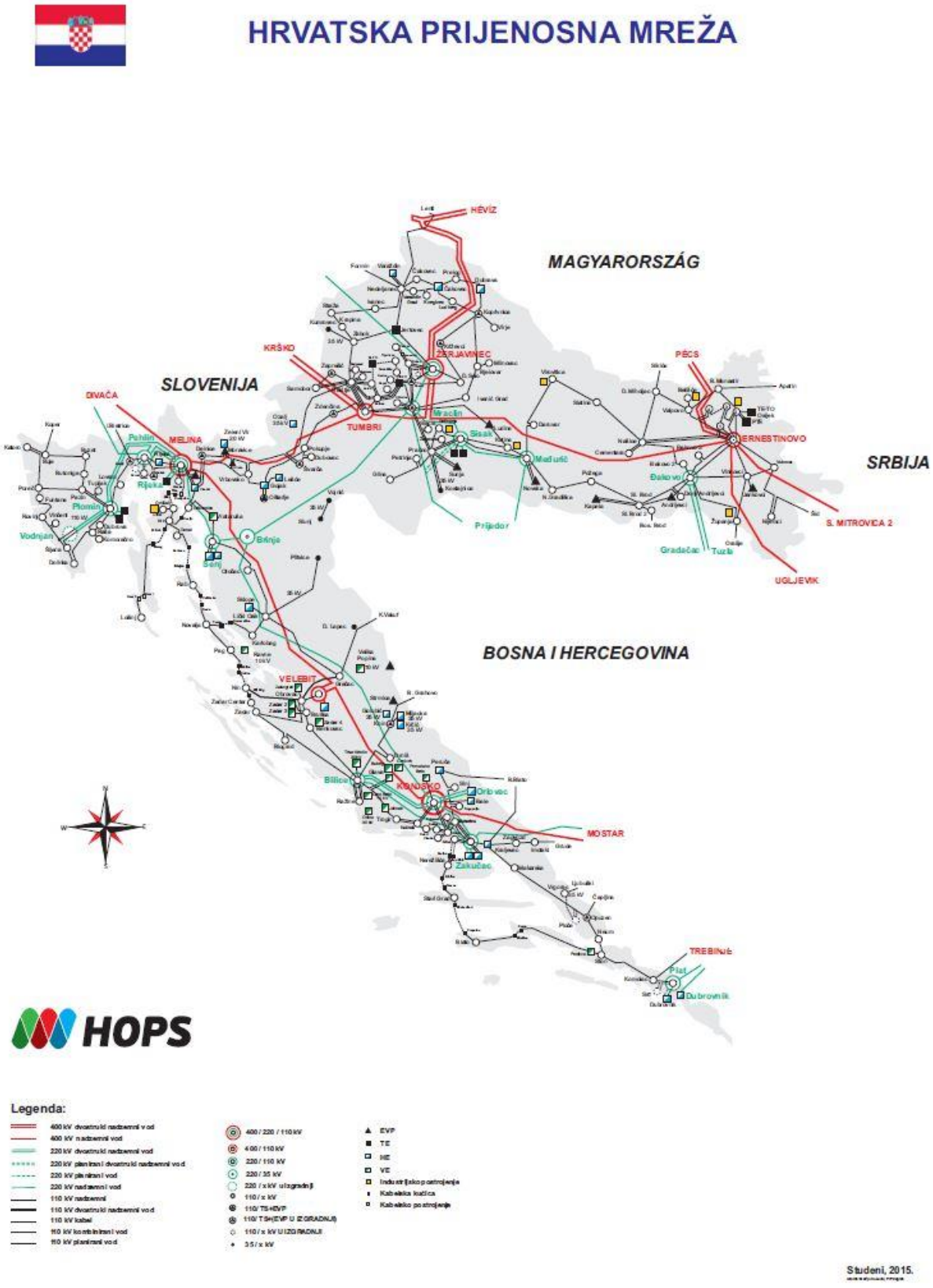
Slika 2.5. prikazuje Hrvatsku prijenosnu mrežu



Slika 2.3. Prikaz prijenosnog voda



Slika 2.4. Prikaz transformatora[9]



Slika 2.5. Prikaz Hrvatske prijenosne mreže[8]

2.2.3. Sustav za distribuciju

Distribucijski sustav je dio elektroenergetske mreže koji napon prijenosne mreže smanjuje na napon pogodan za korištenje krajnjih kupaca. U Republici Hrvatskoj, prijenosni napon 110 kV se smanjuje u trafostanicama 110/35(30) kV na napon 35(30) kV ili pomoću direktne transformacije na napon 10(20) kV. U trafostanicama 35(30)/10(20) kV napon se transformira na 10(20) kV napon te se zračnim ili kabelskim vodovima dovodi do trafostanica 10(20)/0,4 kV u kojima se napon 0,4/0,23 kV razvodi do krajnjih kupaca.[6] Distributivna mreža se prema nazivnom naponu dijeli na niskonaponsku i srednjenaponsku mrežu. Niskonaponska mreža su naponi do 1 kV, dok su naponi u srednjenaponskoj mreži nazivnih napona 10(20) kV i 30(35) kV. Niskonaponski linijski napon iznosi 400 V, dok je fazni napon 230 V. [6] Distribucija se obavlja kabelima postavljenim po zraku ili u zemlji. Kabeli ispod zemlje su učinkovitiji i čine 70% nove konstrukcije distribucije el. energije u svijetu. Kod nas se još većinom koriste zračni vodovi za distribuciju el. energije.

Slika 2.6 prikazuje distribucijski vod.



Slika 2.6. Prikaz distribucijskog voda

2.2.4. Potrošnja

Potrošnja električne energije se dijeli na industrijsku, komercijalnu i potrošnju domaćinstava. Veoma velika industrijska postrojenja koriste prijenosni sustav za napajanje, velika industrijska postrojenja koriste podprijenosni sustav za potrošnju, mala industrijska postrojenja koriste distribucijski sustav za napajanje. [6] Potrošnja el. energije izražava se u kilovatsatima (kWh) ili megavatsatima (MWh). Potrošnja u elektroenergetskom sustavu varira tijekom cijelog dana i ovisi o mnogobrojnim faktorima. U Hrvatskoj postoji samo jedan ovlašteni distributer električne energije, HEP ODS d.o.o.. Računi za potrošenu električnu energiju dolaze mjesečno ili polugodišnje, u ovisnosti o kategoriji kupca. Da bi distributer mogao obračunavati potrošnju električne energije potrebno je imati instalirano brojilo električne energije *(slika 2.7.)* koje mjeri električnu energiju isporučenu krajnjem kupcu. U ovisnosti o vrsti priključka, brojila mogu biti jednofazna ili trofazna brojila.

Ukupna potrošnja u Republici Hrvatskoj prema podatcima Hrvatske gospodarske komore za 2014. godinu iznosila je 14.183.353.724 kWh [11] od čega je:

Gospodarstvo: 7 721 594 921 kWh

Javna rasvjeta: 428 832 559 kWh

Kućanstvo: 6 032 926 244kWh



Slika 2.7. Prikaz brojila električne energije

3. METODA SIMETRIČNIH KOMPONENTI

3.1. Povijest metode simetričnih komponenti:

Za nesimetrične trofazne sustave vrijedi da struje (naponi) nisu međusobno jednaki po iznosu ili kutu ili oboje. Uzroci tome mogu biti sljedeći:

1. nesimetrično opterećenje (elektrolučne peći, željeznica),

2. kvarovi u mreži osim trofaznog kratkog spoja,

3. nejednake elektromotorne sile po pojedinim fazama (pogreška u građenju generatora).

Najčešći uzroci nesimetrija u trofaznom sustavu su nesimetrična opterećenja i kvarovi u mreži. Naravno, budući da prilike u svim fazama nisu usporedive, nije više moguće prilike u mreži promatrati kroz prilike u samo jednoj fazi. Kada bi se prilike u ovakvom nesimetričnom sustavu promatrale za svaku fazu posebno, proračun bi bio dugačak. Zbog vrlo jednostavnog proračunavanja prilika u mreži kada su prilike simetrične, želja je na neki način rastaviti ovakav nesimetričan trofazni sustav u 3 simetrična trofazna sustava. Tako je nastala metoda simetričnih komponenti.

Charles Fortescue je našao zanimljivu funkciju kojom bi mogao postići gore navedeni cilj. Godine 1913. Charles Fortescue (slika 3.1) pokušavao je matematički odrediti uvjete rada asinkronih motora pod nestabilnim okolnostima. Cilj studije bio je napraviti izraz za rješavanje višefaznih sustava. [2]



Slika 3.1 Charles L.Fortescue[10]

Ovo su komentari tadašnjih stručnjaka nakon što je Charles Fortescue objavio rad:

C.P.Steinmatz:“U rješavanju i istraživanju višefaznih sustava (najčešće trofaznih) poteškoće kod rješavanja nisu bile toliko matematičke prirode koliko su bile mehaničke.“

V. Karapetoff:“ Gospodin Fortescue zaslužuje nagradu za svoj rad odnosno zato što je našao novu metodu za riješavanje problema višefaznih sustava i što je primjenio metodu na razne slučajeve.“

A.M.Dudley:“Naglasak je stavljen na praktičnu primjenu ovoga riješenja.“

Charles F. Scott:“Matematičari i inžinjeri imaju svoja određene uvjete, i svoje pohvale kao i kritike.“

C.O. Malloux:“Ovo je drugi odličan završni rad koji je gospodin Fortescue prezentirao.“

Charles L. Fortescue:“Pretpostavio sam da je završni rad jednostavan, matematika nije teška za shvatiti, bilo tko ju može pratiti kao što može pretrpjeti bolove“

3.2. Matematički model metode simetričnih komponenti

Simetrični trofazni sustav može se promatrati kao jednofazni sustav i tako pojednostaviti proračun [4]. Kada se u mreži pojavljuju nesimetrije primjenjuje se transformacija nesimetričnog sustava u sustave simetričnih komponenata.

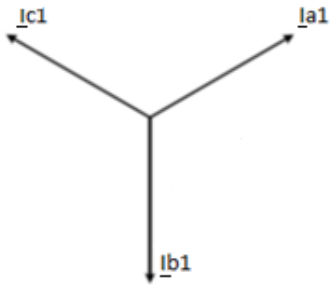
Transformacija originalnog sustava ima smisla ako se dobije shema prikladnija za proračun.

Različiti tipovi nesimetričnih kvarova riješeni su konceptom metode simetričnih komponenti.

Prema radu Charlesa L. Fortsecue-a nesimetrični fazori trofaznog sustava mogu se pomoću metode simetričnih komponenata rastaviti na tri sustava:

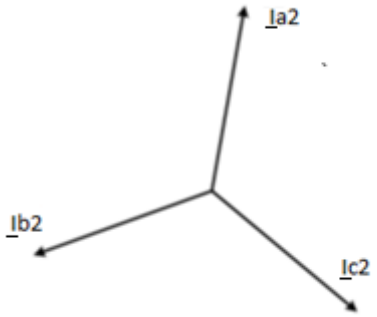
- direktni sustav s jednakim redoslijedom faza kao i simetrični sustav,

$$\underline{I}_{a1} = \underline{I}_1$$
$$\underline{I}_{b1} = a^2 \cdot \underline{I}_1$$
$$\underline{I}_{c1} = a \cdot \underline{I}_1$$



- inverzni sustav s obrnutim redoslijedom faza u odnosu na direktni sustav,

$$\underline{I}_{a2} = \underline{I}_2$$
$$\underline{I}_{b2} = a \cdot \underline{I}_2$$
$$\underline{I}_{c2} = a^2 \cdot \underline{I}_2$$

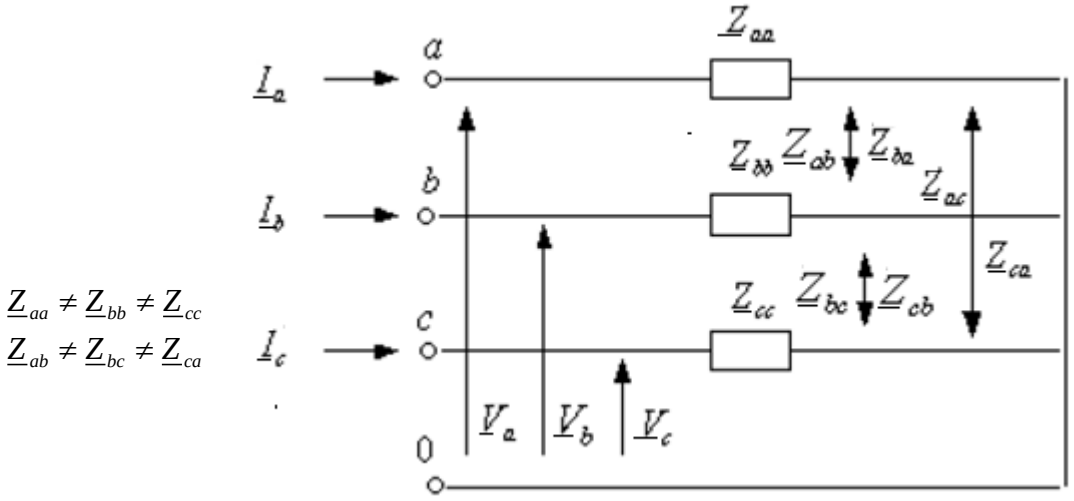


- nulti sustav s tri isto fazne komponente .

$$\underline{I}_{a0} = \underline{I}_0$$
$$\underline{I}_{b0} = \underline{I}_0$$
$$\underline{I}_{c0} = \underline{I}_0$$



Na slici (*3.2.)* je prikazan nesimetrični trofazni potrošač spojen u zvijezdu s nulvodičem i induktivnom vezom među fazama:



Slika 3.2. Prikaz trofaznog potrošača spojenog u zvijezdu s nulvodičem i induktivnom vezom

Odnosi napona i struja prikazani su prema jednadžbama(3-1):

$$\begin{aligned} \underline{V}_a &= \underline{Z}_{aa} \cdot \underline{I}_a + \underline{Z}_{ab} \cdot \underline{I}_b + \underline{Z}_{ac} \cdot \underline{I}_c \\ \underline{V}_b &= \underline{Z}_{ba} \cdot \underline{I}_a + \underline{Z}_{bb} \cdot \underline{I}_b + \underline{Z}_{bc} \cdot \underline{I}_c \\ \underline{V}_c &= \underline{Z}_{ca} \cdot \underline{I}_a + \underline{Z}_{cb} \cdot \underline{I}_b + \underline{Z}_{cc} \cdot \underline{I}_c \end{aligned} \tag{3-1}$$

U sažetom obliku jednadžba (3-2) glasi:

$$\left[\underline{V}^{abc}\right] = \left[\underline{Z}^{abc}\right]\left[\underline{I}^{abc}\right] \tag{3-2}$$

Oznake a, b, c predstavljaju faze originalnog nesimetričnog sustava koji se zbog nesimetrije ne može prikazati jednofazno te ga je potrebno rastaviti u sustav simetričnih komponenti. nesimetrični sustav te ga se ne može prikazati kao jednofazni, zato ga se pretvara u sustav simetričnih komponenti. Vektore $\underline{V}_a$, $\underline{V}_b$ *i* $\underline{V}_c$ rastavljaju se na tri sumanda (3-3) sa simetričnim sustavom:nulti (0), direktni (1) i inverzni (2). U direktnom sustavu redoslijed je a, b, c, dok u inverznom je a, c, b.

$$\begin{aligned}\underline{V}_a &= \underline{V}_{a0} + \underline{V}_{a1} + \underline{V}_{a2}\\ \underline{V}_b &= \underline{V}_{b0} + \underline{V}_{b1} + \underline{V}_{b2}\\ \underline{V}_c &= \underline{V}_{c0} + \underline{V}_{c1} + \underline{V}_{c2}\end{aligned} \tag{3-3}$$

Potrebno je uvesti vektorski operator: $\vec{a} = 1\angle 120^\circ = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = -0,5 + j0,866$

Vektori simetričnih komponenti, mogu se izraziti pomoću navedenog operatora i vektora simetričnih komponenti faze a.:

Nulti sustav:

$$\underline{V}_{a0} = \underline{V}_{b0} = \underline{V}_{c0} = \underline{V}_0 \tag{3-4}$$

Direktni sustav:

$$\begin{aligned}\underline{V}_{a1} &= \underline{V}_1\\ \underline{V}_{b1} &= a^2 \cdot \underline{V}_1\\ \underline{V}_{c1} &= a \cdot \underline{V}_1\end{aligned} \tag{3-5}$$

Inverzni sustav:

$$\begin{aligned}\underline{V}_{a2} &= \underline{V}_2\\ \underline{V}_{b2} &= a \cdot \underline{V}_2\\ \underline{V}_{c2} &= a^2 \cdot \underline{V}_2\end{aligned} \tag{3-6}$$

Jednadžba (3-3) u matričnom obliku glasi **(**3-7):

$$\begin{bmatrix}\underline{V}_a\\ \underline{V}_b\\ \underline{V}_c\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a^2 & a\\ 1 & a & a^2\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\underline{V}_0\\ \underline{V}_1\\ \underline{V}_2\end{bmatrix} \tag{3-7}$$

Naponi nesimetričnog sustava:

$$\left[\underline{V}^{abc}\right] = \begin{bmatrix}\underline{V}_a\\ \underline{V}_b\\ \underline{V}_c\end{bmatrix} \tag{3-8}$$

Naponi simetričnih komponenti:

$$\left[\underline{V}^{012}\right]=\begin{bmatrix}\underline{V}_0\\ \underline{V}_1\\ \underline{V}_2\end{bmatrix} \tag{3-9}$$

Matrica transformacije:

$$\left[\underline{T}\right]=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a^2 & a\\ 1 & a & a^2\end{bmatrix} \tag{3-10}$$

Matrica transformacije prevodi sustav simetričnih komponenti u originalni

$$\begin{bmatrix}\underline{V}_0\\ \underline{V}_1\\ \underline{V}_2\end{bmatrix}=\frac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a & a^2\\ 1 & a^2 & a\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\underline{V}_a\\ \underline{V}_b\\ \underline{V}_c\end{bmatrix} \tag{3-11}$$

Transformacija struje jednaka je transformaciji napona. Specijalni slučaj primjene metode simetričnih komponenata je simetrični trofazni sustav. Simetrični trofazni sustav karakterizira jednake vlastite ($\underline{Z}_v$) i jednake međusobne ($\underline{Z}_m$) impedancije.

$$\begin{aligned}&\underline{Z}_{aa}=\underline{Z}_{bb}=\underline{Z}_{cc}=\underline{Z}_v;\\ &\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{ba}=\underline{Z}_{ac}=\underline{Z}_{ca}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{cb}=\underline{Z}_m\end{aligned} \tag{3-12}$$

Simetrične impedancije zatim glase**:**

$$\left[\underline{Z}^{012}\right]=\left[\underline{T}\right]^{-1}\cdot\left[\underline{Z}^{abc}\right]\cdot\left[\underline{T}\right]=\frac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a & a^2\\ 1 & a^2 & a\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\underline{Z}_v & \underline{Z}_m & \underline{Z}_m\\ \underline{Z}_m & \underline{Z}_v & \underline{Z}_m\\ \underline{Z}_m & \underline{Z}_m & \underline{Z}_v\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a^2 & a\\ 1 & a & a^2\end{bmatrix}= \tag{3-13}$$

$$=\begin{bmatrix}\underline{Z}_v+2\underline{Z}_m & 0 & 0\\ 0 & \underline{Z}_v-\underline{Z}_m & 0\\ 0 & 0 & \underline{Z}_v-\underline{Z}_m\end{bmatrix}$$

Što znači da su sustavi komponenti impedancije međusobno neovisni

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{00} &= \underline{Z}_v + 2\underline{Z}_m \\ \underline{Z}_{11} &= \underline{Z}_{22} = \underline{Z}_v - \underline{Z}_m \\ \underline{Z}_{01} &= \underline{Z}_{10} = \underline{Z}_{02} = \underline{Z}_{20} = \underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21} = 0\end{aligned} \tag{3-14}$$

3.3. Primjeri

U slijedečim primjerima prikazani su simetrični sustavi, nesimetrični sustavi napona rastavljeni na simetrične komponente. Nesimetrični sustavi napona prikazani su grafički i analitički. Primjer 1. preuzet je s predavanja L. Jozsa, Proračun struja kratkih spojeva, a primjeri 2. i 3. s auditornih vježbi : S. Krajcar, M. Delimar Električna postrojenja, FER.

Primjer 1.[3]**:** Fazori u originalnom sustavu:

$$\begin{aligned}\underline{V}_a &= \underline{V}_a \angle 0^\circ \\ \underline{V}_b &= a^2 \underline{V}_a \\ \underline{V}_c &= a\underline{V}_a\end{aligned}$$

U primjeru je prikazan simetričan sustav, u kojem su vektori napona jednakih iznosa i fazno pomaknuti za 120 °. Kao što smo ranije u 3. Poglavlju naveli: nulta i inverzna komponenta napona je jednaka nuli uz pretpostavku simetričnih sila koji napaja vod:

$$\begin{aligned}\underline{V}_0 &= \frac{1}{3}(\underline{V}_a + a^2 \cdot \underline{V}_a + a \cdot \underline{V}_a) = 0 \\ \underline{V}_1 &= \frac{1}{3}(\underline{V}_a + a^3 \cdot \underline{V}_a + a^3 \cdot \underline{V}_a) = \underline{V}_a \\ \underline{V}_2 &= \frac{1}{3}(\underline{V}_a + a \cdot \underline{V}_a + a^2 \cdot \underline{V}_a) = 0\end{aligned}$$

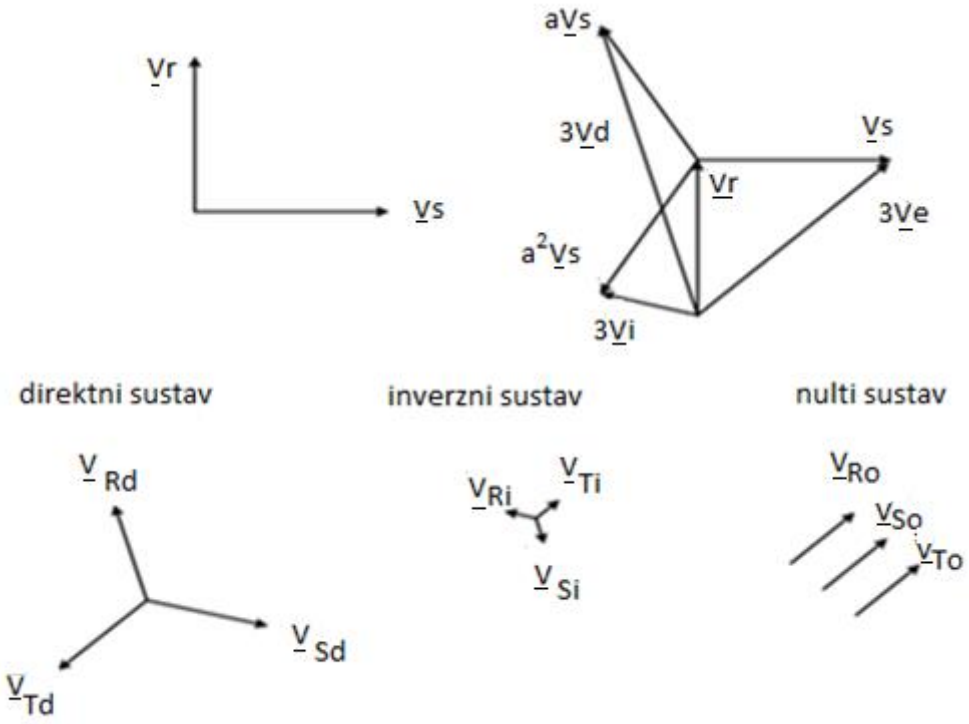
Primjer 2.[5]**:**

Grafički i analitički rastavite nesimetričan sustav napona na simetrične komponente!

$$\begin{aligned}\underline{V}_R &= 6\angle 90° \; kV \\ \underline{V}_S &= 6\angle 0° \; kV \\ \underline{V}_T &= 0 \; kV\end{aligned}$$

Rješenje:

a) grafički:



b) analitički:

$$\underline{V}_d = \frac{1}{3}(\underline{V}_R + a \cdot \underline{V}_S + a^2 \cdot \underline{V}_T) = \frac{1}{3}(6\angle 90° + 1\angle 120° \cdot 6\angle 0° + 1\angle 240° \cdot 0)$$
$$= 2 \cdot (\cos 90° + j \sin 90° + \cos 120° + j \sin 120°) =$$
$$= 2 \cdot (1j - 0,5 + j0,866) = -1 + j3,732 = 3,86\angle 105°\ kV$$
$$\underline{V}_{Rd} = \underline{V}_d = 3,86\angle 105°\ kV$$
$$\underline{V}_{Sd} = a^2 \cdot \underline{V}_d = 1\angle 240° \cdot 3,86\angle 105° = 3,86\angle 345°\ kV = 3,86\angle -15°\ kV$$
$$\underline{V}_{Td} = a \cdot \underline{V}_d = 1\angle 120° \cdot 3,86\angle 105° = 3,86\angle 225°\ kV = 3,86\angle -135°\ kV$$
$$\underline{V}_i = \frac{1}{3}(\underline{V}_R + a^2 \cdot \underline{V}_S + a \cdot \underline{V}_T) = \frac{1}{3}(6\angle 90° + 1\angle 240° \cdot 6\angle 0°) = 1,035\angle 165°\ kV$$
$$\underline{V}_{Ri} = \underline{V}_i = 1,035\angle 165°\ kV$$
$$\underline{V}_{Si} = a \cdot \underline{V}_i = 1,035\angle 285°\ kV = 1,035\angle -75°\ kV$$
$$\underline{V}_{Ti} = a^2 \cdot \underline{V}_i = 1,035\angle 45°\ kV$$
$$\underline{V}_0 = \frac{1}{3}(\underline{V}_R + \underline{V}_S + \underline{V}_T) = \frac{1}{3}(6\angle 90° + 6\angle 0°) = 2,828\angle 45°\ kV$$
$$\underline{V}_{R0} = \underline{V}_{S0} = \underline{V}_{T0} = \underline{V}_0 = 2,828\angle 45°\ kV$$

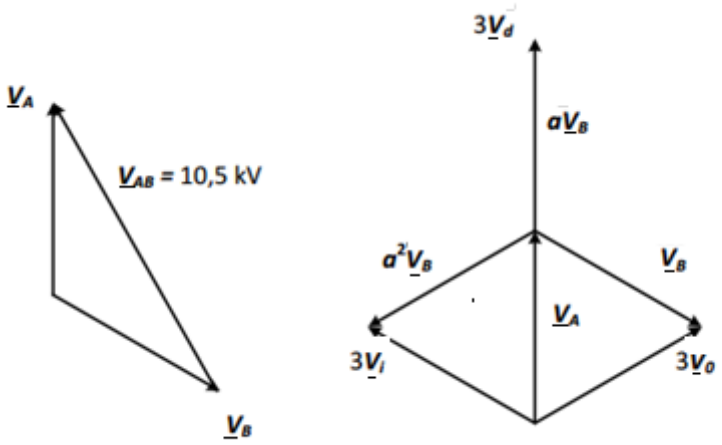
Primjer 3.[5]**:**

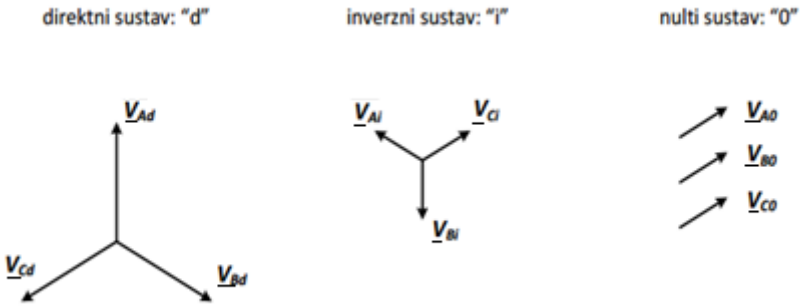
Odredite grafički i analitički direktni, inverzni i nulti sustav faznih napona na stezaljkama trofaznog generatora, koji nije priključen na mrežu, a kod kojeg je došlo do prekida namota faze C s odgovarajućom stezaljkom generatora. Između druge dvije stezaljke izmjeren je napon 10,5 kV.

$$\underline{V}_d = \frac{1}{3}(\underline{V}_A + a\underline{V}_B)$$
$$\underline{V}_i = \frac{1}{3}(\underline{V}_A + a^2\underline{V}_B)$$
$$\underline{V}_0 = \frac{1}{3}(\underline{V}_A + \underline{V}_B)$$

Rješenje:

a) grafički:





b) analitički:

$$|\underline{V}_{AB}| = 10,5\ kV \Rightarrow |\underline{V}_A| = |\underline{V}_B| = 6,06\ kV$$

$$\underline{V}_A = 6,06\angle 90° = j6,06\ kV \Rightarrow$$

$$\underline{V}_B = 6,06\angle -30° = 6,06(0,866 - j0,5) = 5,25 - j3,03\ kV$$

$$\underline{V}_C = 0\ kV$$

$$\underline{V}_{Ad} = \underline{V}_d = \frac{1}{3}(\underline{V}_A + a\cdot\underline{V}_B + a^2\cdot\underline{V}_C) = \frac{1}{3}(6,06\angle 90° + 6,06\angle -30°\cdot 1\angle 120°) =$$

$$= \frac{1}{3}(6,06\angle 90° + 6,06\angle 90°) = j4,04 = 4,04\angle 90°\ kV$$

$$\underline{V}_{Bd} = a^2\cdot\underline{V}_d = 1\angle 240°\cdot 4,04\angle 90° = 4,04\angle 330°\ kV = 4,04\angle -30°\ kV$$

$$\underline{V}_{Cd} = a\cdot\underline{V}_d = 1\angle 120°\cdot 4,04\angle 90° = 4,04\angle 210°\ kV = 4,04\angle -150°\ kV$$

$$\underline{V}_{Ai} = \underline{V}_i = \frac{1}{3}(\underline{V}_A + a^2\cdot\underline{V}_B + a\cdot\underline{V}_C) = \frac{1}{3}(6,06\angle 90° + 6,06\angle -30°\cdot 1\angle 240°) =$$

$$= \frac{1}{3}(6,06\angle 90° + 6,06\angle 210° = 2,02(j - 0,866 - j0,5) = 2,02(-0,866 + j0,5) = 2,02\angle 150°\ kV$$

$$\underline{V}_{Bi} = a\cdot\underline{V}_i = 1\angle 120°\cdot 2,02\angle 150° = 2,02\angle 270° = 2,02\angle -90°\ kV$$

$$\underline{V}_{Ci} = a^2\cdot\underline{V}_i = 1\angle 240°\cdot 2,02\angle 150° = 2,02\angle 390° = 2,02\angle 30°\ kV$$

$$\underline{V}_{A0} = \underline{V}_{B0} = \underline{V}_{C0} = \underline{V}_0 = \frac{1}{3}(\underline{V}_A + \underline{V}_B + \underline{V}_C) = \frac{1}{3}(6,06\angle 90° + 6,06\angle -30°) =$$

$$= 2,02(j + 0,866 - j0,5) = 2,02(0,866 + j0,5) = 2,02\angle 30°\ kV$$

4. RASTAV TROFAZNIH SUSTAVA U SIMETRIČNE KOMPONENTE POMOĆU RAČUNALA

4.1. MATLAB:

Rastavljanje faznih sustava na simetrične komponente pomoću MATLAB programa je veoma jednostavno jednom kada je matrica za pretvaranje **T** definirana. Za brze izračune u MATLAB programu koristimo slijedeće unaprijed definirane funkcije:[1]

sctm: služi za definiranje matrice **T**. Upisivanjem sctm u program definiramo matricu T.

phasor(F): služi za određivanje veličine fazora i faznog kuta

abc2sc: ova naredba vraća simetrične komponente u nesimetrične fazore u algebarskom obliku. Isto tako prvi red označava veličinu dok drugi označava fazni kut za a,b,c faze.

sc2abc: Ova naredba ima inverzni učinak u odnosu na naredbu abc2sc.

zabc2sc: Ova naredba pretvara originalne impedancije u simetrične komponente.

rec2pol: Pretvara algebarski fazor u polarni.

pol2rec: Pretvara polarni fazor u algebarski.

U sljedećim primjerima prikazani su rastavi nesimetrični sustava na simetrične komponente. Primjeri su riješeni računalnim programom MATLAB. Primjeri su preuzeti iz literature H. Saadat, Power System Analysis, Milwaukee School of Engineering.

Primjer 1.[1]

Izračunaj simetrične komponente za:

$$\underline{I}_a = 1,6\angle 25°$$

$$\underline{I}_b = 1,0\angle 180°$$

$$\underline{I}_c = 0,9\angle 132°$$

U slijedećem primjeru korištene su naredbe: abc2sc (vraća simetrične komponente u nesimetrične fazore u algebarski oblik), i rec2pol (pretvara algebarski fazor u polarni).

Naredba:

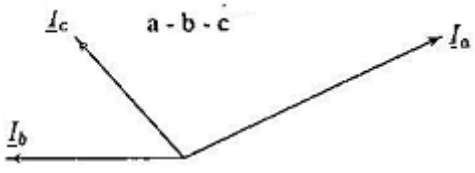
$$\underline{I}_{abc} = \begin{matrix}[1,6 & 25 \\ 1,0 & 180 \\ 0,9 & 132];\end{matrix}$$

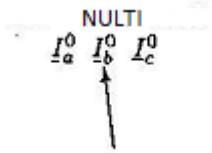
$$\underline{I}_{012} = abc2sc\left(\underline{I}_{abc}\right);$$

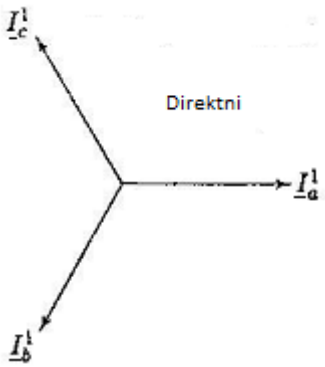
$$\underline{I}_{012p} = rec2pol\left(\underline{I}_{012}\right)$$

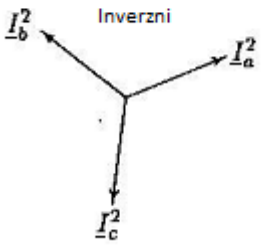
Rješenje:

$$\underline{I}_{012P} = \begin{matrix}0,4512 & 96,4629 \\ 0,9435 & -0,0550 \\ 0,6024 & 22,3157\end{matrix}$$









Primjer 2.[1]

Simetrične komponente sa nesimetričnim naponima su :

$$\underline{V}_{a0} = 0,6\angle 90°$$

$$\underline{V}_{a1} = 1,0\angle 30°$$

$$\underline{V}_{a2} = 0,8\angle 30°$$

Izračunajte originalne nesimetrične fazore.

U slijedećem primjeru koriste se naredbe:sc2abc (inverzni učinak u odnosu na prošli primjer), rec2pol (objašnjeno u prošlom primjeru).

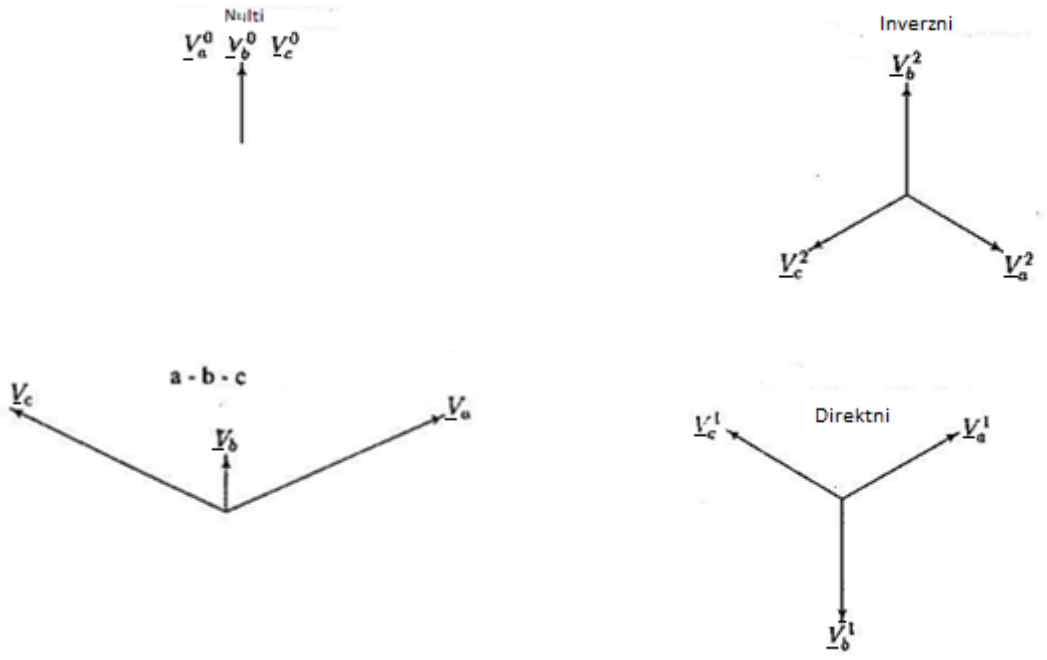
Naredba:

$$\underline{V}_{012} = \begin{bmatrix} 0,6 & 90 \\ 1,0 & 30 \\ 0,8 & -30 \end{bmatrix};$$

$$\underline{V}_{abc} = sc2abc\left(\underline{V}_{012}\right);$$

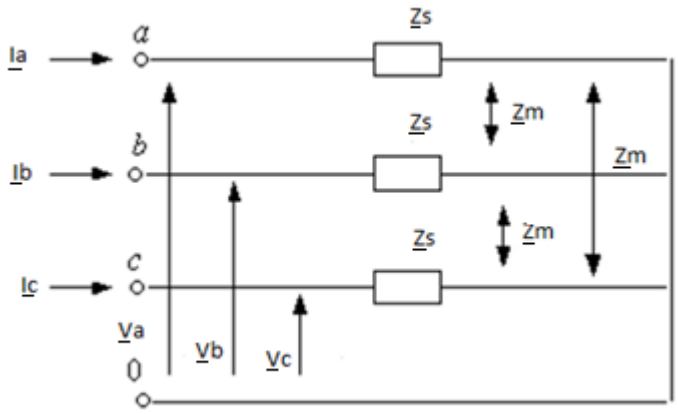
Rješenje:

$$\underline{V}_{abcp} = \begin{matrix} 1,7088 & 24,1825 \\ 0,400 & 90,0000 \\ 1,7088 & 155,8175 \end{matrix}$$



Primjer 3. Slijed impedancija za spoj u zvijezdu[1]

Trofazni sustav spojen u zvijezdu gdje je nula uzemljena preko impedancije $\underline{Z}_n$ (Slika 4.1)



Slika 4.1. Prikaz trofaznog sustava spojenog u zvijezdu

Naponi (4-1) za trofazni sustav (slika 4.1.) su:

$$\begin{aligned} \underline{V}_a &= \underline{Z}_s \cdot \underline{I}_a + \underline{Z}_m \underline{I}_b + \underline{Z}_m \underline{I}_c + \underline{Z}_n \underline{I}_n \\ \underline{V}_b &= \underline{Z}_m \cdot \underline{I}_a + \underline{Z}_s \underline{I}_b + \underline{Z}_m \underline{I}_c + \underline{Z}_n \underline{I}_n \\ \underline{V}_c &= \underline{Z}_m \cdot \underline{I}_a + \underline{Z}_m \underline{I}_b + \underline{Z}_s \underline{I}_c + \underline{Z}_n \underline{I}_n \end{aligned} \qquad (4\text{-}1)$$

Za kirchoffov zakon vrijedi :

$$\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c \tag{4-2}$$

Matrica :

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_a \\ \underline{V}_b \\ \underline{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_s + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n \\ \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_s + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n \\ \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_s + \underline{Z}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{bmatrix} \tag{4-3}$$

Ili u skraćenom obliku :

$$\underline{V}^{abc} = \underline{Z}^{abc}\,\underline{I}^{abc} \tag{4-4}$$

Gdje vrijedi :

$$\underline{Z}^{abc} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_s + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n \\ \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_s + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n \\ \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_s + \underline{Z}_n \end{bmatrix} \tag{4-5}$$

Ako pišemo $\underline{V}_{abc}$ i $\underline{I}_{abc}$ prema zakonima simetričnih komponenti vrijedi :

$$T\underline{V}_a^{\,012} = \underline{Z}^{abc} T\,\underline{I}_a^{\,012} \tag{4-6}$$

Gdje je :

$$\underline{Z}^{012} = T^{-1}\underline{Z}^{abc}T \tag{4-7}$$

Mijenjajući $\underline{Z}^{012}$, T i T^{-1} dobivamo :

$$\underline{Z}^{012} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{Z}_s + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n \\ \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_s + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n \\ \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_m + \underline{Z}_n & \underline{Z}_s + \underline{Z}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \tag{4-8}$$

Te kada pomnožimo dobivamo :

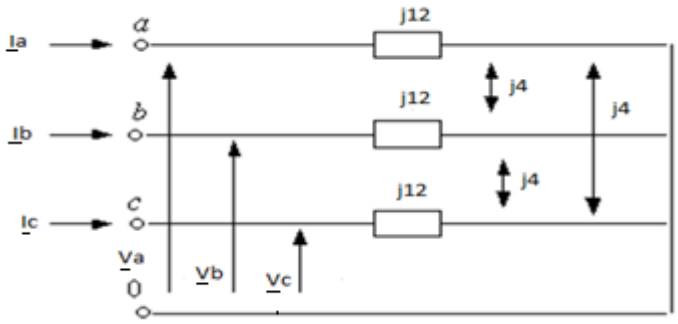
$$\underline{Z}^{012} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_s + 3\underline{Z}_n + 2\underline{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_s - \underline{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_s - \underline{Z}_m \end{bmatrix} \tag{4-9}$$

Ako zadamo $\underline{Z}_m$ =0 matrica impedancije postaje :

$$\underline{Z}^{012} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_s + 3\underline{Z}_n & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_s & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_s \end{bmatrix} \tag{4-10}$$

Primjer 4.[1]

Trofazni simetrični napon od 100 V spojen u zvijezdu sa uzemljenom nulom. Trofazni sustav (slika 4.2) ima tri otpornika spojena u sustav. Svaka faza ima otporni $\underline{Z}_s = j12\ \Omega$, dok je ukupni otpor $\underline{Z}_m = j4\ \Omega$.



Slika 4.2 predstavlja sustav spojen u zvijezdu za uzemljenom nulom

a) odredite rezultat analizirajući mrežu (bez metode simetričnih komponenti)

b) odredite rezultat koristeći metodu simetričnih komponenti

a) Primjenjujemo KZN (Kirchhoffov zakon napona) na dvije mreže impedancije:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_s\underline{I}_a+\underline{Z}_m\underline{I}_b-\underline{Z}_s\underline{I}_b-\underline{Z}_m\underline{I}_a&=\underline{V}_a-\underline{V}_b=\left|\underline{V}_L\right|\angle 30^\circ\\ \underline{Z}_s\underline{I}_b+\underline{Z}_m\underline{I}_c-\underline{Z}_s\underline{I}_c-\underline{Z}_m\underline{I}_b&=\underline{V}_b-\underline{V}_c=\left|\underline{V}_L\right|\angle -90^\circ\end{aligned} \tag{4-11}$$

pa onda imamo:

$$\underline{I}_a+\underline{I}_b+\underline{I}_c=0 \tag{4-12}$$

pretvaramo u matricu:

$$\begin{bmatrix}(\underline{Z}_s-\underline{Z}_m) & -(\underline{Z}_s-\underline{Z}_m) & 0\\ 0 & (\underline{Z}_s-\underline{Z}_m) & -(\underline{Z}_s-\underline{Z}_m)\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\underline{I}_a\\ \underline{I}_b\\ \underline{I}_c\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\left|\underline{V}_L\right|\angle 30^\circ\\ \left|\underline{V}_L\right|\angle -90^\circ\\ 0\end{bmatrix} \tag{4-13}$$

u skraćenoj formi:

$$\underline{Z}_{mesh}\underline{I}^{abc}=\underline{V}_{mesh} \tag{4-14}$$

rješavajući izraze:

$$\underline{I}^{abc}=\underline{Z}_{mesh}{}^{-1}\underline{V}_{mesh} \tag{4-15}$$

upisujemo naredbe:

$$\underline{Z}_s=j\cdot 12;\ \underline{Z}_m=j\cdot 4;\underline{V}_a=100;\underline{V}_L=\underline{V}_a=\sqrt{3};$$

$$\underline{Z}=\begin{bmatrix}(\underline{Z}_s-\underline{Z}_m) & -(\underline{Z}_s-\underline{Z}_m) & 0\\ 0 & (\underline{Z}_s-\underline{Z}_m) & 0\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix};$$

$$\underline{V}=[\underline{V}_L\cdot\cos(30^\circ)+j\cdot\underline{V}_L\cdot\sin(30^\circ)]$$

$$\underline{V}=[\underline{V}_L\cdot\cos(-90^\circ)+j\cdot\underline{V}_L\cdot\sin(-90^\circ)]$$

$$0\quad\ ];$$

$$Y = inv(\underline{Z})$$

$$\underline{I}_{abc} = Y \cdot \underline{V};$$

$$\underline{I}_{abcp} = \left[abs(\underline{I}_{abc}), \angle \underline{I}_{abc} \cdot 57,32° \right]$$

Rezultat je:

$$\underline{I}_{abcp} = \begin{matrix} 12,5 & -90,0 \\ 12,5 & 150,0 \\ 12,5 & 30,0 \end{matrix}$$

b) Metodom simetričnih komponenti

$$\underline{V}^{012} = \underline{Z}^{012} \underline{I}^{012} \tag{4-16}$$

Gdje je:

$$\left[\underline{V}^{012} \right] = \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{V}_a \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4-17}$$

napisano u formi:

$$\underline{Z}^{012} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_s + 2\underline{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_s - \underline{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_s - \underline{Z}_m \end{bmatrix} \tag{4-18}$$

za svaki dio dobivamo:

$$\underline{I}^{012} = \left[\underline{Z}^{012}\right]^{-1} \underline{V}^{012} \tag{4-19}$$

pišemo naredbe:

$$\underline{Z}_{012} = \begin{bmatrix} (\underline{Z}_s - \underline{Z}_m) & -(\underline{Z}_s - \underline{Z}_m) & 0 \\ 0 & (\underline{Z}_s - \underline{Z}_m) & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\underline{V}_{012} = [0;\ \underline{V}_a;\ 0];$$

$$\underline{I}_{012} = inv(\underline{Z}_{012}) \cdot \underline{V}_{012};$$

$$a = \cos(2 \cdot 30°) + j \cdot \sin(2 \cdot 30°);$$

$$T = [1 \quad 1 \quad 1;\ 1 \quad a \quad 1;\ 1 \quad a^2 \quad a;\ 1 \quad a \quad a^2];$$

$$\underline{I}_{abc} = T \cdot \underline{I}_{012};$$

$$\underline{I}_{abcp} = \left[abs(\underline{I}_{abc}), \angle \underline{I}_{abc} \cdot 57,32°\right]$$

rezultat je:

$$\underline{I}_{abcp} = \begin{matrix} 12,5 & -90,0 \\ 12,5 & 150,0 \\ 12,5 & 30,0 \end{matrix}$$

4.2. Rastav nesimetričnog sustava u simetrične komponente

U vlastitom primjeru napravljen je rastav nesimetričnog sustava u sustav simetričnih komponenti. Primjer je riješen pomoću računalnog programa MATLAB-a i korištenjem njegovih unaprijed definiranih funkcija. Dan je 400 kV dalekovod, na kojem smo izvršili mjerenja i dobili sljedeće podatke :

$$\underline{I}_a = 0\ kA \qquad \underline{V}_a = 400\angle 0°\ kV$$
$$\underline{I}_b = \frac{13}{\sqrt{2}}\angle 90° = 9,2\angle 90°\ kA \qquad \underline{V}_b = 0°\ kV$$
$$\underline{I}_c = 0\ kA \qquad \underline{V}_c = 400\angle 240°\ kV$$

U primjeru korištene su naredbe: abc2sc koja vraća simetrične komponente u nesimetrične fazore u algebarski oblik i rec2pol koja pretvara algebarski fazor u polarni.

Naredba :

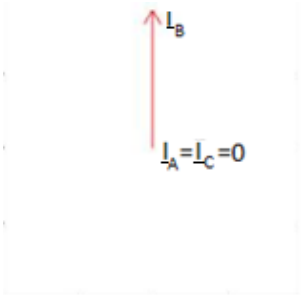
$$\underline{I}_{abc} = \begin{matrix}[0 & 0 \\ 9,2 & 90 \\ 0 & 0];\end{matrix}$$

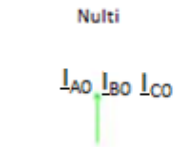
$$\underline{I}_{012} = abc2sc\left(\underline{I}_{abc}\right);$$

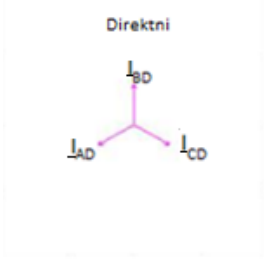
$$\underline{I}_{012p} = rec2pol\left(\underline{I}_{012}\right)$$

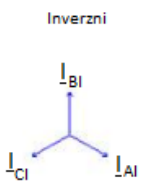
Rješenje:

$$\underline{I}_{012P} = \begin{matrix}3,0667 & 90 \\ 3,0667 & -150 \\ 3,0667 & -30\end{matrix}$$









Naredba :

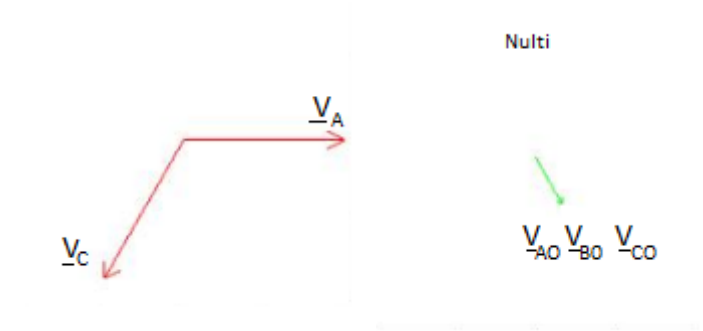
$$\underline{V}_{abc} = \begin{bmatrix} 400 & 0 \\ 0 & 0 \\ 400 & 240 \end{bmatrix};$$

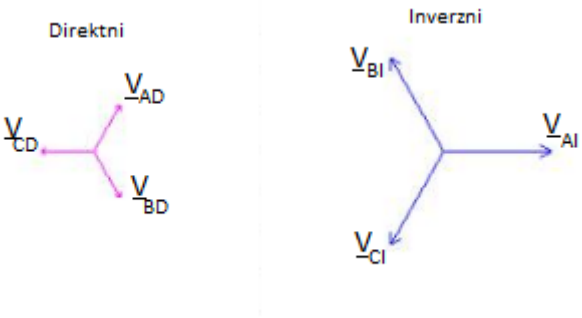
$$\underline{V}_{012} = abc2sc\left(\underline{V}_{abc}\right);$$

$$\underline{V}_{012p} = rec2pol\left(\underline{V}_{012}\right)$$

Rješenje:

$$\underline{V}_{012P} = \begin{matrix} 133,3333 & -60 \\ 133,3333 & 60 \\ 266,6667 & 0 \end{matrix}$$


Nulti
$\underline{V}_A$
$\underline{V}_C$
$\underline{V}_{AO}$ $\underline{V}_{BO}$ $\underline{V}_{CO}$


Direktni
$\underline{V}_{AD}$
$\underline{V}_{CD}$
$\underline{V}_{BD}$
Inverzni
$\underline{V}_{BI}$
$\underline{V}_{AI}$
$\underline{V}_{CI}$

5.ZAKLJUČAK

Fazori u elektroenergetskim sustavima većinom su simetrični, ali kada se pojavi nesimetričnost nastaje problem. Srećom Charles L. Fortescue dolazi do otkrića matematičkog proračuna pomoću kojega se rješava nesimetričnost u elektroenergetskim sustavima. Današnji izračuni su računalnog tipa, uz pomoću raznih programa čija je zadaća otkrivanje nesimetrija u sustavu te rastavljanje nesimetričnih fazora, pretvaranje u simetrične i vraćanje u elektroenergetski sustav. Dakle današnji načini izračuna su mnogo jednostavniji nego što su bili u 20 stoljeću, a napredovanjem tehnologije možda će se jednoga dana napraviti potpuno samostalni sustav za otkrivanje i izračun nesimetričnosti u elektroenergetskim sustavima.

LITERATURA

[1] H. Saadat, Power System Analysis,Milwaukee School of Engineering,Milwaukee,2003.

[2] C. L. Fortescue, Symmetrical Co-ordinates, American Institute of Electrical Engineers, Atlantic City, 1918.

[3] L. Jozsa, Proračun struja kratkih spojeva, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2006.

[4] Ž. Despotović, Proračun struja kratkih spojeva metodom simetričnih komponenti, 2014.

Link: www.viser.edu.rs/download.php?id=17721

[5] S. Krajcar, M. Delimar Električna postrojenja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva, Zagreb, studeni 2007.

Link:https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Auditorne_vjezbe_v_0.9.pdf (11.08.2016)

[6] Prijenos i distribucija električne energije, FER,2015. link:

https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ET09_Prijenos_i_distribucija.pdf (11.08.2016)

[7] Hidroelektrana Dubrovnik 2, Google slike

link:https://www.google.hr/search?q=hidroelektra+dubrovnike&biw=1920&bih=955&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiymvLbibLOAhVIjCwKHe9LBZ0Q_AUIBigB#tbm=isch&q=he+dubrovnik+2&imgrc=pbGx521jsjvKDM%3A (03.08.2016)

[8] Hrvatska prijenosna mreža, Hrvatski operator prijenosnog sustava

link: https://www.hops.hr/wps/portal/hr/web/hees/podaci/shema (28.07.2016)

[9] Transformator, Google slike

link:https://www.google.hr/search?q=prijenosni+vod&biw=1920&bih=955&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjPzdXp07TOAhVCAxoKHXdlAhkQ_AUIBigB#tbm=isch&q=transformator&imgrc=qWv6no4uDIrQUM%3A (03.08.2016)

[10] Charles L. Fortescue, google slike

link:https://www.google.hr/search?q=prijenosni+vod&biw=1920&bih=955&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjPzdXp07TOAhVCAxoKHXdlAhkQ_AUIBigB#tbm=isch&q=charles+l+fortescue&imgrc=oZSQzUGvaJgZbM%3A (05.08.2016)

[11] Potrošnja električne energije u RH za 2014 godinu, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, 2014. godina

link: http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2016/04/Euh2014.pdf (02.09.2016)

SAŽETAK

Rad je podijeljen na tri poglavlja i zaključak. Drugo poglavlje opisuje elektroenergetske sustave, treće poglavlje opisuje razvoj studije o metodi simetričnih komponenti te su navedeni primjeri rješavanja, u četvrtom poglavlju opisan je rastav metode nesimetričnoh komponenti u simetrične pomoću računala te u zaključku je opisana važnost metode simetričnih komponeti u današnje vrijeme.

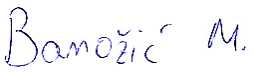
SUMMARY

This paper was seperated on three chapiters and conclusion. Second explain elektroenergetic systems, third part explain paper of symmetrical method, examples about part 3, in forth part, explain computor seperate nonsymmetrical components into symmetrical, and conclusion which means why is important method of symmetrical components.

ŽIVOTOPIS

Marko Banožić, rođen je 23. svibnja 1994. u Požegi. Osnovnu školu pohađao je u Kuzmici u Osnovnoj školi Fra Kaje Adžića gdje je završio prva 4 razreda te Osnovnu školu u Požegi u Osnovnoj školi Antuna Kanižlića završava druga 4 razreda. Nakon završene osnovne škole upisuje Srednju Tehničku školu u Požegi, smjer Elektrotehničar. Tijekom svog obrazovanja aktivno se bavi nogometom u klubu NK Tim Osvježenje u Kuzmici. Nakon završene srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijkih tehnologija u Osijeku. Poslje završene prve godine upisuje smjer elektroenergetika.

U Osijeku, rujan 2016. Marko Banožić



(potpis)