

# Analiza IEEE 39-bus ispitnog sustava u DIgSILENT PowerFactory softveru

---

Glavaš, Krešimir

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:760036>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STORSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**ANALIZA IEEE 39-BUS ISPITNOG SUSTAVA U  
DIGSILENT POWER FACTORY PROGRAMU**

**Završni rad**

**Krešimir Glavaš**

**Osijek, 2016. Godine**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 27.09.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

|                                                                                            |                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ime i prezime studenta:                                                                    | Krešimir Glavaš                                                                                                                                                 |
| Studij, smjer:                                                                             | Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika                                                                                            |
| Mat. br. studenta, godina upisa:                                                           | A4360, 16.10.2015.                                                                                                                                              |
| OIB studenta:                                                                              | 53265047187                                                                                                                                                     |
| Mentor:                                                                                    | Doc.dr.sc. Predrag Marić                                                                                                                                        |
| Sumentor:                                                                                  |                                                                                                                                                                 |
| Predsjednik Povjerenstva:                                                                  | Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić                                                                                                                                  |
| Član Povjerenstva:                                                                         | Marko Vukobratović                                                                                                                                              |
| Naslov završnog rada:                                                                      | Analiza IEEE 39-bus ispitnog sustava u DlgSILENT PowerFactory softveru                                                                                          |
| Znanstvena grana rada:                                                                     | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>                                                                                                             |
| Zadatak završnog rada                                                                      | Modelirati i izvršiti analizu tokova snaga i kratkih spojeva IEEE 39-bus ispitnog sustava u DlgSILENT PowerFactory softveru.                                    |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):                                   | Izvrstan (5)                                                                                                                                                    |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 2<br>Razina samostalnosti: 3 |
| Datum prijedloga ocjene mentora:                                                           | 27.09.2016.                                                                                                                                                     |

*Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:*

Potpis:

Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2016.

**Ime i prezime studenta:**

Krešimir Glavaš

**Studij:**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A4360, 16.10.2015.

**Ephorus podudaranje [%]:**

2%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza IEEE 39-bus ispitnog sustava u DlgSILENT PowerFactory softveru**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Predrag Marić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## Sadržaj:

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD.....                                                             | 1  |
| 2. ANALIZA IEEE 39-SABIRNIČKOG ISPITNOG SUSTAVA .....                    | 4  |
| 2.1. Uvod u simulaciju .....                                             | 4  |
| 2.2. I dio simulacije.....                                               | 7  |
| 2.2.1. <i>Analiza tokova snaga za 90%-tno zadano opterećenje</i> .....   | 7  |
| 2.2.2. <i>Analiza tokova snaga za 100%-tno zadano opterećenje</i> .....  | 12 |
| 2.3. II dio simulacije .....                                             | 15 |
| 2.3.1. <i>Analiza tokova snaga za 100% -tno zadano opterećenje</i> ..... | 15 |
| 2.3.2. <i>Prijedlog rješenja preopterećenosti sustava</i> .....          | 18 |
| 2.3.3. <i>Trofazni kratki spoj</i> .....                                 | 18 |
| 3. ZAKLJUČAK .....                                                       | 21 |
| 4. LITERATURA .....                                                      | 22 |
| 5. SAŽETAK .....                                                         | 23 |
| 6. ŽIVOTOPIS .....                                                       | 24 |
| 7. PRILOZI .....                                                         | 25 |

## 1. UVOD

Ispitni sustavi se naširoko koriste pri analizi i proučavanju elektroenergetskih sustava te su predmet mnogih znanstvenih radova i istraživanja. Prednosti analize, prema podacima preuzetim iz [6], ispitnih sustava su sljedeći:

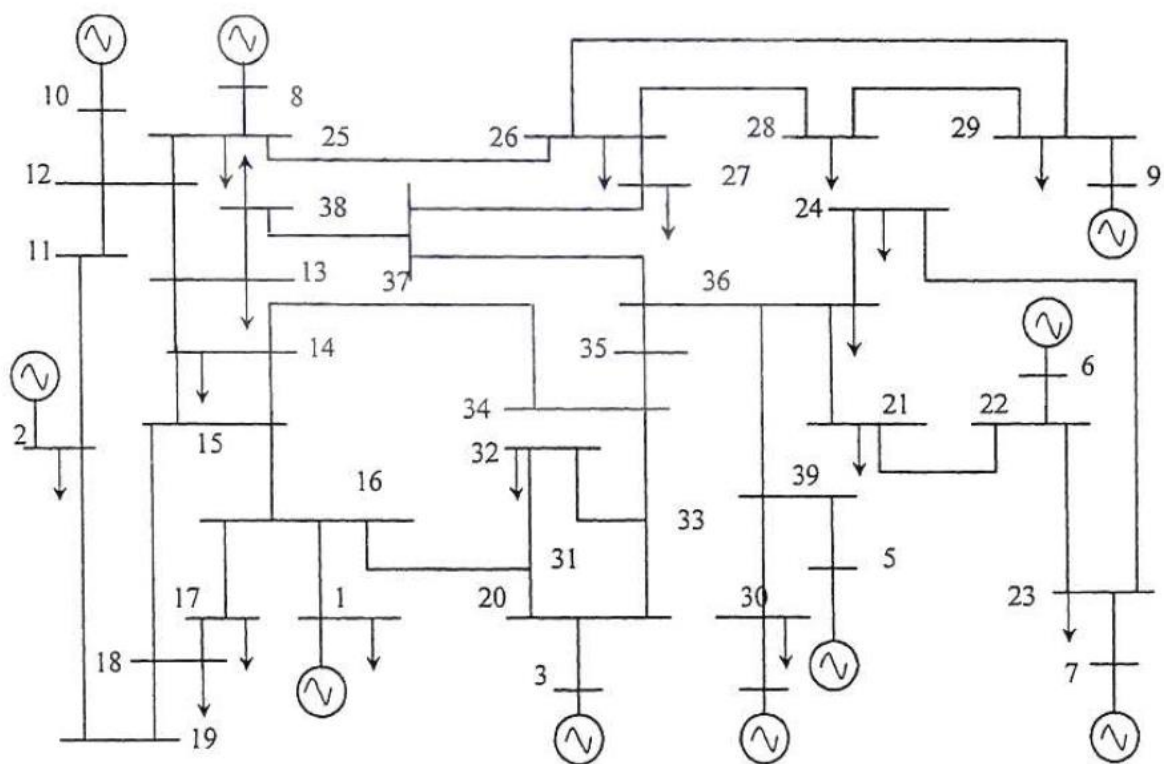
- rezultati simulacije ispitnih sustava se mogu primjeniti na veliki spektar elektroenergetskih sustava,
- statički i dinamički podaci umreženih elektroenergetskih sustava su loše dokumentirani,
- pojednostavljen proračun različitih scenarija simulacije,
- otežan rad programa za simulaciju pri velikom broju podataka.

Ispitne sustave možemo podijeliti u tri kategorije:

- prijenosni sustavi,
- distribucijski sustavi,
- nestabilni distribucijski sustavi.

Za potrebe ovog završnog rada analizirati će se IEEE 39-sabirnički ispitni sustav u DIGSILENT Power Factory programskom paketu i on spada u prijenosne ispitne sustave. Prijenosni sustavi su sustavi visokog napona, a u RH su to 110 kV, 220 kV i 400 kV razine. Razlog održavanja tako visokih napona jest održavanje što manjih gubitaka u vodovima pri prijenosu električne energije od izvora do potrošača. Jedna od karakteristika prijenosnih sustava jesu složenost i umreženost, odnosno tok energije postoji u oba smjera zbog važnosti održavanja prijenosa električne energije konstantnom. Bitno je naglasiti da s današnjim eksponencijalnim razvojem tehnologije elektroenergetski sustavi postaju sve dinamičniji, ne samo zbog konstantnog povećanja potražnje električne energije već i zbog činjenice da se elektroenergetski sustavi konstantno nadograđuju širokim spektrom obnovljivih izvora energije, primjerice solarnih panela kod krajnjih potrošača, što uzima sve više maha, ili raznih veličina vjetroelektrana, ali i drugih vrsta. Kako bi se osigurala zadovoljavajuća stabilnost, sigurnost i rad takvih sustava, neophodno je da elektroenergetski sustav bude predmet konstantnih procjena i analiza. U ovom slučaju IEEE 39-sabirnički ispitni sustav jest zapravo reducirana verzija visokonaponskog elektroenergetskog prijenosnog sustava tzv. “New England power system“ nastalog 70-ih godina prošlog stoljeća na sjeveroistoku Sjedinjenih Američkih Država, na području koje se naziva Nova Engleska (New

England, eng.). Još od tog vremena predmet je mnogih znanstvenih istraživanja i objavljenih radova. Naširoko se koristi za analizu stabilnosti elektroenergetskih sustava. IEEE 39-sabirnički ispitni sustav je dobro poznat kao visokonaponski 10-generatorski sustav koji se sastoji od 10 generatora povezanih preko trofaznih, dvonamotnih transformatora na mrežu, te 19 potrošača i 39 sabirnica. Informacije o samom ispitnom sustavu preuzete su iz [1]. Nazivna frekvencija prvog tzv. "New England" prijenosnog sustava jest 60 Hz što je i razumljivo jer područje Sjeverne Amerike koristi elektroenergetski sustav baziran na toj frekvenciji. Za ovaj rad koristit će se nazivna frekvencija od 50 Hz sukladno s područjem gdje se nalazimo i elektroenergetskim sustavom koji se koristi u Europi. Na slici 1.1 može se vidjeti jednopolna shema IEEE 39-sabirničkog ispitnog sustava s odgovarajućim položajem potrošača, no bez prikazanih trofaznih, dvonamotnih transformatora. Shema je preuzeta iz [2]. Kao što je već navedeno, svaki generator je povezan transformatorom na mrežu, a zadaća tih transformatora jest podići niski napon, u ovom slučaju nazivni napon generatora 19 kV, na nazivni napon IEEE 39-sabirničkog ispitnog sustava od 345 kV. Treba spomenuti kako generator na sabirnici 2 predstavlja akumulaciju većeg broja generatora odnosno snažnu elektranu ili krutu mrežu. Napon te sabirnice će se uzeti za referentni napon kako bi sve ostale napone u mreži mogli relativno izraziti preko tog napona. Cilj završnog rada je analizirati spomenuti IEEE 39-sabirnički sustav, te rezultate i podatke te analize predstaviti i komentirati. Glavni dio rada, odnosno drugo poglavlje se sastoji od 3 potpoglavlja. U prvom potpoglavlju predstavljeni su svi podaci potrebni za pokretanje simulacije gdje su detaljnije objašnjene pojedinosti simulacije koja je obrađena u DIgSILENT Power Factory programskom paketu. Drugo potpoglavlje sadrži osvrt na analizu tokova snaga te prikazuje rezultate tih simulacija i komentare, a nazvan je kao *I dio simulacije*. U trećem potpoglavlju, nazvan *II dio simulacije*, smanjene su impedancije vodova, a zatim su analizirani tokovi snaga pri 100%-tnom zadanom opterećenju. Analiziran je trofazni kratki spoj, te na kraju potpoglavlja ponuđeno je i određeno rješenje s obzirom na preopterećenja u mreži. Pri rješavanju problema određenog preopterećenja u mreži koristile su se metode opisane u praksi te su navedene u literaturi. Zadnje poglavlje je zaključak i obrat na rezultate predstavljene kroz glavni dio rada.



**Sl. 1.1.** – Jednopolna shema 39-sabirničkog ispitnog sustava [2, str. 1.]



## 2. ANALIZA IEEE 39-SABIRNIČKOG ISPITNOG SUSTAVA

### 2.1. Uvod u simulaciju

Za potrebe boljeg razumijevanja o kakvom se sustavu zapravo radi, u uvodu rada spomenute su pojedine karakteristike koje taj sustav posjeduje i određeni podaci koje će se koristiti u simulaciji tog sustava u DIgSILENT Power Factory programskom paketu. Za potrebe simulacije bitno je definirati svaki element sustava detaljno kako bi se dobile što relevantnije informacije o tokovima snaga sustava. Zadani podaci generatora dani su u tablici 2.1.

**Tablica 2.1.** – *Zadane snage generatora*

| Sabirnica # | $P$ (p.u.) | $Q$ (p.u.) |
|-------------|------------|------------|
| 1           | 5,527      | 1,687      |
| 2           | 10,00      | 2,425      |
| 3           | 6,50       | 1,705      |
| 4           | 5,08       | 1,673      |
| 5           | 6,32       | 0,76       |
| 6           | 6,50       | 2,669      |
| 7           | 5,60       | 2,415      |
| 8           | 5,40       | 0,239      |
| 9           | 8,30       | 0,631      |
| 10          | 2,50       | 1,767      |

Tablica 2.1. predstavlja utisnute snage generatora na priključenim sabirnicama. Vrijednosti su dane u tzv. *per unit* vrijednostima, a kao bazna snaga je odabrana snaga iznosa 100 MVA. U nastavku potpoglavlja objašnjeno je na koji način se računaju apsolutne vrijednosti utisnutih snaga generatora i ostalih veličina iz *per unit* zadanih vrijednosti. Sljedeća tablica 2.2. predstavlja zadana opterećenja, odnosno zadane snage trošila. Vrijednosti podataka, kao i u prethodnom slučaju, su *per unit* vrijednosti. Podaci snaga generatora, snaga trošila, impedancije vodova i odstupanja napona na sabirnicama sustava preuzeti su iz [2]. Sve navedene veličine predstavljene su kao *per unit* vrijednosti i zahtijevaju proračun u apsolutne veličine. Kao bazni napon odabran je nazivni napon sustava od 345 kV. Podaci impedancija vodova preuzetih iz navedene reference predstavljaju ukupne impedancije pojedinih vodova, a ne jedinične vrijednosti kao što je uobičajeno u praksi. Za proračun ukupne impedancije voda iz jediničnih vrijednosti radnog otpora  $R$  i reaktancije  $X$  koristi se formula 2-1.

**Tablica 2.2. – Zadane snage trošila**

| <b>Sabirnica #</b> | <b>P<sub>t</sub> (p.u.)</b> | <b>Q<sub>t</sub> (p.u.)</b> |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 13                 | 3,22                        | 0,024                       |
| 14                 | 5                           | 1,84                        |
| 17                 | 2,338                       | 0,84                        |
| 18                 | 5,22                        | 1,76                        |
| 21                 | 2,74                        | 1,15                        |
| 23                 | 2,745                       | 0,84                        |
| 24                 | 3,086                       | 0,922                       |
| 25                 | 2,24                        | 0,472                       |
| 26                 | 1,39                        | 0,17                        |
| 27                 | 2,81                        | 0,755                       |
| 28                 | 2,06                        | 0,276                       |
| 29                 | 2,835                       | 0,269                       |
| 30                 | 6,28                        | 1,03                        |
| 32                 | 0,075                       | 0,88                        |
| 35                 | 3,2                         | 1,53                        |
| 36                 | 3,294                       | 0,323                       |
| 38                 | 1,58                        | 0,3                         |

$$\underline{Z}=I(R_1 + jX_{l1}) \quad (\Omega), \quad (2-1)$$

gdje je:

$R_1$  -jedinični radni otpor vodiča ( $\Omega/\text{km}$ ),

$X_{l1}$  -jedinična induktivna reaktancija vodiča ( $\Omega/\text{km}$ ),

a proračun admintancije, odnosno poprečne impendancije je:

$$\underline{Y}=I(G_1 + jB_{c1}) \quad (\text{S}), \quad (2-2)$$

gdje je:

$G_1$  -jedinična električna vodljivost ( $\text{S}/\text{km}$ ),

$B_{c1}$  -jedinična kapacitivna susceptancija (vodljivost) ( $\text{S}/\text{km}$ ).

Jednadžba (2-2) predstavlja recipročnu vrijednost impendancije voda i naziva se admintancija voda. Jednadžbe (2-1) i (2-2) su preuzete iz [4]. Informacije o istim jednadžbama mogu se

pronaći i u [8]. Pri proračunu apsolutnih vrijednosti iz *per unit* vrijednosti koriste se sljedeće formule:

$$U_{p.u.} = \frac{U}{U_{baze}}, \quad (2-3)$$

gdje je:

$U$  - napon u stvarnosti, realna veličina (V, volt),

$U_{baze}$  - odabrani bazni napon – 345 kV,

$U_{p.u.}$  - vrijednost napona u *per unit* vrijednosti.

Bazna impedancija se računa iz sljedećeg izraza, uz baznu snagu  $S_{baze}=100$  MVA:

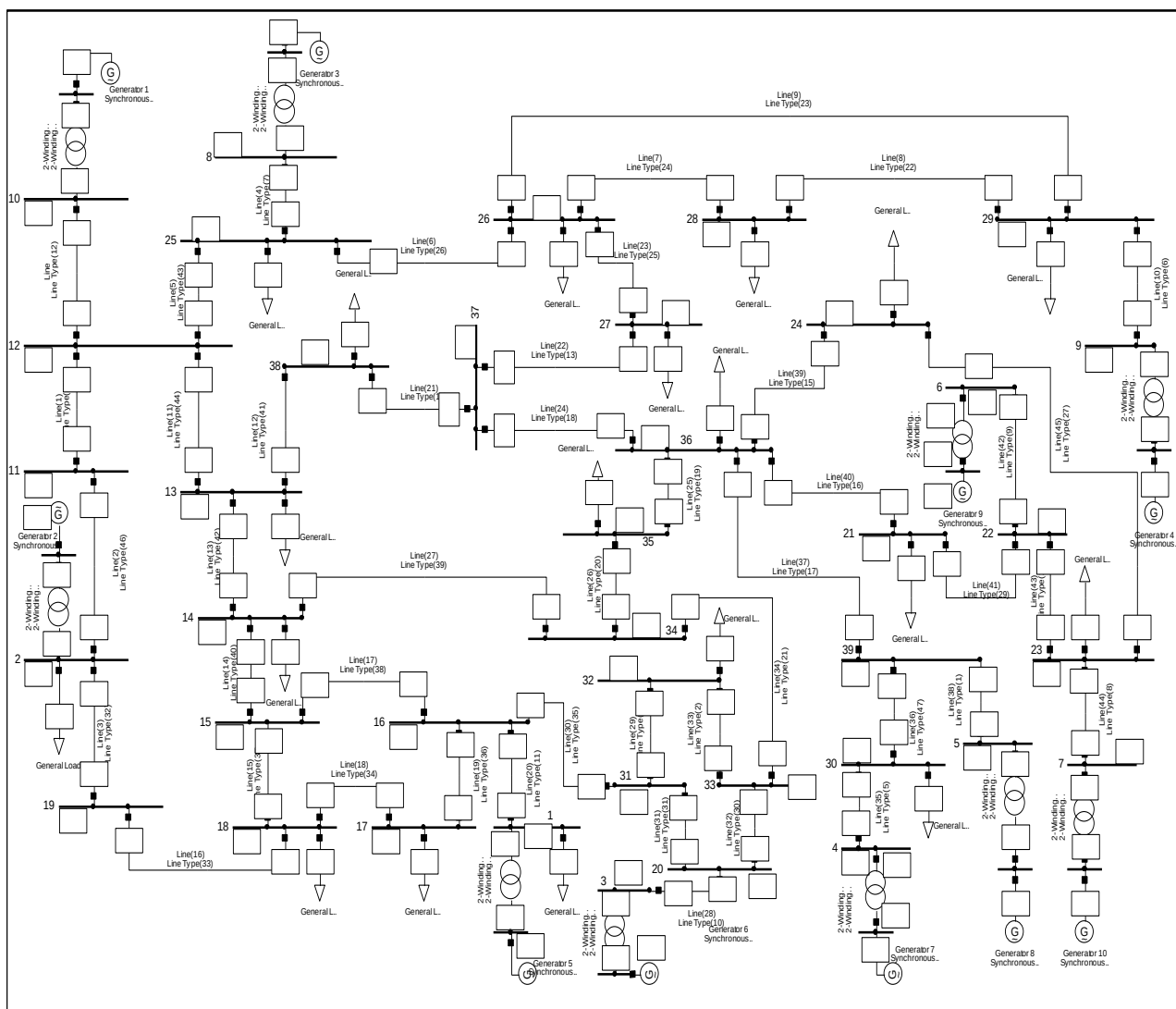
$$Z_{baze} = \frac{U_{baze}^2}{S_{baze}}, \quad (2-4)$$

i iznosi 1190,25  $\Omega$ .

Proračun impedancije se radi prema sljedećem izrazu:

$$Z_{p.u.} = \frac{Z}{Z_{baze}}. \quad (2-5)$$

Istim načinom računaju se i ostale *per unit* veličine. Bazna veličina kod radne i jalove snage izvora (generatora), potrošača i impedancije vodova je 100 MVA. Prethodno napisane formule (2-3) – (2-5) su preuzete iz [3], a mogu se pronaći i u zbirci zadataka [8]. Nakon što su definirani podaci za svaki element mreže, sustav je modeliran u u DigSILENT PowerFactory programskom paketu – slika 2.1. Kako bi se što preglednije moglo pratiti dobivene rezultate analize, simulacija je podijeljena na dva glavna dijela. U prvom djelu analize korišteni su podaci preuzeti iz [2] i predstavljena je analiza tokova snaga pri 90%-tnom i 100%-tnom zadanom opterećenju. U drugom dijelu simulacije, smanjeni su iznosi impedancije vodova za 50%, te je analiza tokova snaga odrađena pri 100%-tnom opterećenju, a ostali podaci nisu mijenjani. Analiziran je trofazni kratki spoj, kako se radi o najnepovoljnijem kvaru koji se može pojaviti unutar elektroenergetskih sustava i mreža. Pred kraj drugog dijela simulacije predstavljen je način rješenja preopterećenosti sustava na primjeru simulacije ovog rada. Podaci izračunatih apsolutnih impedancija vodova dani su u prilogu [2.1.].



Slika 2.1. Jednopolna shema 39-sabirničkog ispitnog sustava u DIgSILENT PowerFactory softveru

## 2.2. I dio simulacije

U ovom odjeljku započeta je analiza prvog dijela simulacije. Razmatrat će se različita opterećenja IEEE 39-sabirničkog ispitnog sustava i prikazati podaci tih simulacija.

### 2.2.1. Analiza tokova snaga za 90%-tno zadano opterećenje

Tablica 2.3. prikazuje injektirane snage generatora pri 90%-tnom zadanom opterećenju, odnosno snagu koju generatori daju u mrežu.

**Tablica 2.3. – Snage generatora za 90%-tno opterećenje**

| Generator #  | Sabirnica #  | P (MW)   | Q (MVar) | S (MVA)  | Vrsta čvora |
|--------------|--------------|----------|----------|----------|-------------|
| Generator 1  | Terminal-10  | 250      | 176,7    | 306,1419 | PQ          |
| Generator 2  | Terminal 2-2 | 489,7868 | 407,3581 | 637,0492 | SL          |
| Generator 3  | Terminal 1-8 | 540      | 207,8707 | 578,6279 | PV          |
| Generator 4  | Terminal 8-9 | 830      | 244,9347 | 865,386  | PV          |
| Generator 5  | Terminal 3-1 | 552,7    | 168,7    | 577,87   | PQ          |
| Generator 6  | Terminal 4-3 | 650      | 463,5596 | 798,3655 | PV          |
| Generator 7  | Terminal 5-4 | 508      | 358,3005 | 621,6456 | PV          |
| Generator 8  | Terminal 9-5 | 631,99   | 76       | 636,5532 | PQ          |
| Generator 9  | Terminal 7-6 | 650      | 266,9    | 702,6632 | PQ          |
| Generator 10 | Terminal 6-7 | 560      | 348,8001 | 659,7435 | PV          |

Može se primjetiti prvi stupac s desna tablice pod nazivom vrste čvora. Čvorovi kojeg čine generatori s obzirom na način rada dijele se na tri vrste. SL oznaka označava referentni čvor, te predstavlja sabirnice iznimno snažne elektrane ili sabirnice gdje se nadovezuje kruta mreža. U tom čvoru radna i jalova snaga ne podliježu nikakvim ograničenjima, što znači u slučaju povećanja opterećenja u mreži taj čvor mora nadomjestiti tu potražnju jer vidjet će se da postoje vrste čvorova na kojima se utisnuta snaga u mrežu ne mijenja s obzirom na opterećenja na njihovim sabirnicama. Za kut napona uzima se vrijednost nula kako bi se svi ostali kompleksni naponi mogli prikazati relativno u odnosu na referentni čvor. U čvoru s opterećenjem ili PQ čvoru, injektirana radna i jalova snaga su uvijek iste prema definiciji, što u ovom slučaju znači da generatori na tim čvorovima imaju konstantne injektirane snage, bez obzira na opterećenje. Generatorski čvor ili PV čvor je čvor s proizvodnjom radne snage i regulacijom napona. Injektirana generatorska snaga i iznos napona mogu se postaviti posredstvom turbinskog odnosno naponskog regulatora. Dakle bez obzira na opterećenje na njegovoj sabirnici ova vrsta čvora će uvijek imati konstantnu utisnutu radnu snagu i napon na sabirnicama. Informacije o čvorovima su preuzete iz [7]. Sabirnice pod nazivom *Terminal* označavaju primarnu stranu transformatora gdje su priključeni generatori. Brojevi koji su priključeni uz nazive *Terminal* predstavljaju sekundarne strane transformatora te su označene na slici 1.1. Transformatori nisu označeni na navedenoj slici.

**Tablica 2.4.** –*Odstupanje nazivnih napona na sabirnicama izvora*

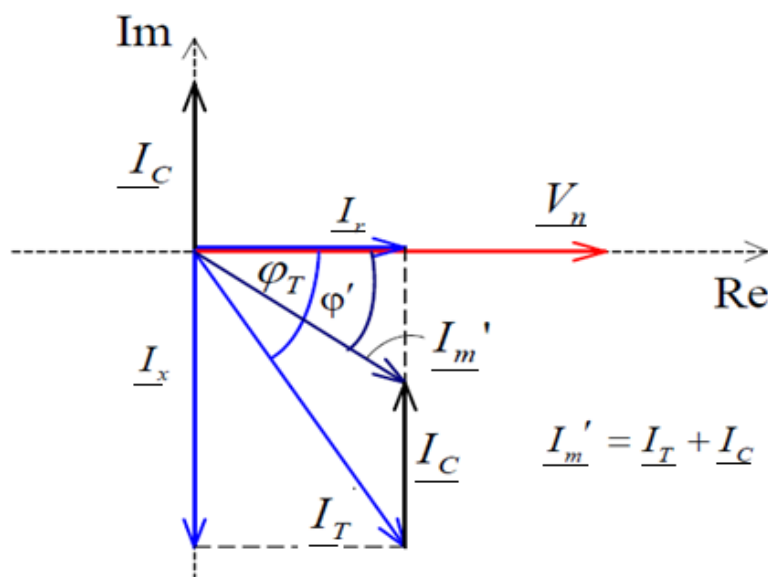
| Generator    | Nazivni napon (kV) | Iznosi napona dobivenih simulacijom (kV) | Vrsta čvora |
|--------------|--------------------|------------------------------------------|-------------|
| Generator 1  | 19                 | 18,35763                                 | PQ          |
| Generator 3  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 2  | 19                 | 19                                       | SL          |
| Generator 5  | 19                 | 17,20669                                 | PQ          |
| Generator 6  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 7  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 10 | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 9  | 19                 | 17,89044                                 | PQ          |
| Generator 4  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 8  | 19                 | 16,93403                                 | PQ          |

Tablica 2.4. zorno prikazuje odstupanja nazivnih napona sabirnica generatora i može se zaključiti kako pad napona postoji samo na PQ čvorovima, dok SL i PV čvorovi sukladno s njihovim definicijama održavaju taj napon uvijek konstantnim bez obzira na opterećenje.

**Tablica 2.5.** –*Opterećenja potrošača pri 90%-tnom opterećenju*

|            | Sabirnica # | P (MW)  | Q (MVar) | S (MVA)  | cosφ    |
|------------|-------------|---------|----------|----------|---------|
| Trošilo 1  | 2           | 993,599 | 225      | 1018,757 | 0,9753  |
| Trošilo 2  | 25          | 201,6   | 42,48    | 206,027  | 0,97851 |
| Trošilo 3  | 1           | 82,8    | 4,14     | 82,9     | 0,99875 |
| Trošilo 4  | 27          | 252,9   | 67,95    | 261,87   | 0,96574 |
| Trošilo 5  | 32          | 6,75    | 79,2     | 79,487   | 0,08491 |
| Trošilo 6  | 30          | 565,2   | 92,7     | 572,75   | 0,98681 |
| Trošilo 7  | 36          | 296,46  | 29,07    | 297,88   | 0,99522 |
| Trošilo 8  | 24          | 277,74  | 82,98    | 289,87   | 0,95815 |
| Trošilo 9  | 21          | 246,6   | 103,5    | 267,44   | 0,92207 |
| Trošilo 10 | 23          | 247,05  | 75,6     | 258,358  | 0,95622 |
| Trošilo 11 | 35          | 288     | 137,7    | 319,22   | 0,90218 |
| Trošilo 12 | 26          | 125,1   | 15,3     | 126,0321 | 0,9926  |
| Trošilo 13 | 29          | 255,15  | 24,21    | 256,296  | 0,99552 |
| Trošilo 14 | 28          | 185,4   | 24,84    | 187,0566 | 0,99114 |
| Trošilo 15 | 38          | 142,2   | 270      | 305,1571 | 0,46598 |
| Trošilo 16 | 13          | 289,8   | 2,16     | 289,808  | 0,99997 |
| Trošilo 17 | 14          | 450     | 165,6    | 479,5032 | 0,93847 |
| Trošilo 18 | 18          | 469,8   | 158,4    | 495,7848 | 0,94758 |
| Trošilo 19 | 17          | 210,42  | 75,6     | 223,588  | 0,9411  |

Tablica 2.5. prikazuje raspored potrošača po sabirnicama te njihova opterećenja pri 90%-tnom zadanom opterećenju. Kod većine potrošača faktor snage je zadovoljavajući, no može se primjetiti kod trošila 5 i 15 postoje velike količine jalove snage ( $Q$ ) s obzirom na radnu snagu ( $P$ ) trošila te kao posljedicu nizak faktor snage. Krajnji cilj je kod potrošača imati što veći postotak radne snage u odnosu na jalovu iz razloga što krajnji potrošači ne koriste jalovu snagu već samo radnu. Iznimka su primjerice motori kod industrijskih postrojenja koji koriste jalovu snagu kako bi stvorili određeni magnetski tok potreban za njihov rad [5]. Jalova snaga je energija koja oscilira između induktiviteta i trošila, te se na induktivitetu ne vrši nikakav rad [4]. No krajnji potrošači u mreži ipak plaćaju ukupnu energiju koja se koristi u njihovom kućanstvu, što uključuje i jalovu snagu. Stoga je bitno što više smanjiti postotak jalove snage, a povećati udio radne ili korisne snage. U praksi se koriste kondenzatorske baterije kako bi se poboljšao faktor snage, pošto struja na kondenzatoru prethodi naponu za  $90^\circ$ , a kod induktiviteta struja kasni za naponom za  $90^\circ$ . Na taj način može se povećati faktor snage.



**Slika 2.2.** – *Poboljšanje faktora snage kondenzatorskim baterijama [5, str. 154.]*

Na prethodnoj slici može se primjetiti proces poboljšanja faktora snage korištenjem kondenzatorskih baterija. Referentna veličina je nazivni napon  $V_n$ , fazor struje trošila  $I_T$  posjeduje aktivnu i reaktivnu komponentu,  $I_r$  u fazi s referentnim naponom, te  $I_x$  induktivnog karaktera. To su zapravo fazori čiji zbroj daje fazor struje trošila. Može se primjetiti struja kondenzatora  $I_C$  te zaključiti ono što je već spomenuto ranije, kako su fazori struje kondenzatora

i induktiviteta međusobno suprotni po kutu. Baterija priključena na sabirnice tiska u mrežu kapacitivnu struju te prema slici 2.2. jasno je da jakost te struje određuje koliko će faktor snage rasti s obzirom na induktivno opterećenje. Kondenzatorska baterija se u pravilu može priključivati za grupu trošila ili za pojedina veća trošila poput industrijskih postrojenja. Uvijek se priključuje paralelno trošilu na njegove sabirnice. Kondenzatorska baterija zapravo predstavlja istosmjerni naponski izvor kapacitivnog karaktera. Prema već navedenoj slici 2.2. može se vidjeti na kakav način dolazi do povećanja faktora snage. U simulaciji se nije pokušavalo koristiti kondenzatorske baterije iz razloga što se opterećenja trošila smatraju fiksnim prema zadanim podacima.

|                     |   |         |        |         |      |         |     |
|---------------------|---|---------|--------|---------|------|---------|-----|
| Generation          | = | 5662,49 | MW     | 2719,12 | Mvar | 6281,51 | MVA |
| External Infeed     | = | 0,00    | MW     | 0,00    | Mvar | 0,00    | MVA |
| Inter Grid Flow     | = | 0,00    | MW     | 0,00    | Mvar |         |     |
| Load P(U)           | = | 5586,57 | MW     | 1676,43 | Mvar | 5832,68 | MVA |
| Load P(Un)          | = | 5586,57 | MW     | 1676,43 | Mvar | 5832,68 | MVA |
| Load P(Un-u)        | = | 0,00    | MW     | -0,00   | Mvar |         |     |
| Motor Load          | = | 0,00    | MW     | 0,00    | Mvar | 0,00    | MVA |
| Grid Losses         | = | 75,92   | MW     | 1042,69 | Mvar |         |     |
| Line Charging       | = |         |        | -849,47 | Mvar |         |     |
| Compensation ind.   | = |         |        | 0,00    | Mvar |         |     |
| Compensation cap.   | = |         |        | 0,00    | Mvar |         |     |
| Installed Capacity  | = | 9600,00 | MW     |         |      |         |     |
| Spinning Reserve    | = | 3937,51 | MW     |         |      |         |     |
| Total Power Factor: |   |         |        |         |      |         |     |
| Generation          | = |         | 0,90   | [-]     |      |         |     |
| Load/Motor          | = | 0,96    | / 0,00 | [-]     |      |         |     |

**Slika 2.3. – Ukupni rezultati tokova snaga za 90%-tno opterećenje**

S rezultatima tokova snaga pri 90%-tnom zadanom opterećenju kao što pokazuje slika 2.3., može se primjetiti da je ukupna djelatna snaga proizvodnje (*Generation*) veća od djelatne snage potrošnje (*Load*) budući da je ukupna proizvodnja jednaka ukupnoj potrošnji uvećanoj za gubitke u sustavu.

**Tablica 2.6. –Preopterećeni vodovi**

| Naziv voda | Sabirnice # | Opterećenje(%) |
|------------|-------------|----------------|
| Line 10    | 9-29        | 144,8205       |
| Line 28    | 3-20        | 133,6048       |
| Line 35    | 4-30        | 104,0311       |
| Line 37    | 39-36       | 110,0424       |
| Line 38    | 5-39        | 119,5221       |
| Line 41    | 21-22       | 119,7371       |
| Line 42    | 6-22        | 124,882        |
| Line 44    | 7-23        | 110,4067       |



Prethodna tablica prikazuje preopterećene vodove i može se vidjeti da je najveće preopterećenje na vodu 10, između sabirnica 9-29, gdje je dopušteno opterećenje premašeno za 44%. Ako se vodovi izlažu preopterećenjima duže vrijeme može doći do ozbiljnih posljedica.

### 2.2.2. Analiza tokova snaga za 100%-tno zadano opterećenje

Pri analizi IEEE 39-sabirničkog sustava sa 100%-tnim zadanim opterećenjem svi ostali podaci ostaju isti kao kod prethodne analize.

**Tablica 2.7. – Snage generatora pri 100% opterećenju**

|              | Sabirnica #  | P (MW)   | Q (MVar) | S (MVA)  | Vrsta čvora |
|--------------|--------------|----------|----------|----------|-------------|
| Generator 1  | Terminal-10  | 250,     | 176,7    | 306,1419 | PQ          |
| Generator 2  | Terminal 2-2 | 1095,576 | 462,2934 | 1189,118 | SL          |
| Generator 3  | Terminal 1-8 | 540,     | 228,1278 | 586,2101 | PV          |
| Generator 4  | Terminal 8-9 | 830,     | 263,8924 | 870,9416 | PV          |
| Generator 5  | Terminal 3-1 | 552,7    | 168,7    | 577,8728 | PQ          |
| Generator 6  | Terminal 4-3 | 650,     | 490,064  | 814,041  | PV          |
| Generator 7  | Terminal 5-4 | 508,     | 386,8438 | 638,5234 | PV          |
| Generator 8  | Terminal 9-5 | 632,     | 76,      | 636,5532 | PQ          |
| Generator 9  | Terminal 7-6 | 650,     | 266,9    | 702,6632 | PQ          |
| Generator 10 | Terminal 6-7 | 560,     | 377,5995 | 675,412  | PV          |

Tablica 2.7. prikazuje snage koje generatori daju u mrežu kod maksimalnog zadanog opterećenja. Usporedimo li ovu tablicu s tablicom 2.3. može se primjetiti da generatori priključeni kao PQ vrsta čvorova zadržavaju iste iznose snaga koje injektiraju u mrežu. Iznos injektirane snage generatora na sabirnici 2 je naglo porasla, što znači da referentni generator nadomješta potrebe energije koje potrošači potraživaju. Za generatore priključene kao PV čvorove, što je očekivano, radna snaga je ostala konstantna, a dolazi do porasta injekcije jalove snage u mrežu. Radna snaga je fiksirana, a pri većim opterećenjima raste samo jalova snaga. Sljedeća tablica (tablica 2.8.) prikazuje odstupanja napona na generatorskim sabirnicama za vrijeme simulacije.

**Tablica 2.8.** – Odstupanje nazivnih napona na sabirnicama izvora

| Sabirnica #  | Nazivni napon (kV) | Iznosi napona dobivenih simulacijom (kV) | Vrsta čvora |
|--------------|--------------------|------------------------------------------|-------------|
| Generator 1  | 19                 | 18,36386                                 | PQ          |
| Generator 3  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 2  | 19                 | 19                                       | SL          |
| Generator 5  | 19                 | 17,05532                                 | PQ          |
| Generator 6  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 7  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 10 | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 9  | 19                 | 17,67728                                 | PQ          |
| Generator 4  | 19                 | 19                                       | PV          |
| Generator 8  | 19                 | 16,75077                                 | PQ          |

**Tablica 2.9.** – Snage trošila pri 100% opterećenju

|            | Sabirnica # | <i>P</i> (MW) | <i>Q</i> (MVar) | <i>S</i> (MVA) | cosφ       |
|------------|-------------|---------------|-----------------|----------------|------------|
| Trošilo 1  | 2           | 1104          | 250,            | 1131,952       | 0,9753061  |
| Trošilo 2  | 25          | 224,          | 47,2            | 228,9189       | 0,9785127  |
| Trošilo 3  | 1           | 92,           | 4,6             | 92,11493       | 0,9987523  |
| Trošilo 4  | 27          | 281,          | 75,5            | 290,9661       | 0,9657484  |
| Trošilo 5  | 32          | 7,5           | 88,             | 88,31902       | 0,08491942 |
| Trošilo 6  | 30          | 628,          | 103,            | 636,3906       | 0,9868153  |
| Trošilo 7  | 36          | 329,4         | 32,3            | 330,9798       | 0,9952268  |
| Trošilo 8  | 24          | 308,6         | 92,2            | 322,0789       | 0,9581504  |
| Trošilo 9  | 21          | 274,          | 115,            | 297,1548       | 0,9220782  |
| Trošilo 10 | 23          | 274,5         | 84,             | 287,0649       | 0,9562298  |
| Trošilo 11 | 35          | 320,          | 153,            | 354,6956       | 0,9021819  |
| Trošilo 12 | 26          | 139,          | 17,             | 140,0357       | 0,992604   |
| Trošilo 13 | 29          | 283,5         | 26,9            | 284,7733       | 0,9955286  |
| Trošilo 14 | 28          | 206,          | 27,6            | 207,8407       | 0,9911437  |
| Trošilo 15 | 38          | 158,          | 300,            | 339,0634       | 0,4659895  |
| Trošilo 16 | 13          | 322,          | 2,4             | 322,0089       | 0,9999722  |
| Trošilo 17 | 14          | 500,          | 184,            | 532,7814       | 0,9384712  |
| Trošilo 18 | 18          | 522,          | 176,            | 550,872        | 0,9475885  |
| Trošilo 19 | 17          | 233,8         | 84,             | 248,432        | 0,9411027  |

Tablica 2.9. prikazuje snage trošila pri maksimalnom zadanom opterećenju. Spomenuta trošila 5 i 15 zadržavaju ne zadovoljavajući faktor snage. Spomenuta referenca [2] prikazuje *per unit* vrijednosti ovih snaga potrošača. Vrijednosti u tablici 2.9. se dobiju množenjem zadanih *per unit* vrijednosti s baznom snagom od 100 MVA.

|                     |   |             |     |         |      |         |     |
|---------------------|---|-------------|-----|---------|------|---------|-----|
| Generation          | = | 6268,28     | MW  | 2897,12 | Mvar | 6905,40 | MVA |
| External Infeed     | = | 0,00        | MW  | 0,00    | Mvar | 0,00    | MVA |
| Inter Grid Flow     | = | 0,00        | MW  | 0,00    | Mvar |         |     |
| Load P(U)           | = | 6207,30     | MW  | 1862,70 | Mvar | 6480,76 | MVA |
| Load P(Un)          | = | 6207,30     | MW  | 1862,70 | Mvar | 6480,76 | MVA |
| Load P(Un-U)        | = | 0,00        | MW  | 0,00    | Mvar |         |     |
| Motor Load          | = | 0,00        | MW  | 0,00    | Mvar | 0,00    | MVA |
| Grid Losses         | = | 60,98       | MW  | 1034,42 | Mvar |         |     |
| Line Charging       | = |             |     | -838,75 | Mvar |         |     |
| Compensation ind.   | = |             |     | 0,00    | Mvar |         |     |
| Compensation cap.   | = |             |     | 0,00    | Mvar |         |     |
| Installed Capacity  | = | 9600,00     | MW  |         |      |         |     |
| Spinning Reserve    | = | 3331,72     | MW  |         |      |         |     |
| Total Power Factor: |   |             |     |         |      |         |     |
| Generation          | = | 0,91        | [-] |         |      |         |     |
| Load/Motor          | = | 0,96 / 0,00 | [-] |         |      |         |     |

**Slika 2.4.** – Ukupni rezultati simulacije tokova snaga 100%-tnog opt.

Prethodna slika sadrži podatke simulacije tokova snaga IEEE 39-sabirničkog sustava pri 100%-tnom zadanom opterećenju. Ako se usporede ovi rezultati s rezultatima simulacije pri 90%-tnom zadanom opterećenju prikazanim na slici 2.3. može se vidjeti porast proizvodnje električne energije. Kako trošila potraživaju veće snage za njihov rad, generatori su prisiljeni u mrežu utiskivati veće snage. Može se vidjeti kao i kod prethodnog slučaja kako je djelatna snaga proizvodnje jednaka djelatnoj snazi potrošnje uvećanoj za gubitke sustava, što je za očekivati, jer se izjednačavanjem tih snaga dobiva balans između generatora i potrošača.

Veća opterećenja trošila rezultiraju u većim tokovima struje pa postoje i veća opterećenja prijenosnih vodova. Tablica 2.10. prikazuje preopterećene vodove pri 100% zadanom opterećenju trošila, i može se primjetiti porast opterećenja u usporedbi s tablicom 2.6. koja prikazuje preopterećene vodove pri 90%-tnom zadanom opterećenju trošila. Najveće preopterećenje voda se i dalje nalazi na vodu 10, između sabirnica 9 i 29, te je njegovo opterećenje poraslo za 1%. Najveći rast opterećenja postoji kod vodova 28 i 44 od 3%. Zanimljivo je napomenuti kako vod 37 više nije preopterećen iako je poraslo opterećenje.

**Tablica 2.10.** – Preopterećeni vodovi

| Naziv voda | Sabirnice # | Opterećenje(%) |
|------------|-------------|----------------|
| Line 10    | 9-29        | 145,7502       |
| Line 28    | 3-20        | 136,2281       |
| Line 35    | 4-30        | 106,8555       |
| Line 38    | 5-39        | 120,8297       |
| Line 41    | 21-22       | 119,3557       |
| Line 42    | 6-22        | 126,3879       |
| Line 44    | 7-23        | 113,0288       |

## 2.3. II dio simulacije

U potpoglavlju 2.1. objašnjeno je kako je podijeljena simulacija na dva dijela. Drugi dio simulacije koristi iste podatke kao prethodna osim impedancije vodova. Uzdužne impedancije vodova smanjene su za 50%. Za simulaciju je korišteno 100%-tno zadano opterećenje kako bi postojala neka usporedba s prvim dijelom simulacije.

### 2.3.1. Analiza tokova snaga za 100% -tno zadano opterećenje

**Tablica 2.11. – Snage generatora**

|              | <b>Sabirnica #</b> | <b>P (MW)</b> | <b>Q (MVar)</b> | <b>S (MVA)</b> | <b>Vrsta čvora</b> |
|--------------|--------------------|---------------|-----------------|----------------|--------------------|
| Generator 1  | Terminal-10        | 250,          | 176,7           | 306,1419       | PQ                 |
| Generator 2  | Terminal 2-2       | 1057,752      | -7,585756       | 1057,78        | SL                 |
| Generator 3  | Terminal 1-8       | 540,          | -83,13075       | 546,3613       | PV                 |
| Generator 4  | Terminal 8-9       | 830,          | -85,19022       | 834,3605       | PV                 |
| Generator 5  | Terminal 3-1       | 552,7         | 168,7           | 577,8728       | PQ                 |
| Generator 6  | Terminal 4-3       | 650,          | 68,63101        | 653,6132       | PV                 |
| Generator 7  | Terminal 5-4       | 508,          | 76,44186        | 513,7191       | PV                 |
| Generator 8  | Terminal 9-5       | 632,          | 76,             | 636,5532       | PQ                 |
| Generator 9  | Terminal 7-6       | 650,          | 266,9           | 702,6632       | PQ                 |
| Generator 10 | Terminal 6-7       | 560,          | 23,17558        | 560,4794       | PV                 |

Tablica 2.11. prikazuje snage kojim generatori opskrbljuju mrežu pri smanjenim impedancijama vodova i pri 100%-tnom zadanom opterećenju. Ako se usporede podaci tablice s tablicom 2.7. iz prvog dijela simulacije može se primjetiti drastično smanjenje proizvodnje jalove snage. Nadalje, jalova snaga poprima kapacitivan karakter.

**Tablica 2.12. - Odstupanje nazivnih napona na sabirnicama izvora**

| <b>Sabirnica #</b> | <b>Nazivni napon (kV)</b> | <b>Iznosi napona dobivenih simulacijom (kV)</b> | <b>Vrsta čvora</b> |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| Generator 1        | 19                        | 19,95478                                        | PQ                 |
| Generator 3        | 19                        | 19                                              | PV                 |
| Generator 2        | 19                        | 19                                              | SL                 |
| Generator 5        | 19                        | 19,47783                                        | PQ                 |
| Generator 6        | 19                        | 19                                              | PV                 |
| Generator 7        | 19                        | 19                                              | PV                 |
| Generator 10       | 19                        | 19                                              | PV                 |
| Generator 9        | 19                        | 19,86719                                        | PQ                 |
| Generator 4        | 19                        | 19                                              | PV                 |
| Generator 8        | 19                        | 19,05775                                        | PQ                 |

Usporedbom s tablicom 2.8., kod tablice 2.12. može se primjetiti rast nazivnog napona na sabirnicama PQ čvorova. Uzrok tome su smanjene impendancije i povećani kapaciteti vodova. Na slijedećoj tablici 2.13. predstavljena su opterećenja trošila koja su zapravo fiksirana i konstantna bez obzira na mijenjanje iznosa impendancije vodova. Trošila i njihova potražnja snage u mreži su potpuno neovisna o impendancijama vodova. Taj zaključak se može i potvrditi usporedbom s tablicom 2.9. iz prvog dijela simulacije.

**Tablica 2.13. – Opterećenja trošila**

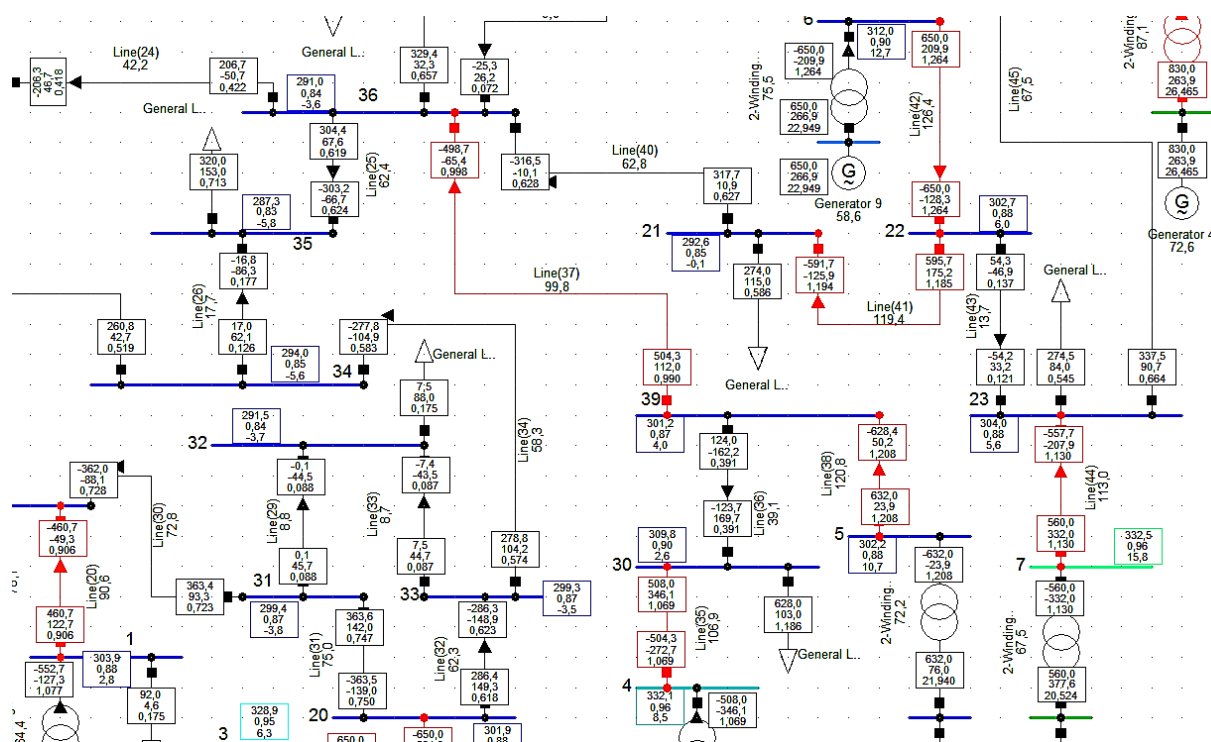
|            | Sabirnica # | P (MW) | Q (MVar) | S (MVA)  | cosφ       |
|------------|-------------|--------|----------|----------|------------|
| Trošilo 1  | 2           | 1104   | 250      | 1131,952 | 0,9753061  |
| Trošilo 2  | 25          | 224    | 47,2     | 228,9189 | 0,9785127  |
| Trošilo 3  | 1           | 92     | 4,6      | 92,11493 | 0,9987523  |
| Trošilo 4  | 27          | 281    | 75,5     | 290,9661 | 0,9657484  |
| Trošilo 5  | 32          | 7,5    | 88       | 88,31902 | 0,08491942 |
| Trošilo 6  | 30          | 628    | 103      | 636,3906 | 0,9868153  |
| Trošilo 7  | 36          | 329,4  | 32,3     | 330,9798 | 0,9952268  |
| Trošilo 8  | 24          | 308,6  | 92,2     | 322,0789 | 0,9581504  |
| Trošilo 9  | 21          | 274    | 115      | 297,1548 | 0,9220782  |
| Trošilo 10 | 23          | 274,5  | 84       | 287,0649 | 0,9562298  |
| Trošilo 11 | 35          | 320    | 153      | 354,6956 | 0,9021819  |
| Trošilo 12 | 26          | 139    | 17       | 140,0357 | 0,992604   |
| Trošilo 13 | 29          | 283,5  | 26,9     | 284,7733 | 0,9955286  |
| Trošilo 14 | 28          | 206    | 27,6     | 207,8407 | 0,9911437  |
| Trošilo 15 | 38          | 158    | 300      | 339,0634 | 0,4659895  |
| Trošilo 16 | 13          | 322    | 2,4      | 322,0089 | 0,9999722  |
| Trošilo 17 | 14          | 500    | 184      | 532,7814 | 0,9384712  |
| Trošilo 18 | 18          | 522    | 176      | 550,872  | 0,9475885  |
| Trošilo 19 | 17          | 233,8  | 84       | 248,432  | 0,9411027  |

Pri analizi tokova snaga u prvom dijelu simulacije postojala su određena preopterećenja vodova koja su prezentirana u pripadnim tablicama. Analizom tokova snaga drugog dijela simulacije utvrđeno je kako nema preopterećenih vodova. Smanjenjem impendancija vodova i povećanjem kapaciteta istih dobio se sustav s manjim opterećenjima vodova, te sustav sa sabirnicama gdje nema većih odstupanja napona od nazivnog.

|                     |   |             |     |          |      |         |     |
|---------------------|---|-------------|-----|----------|------|---------|-----|
| Generation          | = | 6230,45     | MW  | 680,64   | Mvar | 6267,52 | MVA |
| External Infeed     | = | 0,00        | MW  | 0,00     | Mvar | 0,00    | MVA |
| Inter Grid Flow     | = | 0,00        | MW  | 0,00     | Mvar |         |     |
| Load P(U)           | = | 6207,30     | MW  | 1862,70  | Mvar | 6480,76 | MVA |
| Load P(Un)          | = | 6207,30     | MW  | 1862,70  | Mvar | 6480,76 | MVA |
| Load P(Un-U)        | = | 0,00        | MW  | 0,00     | Mvar |         |     |
| Motor Load          | = | 0,00        | MW  | 0,00     | Mvar | 0,00    | MVA |
| Grid Losses         | = | 23,15       | MW  | -1182,06 | Mvar |         |     |
| Line Charging       | = |             |     | -2105,32 | Mvar |         |     |
| Compensation ind.   | = |             |     | 0,00     | Mvar |         |     |
| Compensation cap.   | = |             |     | 0,00     | Mvar |         |     |
|                     |   |             |     |          |      |         |     |
| Installed Capacity  | = | 9600,00     | MW  |          |      |         |     |
| Spinning Reserve    | = | 3369,55     | MW  |          |      |         |     |
|                     |   |             |     |          |      |         |     |
| Total Power Factor: |   |             |     |          |      |         |     |
| Generation          | = | 0,99        | [-] |          |      |         |     |
| Load/Motor          | = | 0,96 / 0,00 | [-] |          |      |         |     |

Slika 2.5. – Ukupni rezultati simulacije pri smanjenim impedancijama vodova

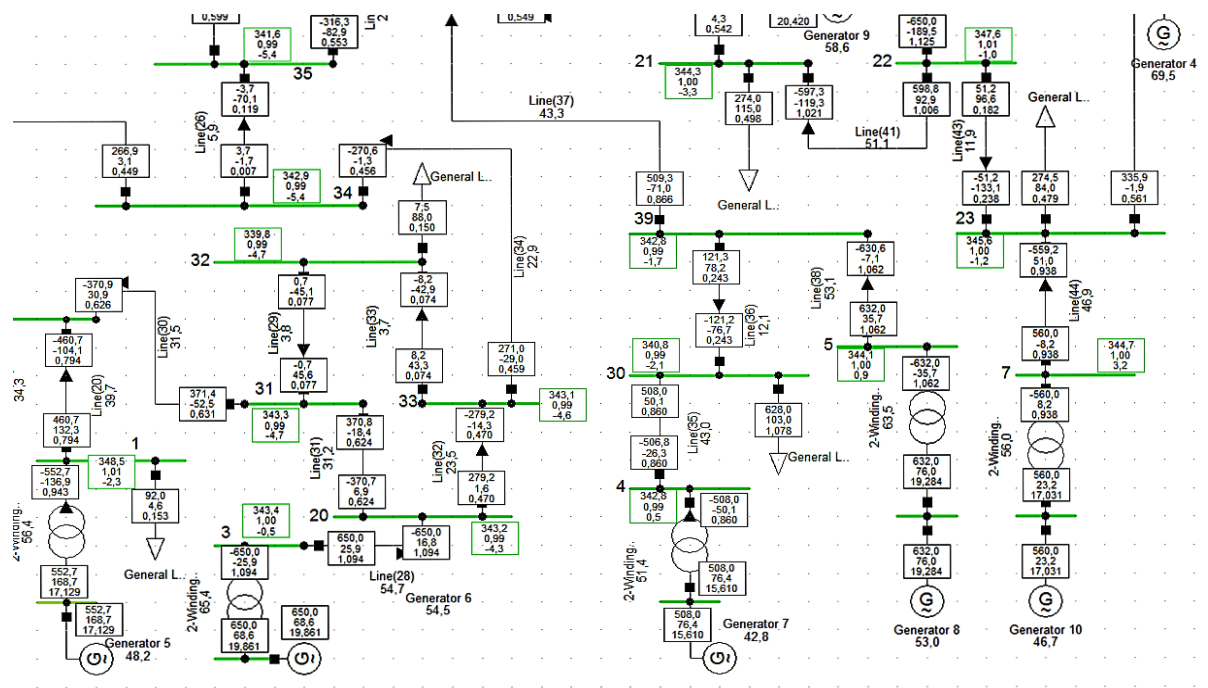
Usporedbom sa slikom 2.4., slika 2.5. sumira zapravo ono što se već moglo zaključiti: proizvodnja jalove snage generatora je drastično smanjena, gubici u vodovima su kapacitivnog karaktera te je ukupno poboljššan faktor snage mreže.



Slika 2.6. Dio sustava pod većim opterećenjem

Slika 2.6. oslikava dio elektroenergetskog sustava pri analizi tokova snaga prvog dijela simulacije sa 100%-tnim opterećenjem, gdje se mogu vidjeti smjerovi tokova snaga, te

preopterećeni elementi mreže u crvenoj boji. Unutar pripadnih okvira kraj elemenata prikazani su rezultati tokova snaga. Kod potrošača, vodova, generatora i transformatora su prikazane radna i jalova snaga uz jakost struje koju povlače ili daju u mrežu, a kod sabirnica prikazuju vrijednosti i kut napona prema referentnom naponu na sabirnici generatora 2.



**Slika 2.7. – Rasterećeni dio sustava pri 50% manjim impedancijama vodova**

Slika 2.7. predstavlja isti dio sustava prema slici 2.6., ali nakon smanjenja impedancije vodova. S obzirom na sliku 2.6. može se primjetiti smanjenje opterećenosti sustava.

### 2.3.2. Prijedlog rješenja preopterećenosti sustava

Pri 100%-tnom zadanom opterećenju sustava u prvom dijelu simulacije postojala su preopterećenja određenih vodova. Smanjenjem impedancije vodova, odnosno povećanjem presjeka vodiča opterećenja vodova dovedena su u prihvatljive okvire. Smanjenje impedancije vodova se u praksi rješava povećanjem presjeka vodiča ili dodavanjem paralelnih vodova.

### 2.3.3. Trofazni kratki spoj

Trofazni kratki spojevi su najnepovoljniji kvarovi koji se mogu manifestirati unutar elektroenergetskih mreža. Radi se o kratkom spoju koji je simetričan i u pravilu su jakosti struje

tog tipa kratkog spoja veće od svih ostalih. Nastaje kada se kratko spoje sve tri faze u istu točku gdje napon na tom mjestu pada na nulu, a struja raste na ogromne vrijednosti rezultirajući velikim elektromehaničkim oscilacijama unutar mreže. Informacije o kratkom spoju preuzete su iz [8] i [9].

|    |                                        | rtd.v.<br>[kV]                   | voltage<br>[kV] | [deg] | c-<br>Factor | Sk"<br>[MVA/MVA]                                                        | Ik"<br>[kA/kA]                                       | [deg]                                       | Ip<br>[kA/kA]                                           | Ib<br>[kA] | Sb<br>[MVA] | Ik<br>[kA] | Ith<br>[kA] |
|----|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------|-------|--------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 10 | Line<br>2-winding Trans                | 345,00<br>12<br>Terminal         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 7320,62 MVA<br>3123,41 MVA<br>4197,95 MVA                               | 12,25 kA<br>5,23 kA<br>7,03 kA                       | -87,51<br>93,44<br>91,79                    | 32,64 kA<br>13,93 kA<br>18,72 kA                        | 11,61      | 6940,57     | 12,25      | 12,74       |
| 12 | Line<br>Line(1)<br>Line(5)<br>Line(11) | 345,00<br>10<br>11<br>25<br>13   | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 8873,51 MVA<br>2483,35 MVA<br>1187,60 MVA<br>2676,58 MVA<br>2559,76 MVA | 14,85 kA<br>4,16 kA<br>1,99 kA<br>4,48 kA<br>4,28 kA | -84,62<br>91,06<br>93,20<br>102,91<br>92,72 | 37,31 kA<br>10,44 kA<br>4,99 kA<br>11,25 kA<br>10,76 kA | 14,84      | 8865,55     | 14,85      | 15,14       |
| 11 | Line(1)<br>Line(2)                     | 345,00<br>12<br>2                | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 4343,43 MVA<br>1942,31 MVA<br>2402,54 MVA                               | 7,27 kA<br>3,25 kA<br>4,02 kA                        | -86,54<br>95,09<br>92,14                    | 18,93 kA<br>8,46 kA<br>10,47 kA                         | 7,27       | 4343,43     | 7,27       | 7,48        |
| 2  | Line(2)<br>Line(3)<br>2-winding Trans  | 345,00<br>11<br>19<br>Terminal(2 | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 6746,35 MVA<br>1300,75 MVA<br>1248,59 MVA<br>4197,95 MVA                | 11,29 kA<br>2,18 kA<br>2,09 kA<br>7,03 kA            | -87,53<br>94,21<br>92,96<br>91,79           | 30,05 kA<br>5,79 kA<br>5,56 kA<br>18,70 kA              | 10,65      | 6366,30     | 11,29      | 11,73       |
| 19 | Line(3)<br>Line(16)                    | 345,00<br>2<br>18                | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 4249,13 MVA<br>2413,53 MVA<br>1835,77 MVA                               | 7,11 kA<br>4,04 kA<br>3,07 kA                        | -87,26<br>92,29<br>93,32                    | 18,80 kA<br>10,68 kA<br>8,12 kA                         | 7,11       | 4249,13     | 7,11       | 7,36        |
| 8  | Line(4)<br>2-winding Trans             | 345,00<br>25<br>Terminal 1       | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 6724,83 MVA<br>2532,81 MVA<br>4197,95 MVA                               | 11,25 kA<br>4,24 kA<br>7,03 kA                       | -86,34<br>96,75<br>91,79                    | 29,26 kA<br>11,02 kA<br>18,27 kA                        | 10,62      | 6344,71     | 11,25      | 11,57       |

**Slika 2.8.** Rezultati trofaznog kratkog spoja za pojedine vodove i transformatore pri 100%-tnom opterećenju

Slika 2.8. prikazuje okvirno o kakvim se iznosima struja trofaznog kratkog spoja radi. Simulacija je odrađena uz 100% zadano opterećenje i uz zadane početne impedancije vodova. Cijeli izvještaj trofaznog kratkog spoja nalazi se u prilogu. Na tako visokim naponima kao što su prijenosni i s tim što se kratki spoj nalazi relativno blizu izvora odnosno generatora, dolazi do jako visokih jakosti struja kratkog spoja. Ove informacije su jako vrijedne pošto se zaštita elektroenergetskih mreža vrši prema iznosima struja kratkog spoja. Pri dimenzioniranju visokonaponskih prekidača bitno je predvidjeti koji su to najveći iznosi jakosti struje kratkog spoja koji se mogu pojaviti unutar mreže te dimenzionirati prekidač na taj način da može isklopiti struju kratkog spoja i to u što kraćem vremenskom periodu. Osim prekidača postoji tu još niz elemenata koji se koriste kako bi se zaštitili elektroenergetski sustav poput vremenskih i usmjerenih releja, rastavljača, različitih vrsta uzemljenja i slično. Zaštita se postavlja selektivno tako da releji bliže mjestu kratkog spoja brzo reagiraju i odspajaju taj dio mreže iz sustava, kako bi se prijenos energije mogao ne smetano odvijati bez većih oscilacija.



|    |                            | rtd.V.<br>[kV] | Voltage<br>[kV] | [deg] | c-<br>Factor | Sk"<br>[MVA/MVA] | Ik"<br>[kA/kA] | [deg]  | ip<br>[kA/kA] | Ib<br>[kA] | Sb<br>[MVA] | Ik<br>[kA] | Ith<br>[kA] |
|----|----------------------------|----------------|-----------------|-------|--------------|------------------|----------------|--------|---------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 10 | Line 12                    | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 9848,42 MVA      | 16,48 kA       | -87,41 | 43,81 kA      | 15,85      | 9468,36     | 16,48      | 17,11       |
|    | 2-Winding Trans Terminal   |                |                 |       |              | 5651,18 MVA      | 9,46 kA        | 93,18  | 25,14 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,67 kA      |            |             |            |             |
| 12 | Line 10                    | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 13646,90 MVA     | 22,84 kA       | -85,12 | 57,81 kA      | 22,68      | 13550,27    | 22,84      | 23,32       |
|    | Line(1) 11                 |                |                 |       |              | 3120,70 MVA      | 5,22 kA        | 91,33  | 13,22 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(5) 25                 |                |                 |       |              | 1910,48 MVA      | 3,20 kA        | 92,83  | 8,09 kA       |            |             |            |             |
|    | Line(11) 13                |                |                 |       |              | 4164,72 MVA      | 6,97 kA        | 101,18 | 17,64 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4487,61 MVA      | 7,51 kA        | 92,38  | 19,01 kA      |            |             |            |             |
| 11 | Line(1) 12                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 7171,40 MVA      | 12,00 kA       | -86,46 | 31,19 kA      | 11,99      | 7165,66     | 12,00      | 12,33       |
|    | Line(2) 2                  |                |                 |       |              | 3533,68 MVA      | 5,91 kA        | 94,98  | 15,37 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3639,91 MVA      | 6,09 kA        | 92,14  | 15,83 kA      |            |             |            |             |
| 2  | Line(2) 11                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 8898,90 MVA      | 14,89 kA       | -87,27 | 39,41 kA      | 14,26      | 8518,82     | 14,89      | 15,42       |
|    | Line(3) 19                 |                |                 |       |              | 2400,61 MVA      | 4,02 kA        | 94,17  | 10,63 kA      |            |             |            |             |
|    | 2-Winding Trans Terminal(2 |                |                 |       |              | 2301,67 MVA      | 3,85 kA        | 92,93  | 10,19 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,59 kA      |            |             |            |             |
| 19 | Line(3) 2                  | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 7016,13 MVA      | 11,74 kA       | -87,15 | 30,97 kA      | 11,73      | 7011,95     | 11,74      | 12,14       |
|    | Line(16) 18                |                |                 |       |              | 3674,69 MVA      | 6,15 kA        | 92,44  | 16,22 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3341,64 MVA      | 5,59 kA        | 93,30  | 14,75 kA      |            |             |            |             |
| 8  | Line(4) 25                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 8838,62 MVA      | 14,79 kA       | -85,84 | 38,01 kA      | 14,16      | 8458,52     | 14,79      | 15,15       |
|    | 2-Winding Trans Terminal 1 |                |                 |       |              | 4647,52 MVA      | 7,78 kA        | 96,31  | 19,99 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,06 kA      |            |             |            |             |

**Slika 2.9.** – Trofazni kratki spoj 50% smanjene impedancije, simulacija pri 100%-tnom opterećenju

Usporedbom slika 2.8. i 2.9. očito su struje kratkog spoja sustava nakon modifikacije sustava veće od struja kratkog spoja sustava prije uvedene modifikacije, s obzirom da se radi o smanjenju impedancije sustava.

### 3. ZAKLJUČAK

Kroz glavni dio rada gdje su predstavljeni rezultati simulacije IEEE 39-sabirničkog sustava, mogli su se primjetiti različiti konteksti u kojima se sustav nalazio kako bi se dobilo što više moguće korisnih podataka. Mijenjana su zadana opterećenja, impedancije vodova, a i osim analize pogonskih stanja sustava prikazana je i analiza nepovoljnih stanja u kojima se sustavi u stvarnosti mogu naći. Pri tom se misli na analizu trofaznog kratkog spoja u dva slučaja i svakako radi se o jakim strujama, pogotovo na tim visokim naponskim razinama. Pri tim iznosima struje kratkog spoja moguće su ogromne štete na prijenosnim sustavima. Iz tih i sličnih razloga razumljivo je zašto su ovakve analize bitne. Zadatak je bio analizirati IEEE 39-sabirnički sustav pomoću DIGSILENT PowerFactory programskog paketa i ta analiza je prikazana. Cilj ovakvih simulacija je okupiti što veći broj podataka o sustavu i njegovom ponašanju u različitim kontekstima. Razlog tome je što se sustavi i mreže u stvarnosti nalaze pred takvim izazovima i kako bi postojao siguran prijenos električne energije koja je osnova svakog ekonomskog i gospodarskog napretka i razvitka, analize ovog tipa su jako bitne i neizbježne. IEEE 39-sabirnički sustav je složen, no idealan za proračune tokova snaga kod velikih umreženih prijenosnih elektroenergetskih sustava jer kao ispitni sustav sadrži njihove bitne karakteristike. Analize tokova snaga daju važne podatke i uvid u cjelokupan rad sustava prije puštanja u pogon ili kod proširenja već postojećih.

## 4. LITERATURA

- [1] M. A. Pai, „*Energy function analysis for power system stability*“, Kluwer Academic Publishers, Boston, SAD 1989.g.
- [2] Dept. Of Electrical Engg., Faculty of Engineering, Dayalbagh Educational Institute ;  
[http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/15070/25/25\\_appendix\\_e.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/15070/25/25_appendix_e.pdf)
- [3] K. Ožegović i M. Ožegović, *Električne energetske mreže - svezak III*, FESB, Opal computing d.o.o., Split 2002. g.
- [4] B. Jajac, *Teorijske osnove elektrotehnike – svezak III*, Graphis, Zagreb 2007.g.
- [5] R. Goić, D. Jakus i I. Penović, *Distribucija električne energije – interna skripta*, FESB, Split 2008.g.  
<http://marjan.fesb.hr/~rgoic/dm/skriptaDM.pdf>
- [6] Dr. N.Mithulananthan, Prof. T.Saha, *Development of a Comprehensive Power System Simulation Laboratory (PSS-L) at the University of Queensland – Project Funded by Australian Power Institute (API)*  
[http://www.itee.uq.edu.au/pssl/drupal7\\_with\\_innTheme/sites/default/files/Test%20system%20report%20\(1\).pdf](http://www.itee.uq.edu.au/pssl/drupal7_with_innTheme/sites/default/files/Test%20system%20report%20(1).pdf)
- [7] Prof.dr.sc.D. Šljivac, *Predavanja po generacijama – skripta s predavanja iz predmeta Elektrane i elektroenergetski sustavi*, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek 2012. g.  
<https://loomen.carnet.hr/mod/folder/view.php?id=156746>
- [8] S. Nikolovski, D. Šljivac, *Elektroenergetske mreže – zbirka riješenih zadataka, Treće izdanje*, Elektrotehnički fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Grafika, Osijek 2003.g.
- [9] H.Požar, *Visokonaponska rasklopna postrojenja, Peto izdanje*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.g.

## 5. SAŽETAK

Kroz završni rad prikazana je analiza 39-sabirničkog ispitnog sustava u DIgSILENT PowerFactory programu. Simulacija tog ispitnog sustava odrađena je u više različitih situacija kako bi se dobio što širi opseg podataka. Prvo su analizirani tokovi snaga IEEE 39-sabirničkog sustava s 90%-tnim i 100%-tnim zadanim opterećenjem potrošača, a nakon toga analiza tokova snaga sustava sa 50% smanjenim impendancijama vodova pri 100% zadanim opterećenjima trošila. Zatim je analiziran trofazni kratki spoj sustava prije i nakon modifikacije sustava (smanjenja impedancije vodovova) te je napravljena određena usporedba. Svi dobiveni podaci su predstavljeni i komentirani kroz glavni dio rada, a na kraju je ponuđeno i određeno rješenje s obzirom na preopterećenja koja su postojala unutar mreže. Rješenje je u skladu s metodom koja se i inače koriste u praksi. Na kraju je pojašnjena važnost ovakvih analiza i simulacija te zašto se uopće provode.

**KLJUČNE RIJEČI:** IEEE 39-sabirnički sustav, analiza tokova snaga, analiza kratkih spojeva, promjena opterećenja

### **Abstract**

The analysis of IEEE 39-bus test system has been shown through this paper. Simulation of that test system has been analysed in various context's so that various data could have been presented. Firstly, a load flow of IEEE 39-bus test system with 90% and 100% of given load data has been analysed, and after that, the load flow of the system with 100% given of given load data and with 50% smaller impedance of lines has been analysed. The three-phase short-circuit has been analysed before and after the system improvement in line impedance reduction. The data of the analysis has been given and commented through this paper, and in the end, the solution for the overloaded elements has been presented. The solution is used in praxis with similar problems. At the end, the importance of this kind of analysis and simulation has been explained.

**KEY WORD'S:** IEEE 39-bus system, load flow analysis, short-circuit analysis, load scaling

## 6. ŽIVOTOPIS

Glavaš Krešimir rođen je u Mostaru, BIH, 05.08.1991. godine. Odrastao je u Grudama, BIH, gdje je pohađao osnovnu i srednju školu, smjer gimnazija. Nakon završetka gimnazije upisuje se na Fakultet elektrotehnike, računarstva i brodogradnje u Splitu 2009. Godine, smjer elektrotehnika i informacijska tehnologija na preddiplomskom sveučilišnom studiju. 2015. godine prebacuje se na Elektrotehnički fakultet u Osijeku te upisuje treću godinu stručnog sveučilišnog studija elektrotehnike smjer elektroenergetika gdje uz fakultetske obveze pohađa i praksu u tvrtci Hrvatski Operater Prijenosnog Sustava.

## 7. PRILOZI

### P.2.1. - Apsolutne impedancije vodova

| Naziv voda | Sabirnica 1# | Sabirnica 2# | $R (\Omega)$ | $X (\Omega)$ | $B (\mu S)$ |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Line       | 12           | 10           | 0            | 21,54        | 0           |
| Line 1     | 11           | 12           | 4,17         | 48,92        | 587         |
| Line 2     | 2            | 11           | 1,19         | 29,76        | 630         |
| Line 3     | 19           | 2            | 1,19         | 29,76        | 1000        |
| Line 4     | 25           | 8            | 0,7142       | 27,61        | 0           |
| Line 5     | 12           | 25           | 8,33         | 10,24        | 123         |
| Line 6     | 25           | 26           | 3,81         | 38,45        | 431         |
| Line 7     | 26           | 28           | 5,12         | 56,42        | 655         |
| Line 8     | 28           | 29           | 1,67         | 17,97        | 209,2       |
| Line 9     | 26           | 29           | 6,78         | 74,39        | 864         |
| Line 10    | 9            | 29           | 0,9522       | 18,57        | 0           |
| Line 11    | 12           | 13           | 1,547        | 17,97        | 216         |
| Line 12    | 13           | 38           | 1,309        | 15,83        | 180         |
| Line 13    | 14           | 13           | 1,55         | 25,35        | 186         |
| Line 14    | 15           | 14           | 0,9522       | 15,24        | 112,7       |
| Line 15    | 18           | 15           | 0,9522       | 13,33        | 124         |
| Line 16    | 19           | 18           | 2,74         | 43,2         | 320         |
| Line 17    | 15           | 16           | 0,238        | 3,1          | 37          |
| Line 18    | 18           | 17           | 0,476        | 5,48         | 65,5        |
| Line 19    | 17           | 16           | 0,714        | 10,95        | 94,9        |
| Line 20    | 1            | 16           | 0            | 29,8         | 0           |
| Line 21    | 38           | 37           | 0,833        | 9,76         | 110         |
| Line 22    | 37           | 27           | 1,55         | 20,59        | 270         |
| Line 23    | 27           | 26           | 1,67         | 17,5         | 201         |
| Line 24    | 36           | 37           | 0,833        | 10,59        | 113         |
| Line 25    | 35           | 36           | 1,07         | 11,18        | 144         |
| Line 26    | 34           | 35           | 2,14         | 25,83        | 307         |
| Line 27    | 34           | 14           | 0,9522       | 15,35        | 116         |
| Line 28    | 3            | 20           | 0            | 23,8         | 0           |
| Line 29    | 31           | 32           | 1,9          | 51,77        | 0           |
| Line 30    | 16           | 31           | 0,833        | 9,76         | 116         |
| Line 31    | 20           | 31           | 0,0761       | 5,12         | 61,2        |
| Line 32    | 20           | 33           | 0,0761       | 5,12         | 61,2        |
| Line 33    | 32           | 33           | 1,9          | 51,77        | 0           |
| Line 34    | 34           | 33           | 1,07         | 12,02        | 145         |
| Line 35    | 4            | 30           | 1,07         | 21,42        | 0           |
| Line 36    | 30           | 39           | 0,833        | 16,43        | 0           |
| Line 37    | 39           | 36           | 1,9          | 23,2         | 255         |
| Line 38    | 5            | 39           | 0,833        | 16,9         | 0           |

|         |    |    |               |              |             |
|---------|----|----|---------------|--------------|-------------|
| Line 39 | 24 | 36 | <b>0,357</b>  | <b>7,022</b> | <b>57,1</b> |
| Line 40 | 36 | 21 | <b>0,9522</b> | <b>16,07</b> | <b>214</b>  |
| Line 41 | 21 | 22 | <b>0,9522</b> | <b>16,07</b> | <b>214</b>  |
| Line 42 | 6  | 22 | <b>0</b>      | <b>17,02</b> | <b>0</b>    |
| Line 43 | 23 | 22 | <b>0,714</b>  | <b>11,43</b> | <b>155</b>  |
| Line 44 | 7  | 23 | <b>0,595</b>  | <b>32,37</b> | <b>0</b>    |
| Line 45 | 24 | 23 | <b>2,62</b>   | <b>41,66</b> | <b>303</b>  |

## P.2.2. – Trofazni kratki spoj s zadanim impedancijama sustava pri 100%-tnom opterećenju

|                 | rtd.V.<br>[kV] | Voltage<br>[kV] |      | c-<br>Factor | Sk"<br>[MVA/MVA] | Ik"<br>[kA/kA] |        | ip<br>[kA/kA] | Ib<br>[kA] | Sb<br>[MVA] | Ik<br>[kA] | Ith<br>[kA] |
|-----------------|----------------|-----------------|------|--------------|------------------|----------------|--------|---------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 10              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 7320,62 MVA      | 12,25 kA       | -87,51 | 32,64 kA      | 11,61      | 6940,57     | 12,25      | 12,74       |
| Line 12         | 12             |                 |      |              | 3123,41 MVA      | 5,23 kA        | 93,44  | 13,93 kA      |            |             |            |             |
| 2-Winding Trans | Terminal       |                 |      |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,72 kA      |            |             |            |             |
| 12              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 8873,51 MVA      | 14,85 kA       | -84,62 | 37,31 kA      | 14,84      | 8865,55     | 14,85      | 15,14       |
| Line 10         | 10             |                 |      |              | 2483,35 MVA      | 4,16 kA        | 91,06  | 10,44 kA      |            |             |            |             |
| Line(1)         | 11             |                 |      |              | 1187,60 MVA      | 1,99 kA        | 93,20  | 4,99 kA       |            |             |            |             |
| Line(5)         | 25             |                 |      |              | 2676,58 MVA      | 4,48 kA        | 102,91 | 11,25 kA      |            |             |            |             |
| Line(11)        | 13             |                 |      |              | 2559,76 MVA      | 4,28 kA        | 92,72  | 10,76 kA      |            |             |            |             |
| 11              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 4343,43 MVA      | 7,27 kA        | -86,54 | 18,93 kA      | 7,27       | 4343,43     | 7,27       | 7,48        |
| Line(1)         | 12             |                 |      |              | 1942,31 MVA      | 3,25 kA        | 95,09  | 8,46 kA       |            |             |            |             |
| Line(2)         | 2              |                 |      |              | 2402,54 MVA      | 4,02 kA        | 92,14  | 10,47 kA      |            |             |            |             |
| 2               | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 6746,35 MVA      | 11,29 kA       | -87,53 | 30,05 kA      | 10,65      | 6366,30     | 11,29      | 11,73       |
| Line(2)         | 11             |                 |      |              | 1300,75 MVA      | 2,18 kA        | 94,21  | 5,79 kA       |            |             |            |             |
| Line(3)         | 19             |                 |      |              | 1248,59 MVA      | 2,09 kA        | 92,96  | 5,56 kA       |            |             |            |             |
| 2-Winding Trans | Terminal(2     |                 |      |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,70 kA      |            |             |            |             |
| 19              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 4249,13 MVA      | 7,11 kA        | -87,26 | 18,80 kA      | 7,11       | 4249,13     | 7,11       | 7,36        |
| Line(3)         | 2              |                 |      |              | 2413,53 MVA      | 4,04 kA        | 92,29  | 10,68 kA      |            |             |            |             |
| Line(16)        | 18             |                 |      |              | 1835,77 MVA      | 3,07 kA        | 93,32  | 8,12 kA       |            |             |            |             |
| 8               | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 6724,83 MVA      | 11,25 kA       | -86,34 | 29,26 kA      | 10,62      | 6344,71     | 11,25      | 11,57       |
| Line(4)         | 25             |                 |      |              | 2532,81 MVA      | 4,24 kA        | 96,75  | 11,02 kA      |            |             |            |             |
| 2-Winding Trans | Terminal 1     |                 |      |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,27 kA      |            |             |            |             |
| 25              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 7579,72 MVA      | 12,68 kA       | -80,50 | 29,67 kA      | 12,68      | 7579,72     | 12,68      | 12,83       |
| Line(4)         | 8              |                 |      |              | 2226,38 MVA      | 3,73 kA        | 91,65  | 8,71 kA       |            |             |            |             |
| Line(5)         | 12             |                 |      |              | 3875,81 MVA      | 6,49 kA        | 106,85 | 15,17 kA      |            |             |            |             |
| Line(6)         | 26             |                 |      |              | 1542,22 MVA      | 2,58 kA        | 92,37  | 6,04 kA       |            |             |            |             |
| 26              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 5611,58 MVA      | 9,39 kA        | -85,23 | 23,76 kA      | 9,39       | 5611,58     | 9,39       | 9,59        |
| Line(6)         | 25             |                 |      |              | 2019,58 MVA      | 3,38 kA        | 97,01  | 8,55 kA       |            |             |            |             |
| Line(7)         | 28             |                 |      |              | 751,58 MVA       | 1,26 kA        | 93,50  | 3,18 kA       |            |             |            |             |
| Line(9)         | 29             |                 |      |              | 751,59 MVA       | 1,26 kA        | 93,50  | 3,18 kA       |            |             |            |             |
| Line(23)        | 27             |                 |      |              | 2091,25 MVA      | 3,50 kA        | 93,51  | 8,85 kA       |            |             |            |             |
| 28              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 3578,14 MVA      | 5,99 kA        | -85,81 | 15,32 kA      | 5,99       | 3578,14     | 5,99       | 6,13        |
| Line(7)         | 26             |                 |      |              | 1316,40 MVA      | 2,20 kA        | 95,01  | 5,64 kA       |            |             |            |             |
| Line(8)         | 29             |                 |      |              | 2261,96 MVA      | 3,79 kA        | 93,71  | 9,68 kA       |            |             |            |             |
| 29              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 4520,23 MVA      | 7,56 kA        | -86,53 | 19,68 kA      | 7,52       | 4496,61     | 7,56       | 7,78        |
| Line(8)         | 28             |                 |      |              | 945,82 MVA       | 1,58 kA        | 95,23  | 4,12 kA       |            |             |            |             |
| Line(9)         | 26             |                 |      |              | 945,83 MVA       | 1,58 kA        | 95,22  | 4,12 kA       |            |             |            |             |
| Line(10)        | 9              |                 |      |              | 2630,10 MVA      | 4,40 kA        | 92,22  | 11,45 kA      |            |             |            |             |
| 9               | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 5687,76 MVA      | 9,52 kA        | -87,44 | 25,29 kA      | 8,88       | 5307,70     | 9,52       | 9,88        |
| Line(10)        | 29             |                 |      |              | 1491,26 MVA      | 2,50 kA        | 94,74  | 6,63 kA       |            |             |            |             |
| 2-Winding Trans | Terminal(8     |                 |      |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,66 kA      |            |             |            |             |
| 13              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 7728,16 MVA      | 12,93 kA       | -86,08 | 33,33 kA      | 12,93      | 7728,16     | 12,93      | 13,26       |
| Line(11)        | 12             |                 |      |              | 3163,88 MVA      | 5,29 kA        | 95,26  | 13,65 kA      |            |             |            |             |
| Line(12)        | 38             |                 |      |              | 2325,88 MVA      | 3,89 kA        | 93,30  | 10,03 kA      |            |             |            |             |
| Line(13)        | 14             |                 |      |              | 2239,93 MVA      | 3,75 kA        | 92,66  | 9,66 kA       |            |             |            |             |
| 38              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 6852,66 MVA      | 11,47 kA       | -86,20 | 29,58 kA      | 11,47      | 6852,66     | 11,47      | 11,76       |
| Line(12)        | 13             |                 |      |              | 2995,70 MVA      | 5,01 kA        | 93,96  | 12,93 kA      |            |             |            |             |
| Line(21)        | 37             |                 |      |              | 3856,98 MVA      | 6,45 kA        | 93,67  | 16,65 kA      |            |             |            |             |
| 14              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 7323,52 MVA      | 12,26 kA       | -86,96 | 32,19 kA      | 12,26      | 7323,52     | 12,26      | 12,65       |
| Line(13)        | 13             |                 |      |              | 2392,22 MVA      | 4,00 kA        | 93,77  | 10,51 kA      |            |             |            |             |
| Line(14)        | 15             |                 |      |              | 2593,56 MVA      | 4,34 kA        | 92,41  | 11,40 kA      |            |             |            |             |
| Line(27)        | 34             |                 |      |              | 2338,09 MVA      | 3,91 kA        | 93,01  | 10,28 kA      |            |             |            |             |
| 15              | 345,00         | 0,00            | 0,00 | 1,10         | 7530,02 MVA      | 12,60 kA       | -87,38 | 33,43 kA      | 12,60      | 7530,02     | 12,60      | 13,07       |
| Line(14)        | 14             |                 |      |              | 2424,14 MVA      | 4,06 kA        | 93,37  | 10,76 kA      |            |             |            |             |
| Line(15)        | 18             |                 |      |              | 1045,64 MVA      | 1,75 kA        | 92,55  | 4,64 kA       |            |             |            |             |
| Line(17)        | 16             |                 |      |              | 4060,56 MVA      | 6,80 kA        | 92,18  | 18,03 kA      |            |             |            |             |

|    |                 |            |      |      |      |             |          |        |          |       |         |       |       |
|----|-----------------|------------|------|------|------|-------------|----------|--------|----------|-------|---------|-------|-------|
| 18 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6187,07 MVA | 10,35 kA | -87,14 | 27,30 kA | 10,35 | 6187,07 | 10,35 | 10,70 |
|    | Line(15)        | 15         |      |      |      | 2606,82 MVA | 4,36 kA  | 92,91  | 11,50 kA |       |         |       |       |
|    | Line(16)        | 19         |      |      |      | 1293,67 MVA | 2,16 kA  | 92,83  | 5,71 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(18)        | 17         |      |      |      | 2286,59 MVA | 3,83 kA  | 92,82  | 10,09 kA |       |         |       |       |
| 16 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7844,41 MVA | 13,13 kA | -87,56 | 34,97 kA | 13,13 | 7844,41 | 13,13 | 13,65 |
|    | Line(17)        | 15         |      |      |      | 2468,82 MVA | 4,13 kA  | 93,41  | 11,01 kA |       |         |       |       |
|    | Line(19)        | 17         |      |      |      | 769,14 MVA  | 1,29 kA  | 93,03  | 3,43 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(20)        | 1          |      |      |      | 2147,02 MVA | 3,59 kA  | 90,92  | 9,57 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(30)        | 31         |      |      |      | 2460,59 MVA | 4,12 kA  | 92,62  | 10,97 kA |       |         |       |       |
| 17 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6056,15 MVA | 10,13 kA | -87,15 | 26,73 kA | 10,13 | 6056,15 | 10,13 | 10,48 |
|    | Line(18)        | 18         |      |      |      | 2741,53 MVA | 4,59 kA  | 93,24  | 12,10 kA |       |         |       |       |
|    | Line(19)        | 16         |      |      |      | 3314,73 MVA | 5,55 kA  | 92,53  | 14,63 kA |       |         |       |       |
| 1  |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6679,56 MVA | 11,18 kA | -88,39 | 30,36 kA | 10,54 | 6299,67 | 11,18 | 11,84 |
|    | Line(20)        | 16         |      |      |      | 2481,66 MVA | 4,15 kA  | 91,31  | 11,28 kA |       |         |       |       |
|    | 2-Winding Trans | Terminal(3 |      |      |      | 4197,95 MVA | 7,03 kA  | 91,79  | 19,08 kA |       |         |       |       |
| 37 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8035,41 MVA | 13,45 kA | -86,45 | 34,87 kA | 13,45 | 8035,41 | 13,45 | 13,81 |
|    | Line(21)        | 38         |      |      |      | 2214,92 MVA | 3,71 kA  | 93,65  | 9,61 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(22)        | 27         |      |      |      | 1513,55 MVA | 2,53 kA  | 93,77  | 6,57 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(24)        | 36         |      |      |      | 4306,96 MVA | 7,21 kA  | 93,42  | 18,69 kA |       |         |       |       |
| 27 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 5395,50 MVA | 9,03 kA  | -85,83 | 23,10 kA | 9,03  | 5395,50 | 9,03  | 9,24  |
|    | Line(22)        | 37         |      |      |      | 3100,06 MVA | 5,19 kA  | 93,48  | 13,27 kA |       |         |       |       |
|    | Line(23)        | 26         |      |      |      | 2295,97 MVA | 3,84 kA  | 95,10  | 9,83 kA  |       |         |       |       |
| 36 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9693,37 MVA | 16,22 kA | -86,83 | 42,45 kA | 16,22 | 9693,37 | 16,22 | 16,71 |
|    | Line(24)        | 37         |      |      |      | 2651,40 MVA | 4,44 kA  | 93,76  | 11,61 kA |       |         |       |       |
|    | Line(25)        | 35         |      |      |      | 1709,49 MVA | 2,86 kA  | 93,64  | 7,49 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(37)        | 39         |      |      |      | 2536,12 MVA | 4,24 kA  | 93,35  | 11,11 kA |       |         |       |       |
|    | Line(39)        | 24         |      |      |      | 1122,89 MVA | 1,88 kA  | 92,24  | 4,92 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(40)        | 21         |      |      |      | 1674,11 MVA | 2,80 kA  | 92,11  | 7,33 kA  |       |         |       |       |
| 35 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6886,74 MVA | 11,52 kA | -86,19 | 29,71 kA | 11,52 | 6886,74 | 11,52 | 11,82 |
|    | Line(25)        | 36         |      |      |      | 4591,64 MVA | 7,68 kA  | 94,00  | 19,81 kA |       |         |       |       |
|    | Line(26)        | 34         |      |      |      | 2295,18 MVA | 3,84 kA  | 93,44  | 9,90 kA  |       |         |       |       |
| 34 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7165,66 MVA | 11,99 kA | -86,88 | 31,43 kA | 11,99 | 7165,66 | 11,99 | 12,36 |
|    | Line(26)        | 35         |      |      |      | 2182,57 MVA | 3,65 kA  | 94,23  | 9,57 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(27)        | 14         |      |      |      | 2471,30 MVA | 4,14 kA  | 92,88  | 10,84 kA |       |         |       |       |
|    | Line(34)        | 33         |      |      |      | 2512,42 MVA | 4,20 kA  | 92,39  | 11,02 kA |       |         |       |       |
| 32 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 3076,97 MVA | 5,15 kA  | -87,67 | 13,75 kA | 5,15  | 3076,97 | 5,15  | 5,36  |
|    | Line(29)        | 31         |      |      |      | 1548,03 MVA | 2,59 kA  | 92,31  | 6,92 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(33)        | 33         |      |      |      | 1528,94 MVA | 2,56 kA  | 92,35  | 6,83 kA  |       |         |       |       |
| 31 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7166,95 MVA | 11,99 kA | -87,48 | 31,89 kA | 11,99 | 7166,95 | 11,99 | 12,45 |
|    | Line(29)        | 32         |      |      |      | 246,34 MVA  | 0,41 kA  | 93,47  | 1,10 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(30)        | 16         |      |      |      | 3402,31 MVA | 5,69 kA  | 93,16  | 15,14 kA |       |         |       |       |
|    | Line(31)        | 20         |      |      |      | 3518,80 MVA | 5,89 kA  | 91,83  | 15,66 kA |       |         |       |       |
| 33 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6923,27 MVA | 11,59 kA | -87,38 | 30,73 kA | 11,59 | 6923,27 | 11,59 | 12,01 |
|    | Line(32)        | 20         |      |      |      | 3852,82 MVA | 6,45 kA  | 91,46  | 17,10 kA |       |         |       |       |
|    | Line(33)        | 32         |      |      |      | 280,88 MVA  | 0,47 kA  | 92,91  | 1,25 kA  |       |         |       |       |
|    | Line(34)        | 34         |      |      |      | 2791,40 MVA | 4,67 kA  | 94,18  | 12,39 kA |       |         |       |       |
| 20 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7419,82 MVA | 12,42 kA | -87,55 | 33,07 kA | 12,42 | 7419,82 | 12,42 | 12,91 |
|    | Line(31)        | 31         |      |      |      | 2741,79 MVA | 4,59 kA  | 92,70  | 12,22 kA |       |         |       |       |
|    | Line(32)        | 33         |      |      |      | 2298,02 MVA | 3,85 kA  | 93,64  | 10,24 kA |       |         |       |       |
|    | Line(28)        | 3          |      |      |      | 2381,29 MVA | 3,99 kA  | 91,02  | 10,61 kA |       |         |       |       |
| 3  |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6829,07 MVA | 11,43 kA | -88,27 | 30,96 kA | 10,79 | 6449,16 | 11,43 | 12,06 |
|    | Line(28)        | 20         |      |      |      | 2631,13 MVA | 4,40 kA  | 91,63  | 11,93 kA |       |         |       |       |
|    | 2-Winding Trans | Terminal(4 |      |      |      | 4197,95 MVA | 7,03 kA  | 91,79  | 19,03 kA |       |         |       |       |
| 4  |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6372,53 MVA | 10,66 kA | -87,81 | 28,56 kA | 10,03 | 5992,52 | 10,66 | 11,13 |
|    | Line(35)        | 30         |      |      |      | 2174,88 MVA | 3,64 kA  | 92,97  | 9,75 kA  |       |         |       |       |
|    | 2-Winding Trans | Terminal(5 |      |      |      | 4197,95 MVA | 7,03 kA  | 91,79  | 18,81 kA |       |         |       |       |



|             |                 |        |      |      |      |             |           |        |           |        |         |        |        |
|-------------|-----------------|--------|------|------|------|-------------|-----------|--------|-----------|--------|---------|--------|--------|
| 30          | Line(35)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 5865,92 MVA | 9,82 kA   | -87,31 | 25,98 kA  | 9,80   | 5857,53 | 9,82   | 10,17  |
|             | Line(36)        | 4      |      |      |      | 2487,56 MVA | 4,16 kA   | 92,23  | 11,02 kA  |        |         |        |        |
|             |                 | 39     |      |      |      | 3378,50 MVA | 5,65 kA   | 93,04  | 14,96 kA  |        |         |        |        |
| 39          | Line(36)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7765,74 MVA | 13,00 kA  | -87,05 | 34,18 kA  | 12,94  | 7730,97 | 13,00  | 13,42  |
|             | Line(37)        | 30     |      |      |      | 1895,22 MVA | 3,17 kA   | 92,39  | 8,34 kA   |        |         |        |        |
|             | Line(38)        | 36     |      |      |      | 3149,81 MVA | 5,27 kA   | 93,99  | 13,86 kA  |        |         |        |        |
|             |                 | 5      |      |      |      | 2721,58 MVA | 4,55 kA   | 92,15  | 11,98 kA  |        |         |        |        |
| 5           | Line(38)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7251,20 MVA | 12,13 kA  | -87,63 | 32,36 kA  | 11,50  | 6871,17 | 12,13  | 12,63  |
|             | 2-Winding Trans | 39     |      |      |      | 3053,76 MVA | 5,11 kA   | 93,16  | 13,63 kA  |        |         |        |        |
|             | Terminal(9      |        |      |      |      | 4197,95 MVA | 7,03 kA   | 91,79  | 18,74 kA  |        |         |        |        |
| 24          | Line(39)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7175,32 MVA | 12,01 kA  | -86,97 | 31,52 kA  | 12,01  | 7175,32 | 12,01  | 12,39  |
|             | Line(45)        | 36     |      |      |      | 5668,44 MVA | 9,49 kA   | 93,12  | 24,90 kA  |        |         |        |        |
|             |                 | 23     |      |      |      | 1506,91 MVA | 2,52 kA   | 92,70  | 6,62 kA   |        |         |        |        |
| 21          | Line(40)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6612,99 MVA | 11,07 kA  | -87,11 | 29,15 kA  | 11,07  | 6612,99 | 11,07  | 11,44  |
|             | Line(41)        | 36     |      |      |      | 3726,29 MVA | 6,24 kA   | 93,34  | 16,43 kA  |        |         |        |        |
|             |                 | 22     |      |      |      | 2886,96 MVA | 4,83 kA   | 92,31  | 12,73 kA  |        |         |        |        |
| 22          | Line(41)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7440,49 MVA | 12,45 kA  | -87,71 | 33,27 kA  | 12,39  | 7406,41 | 12,45  | 12,97  |
|             | Line(42)        | 21     |      |      |      | 2229,60 MVA | 3,73 kA   | 93,38  | 9,97 kA   |        |         |        |        |
|             | Line(43)        | 6      |      |      |      | 2716,17 MVA | 4,55 kA   | 91,16  | 12,15 kA  |        |         |        |        |
|             |                 | 23     |      |      |      | 2495,69 MVA | 4,18 kA   | 92,56  | 11,16 kA  |        |         |        |        |
| 6           | Line(42)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 7126,02 MVA | 11,93 kA  | -88,20 | 32,24 kA  | 11,29  | 6746,09 | 11,93  | 12,55  |
|             | 2-Winding Trans | 22     |      |      |      | 2928,07 MVA | 4,90 kA   | 91,83  | 13,25 kA  |        |         |        |        |
|             | Terminal(7      |        |      |      |      | 4197,95 MVA | 7,03 kA   | 91,79  | 18,99 kA  |        |         |        |        |
| 23          | Line(43)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6847,91 MVA | 11,46 kA  | -87,59 | 30,54 kA  | 11,46  | 6847,91 | 11,46  | 11,92  |
|             | Line(44)        | 22     |      |      |      | 3207,69 MVA | 5,37 kA   | 92,56  | 14,30 kA  |        |         |        |        |
|             | Line(45)        | 7      |      |      |      | 2059,82 MVA | 3,45 kA   | 91,41  | 9,19 kA   |        |         |        |        |
|             |                 | 24     |      |      |      | 1580,95 MVA | 2,65 kA   | 93,40  | 7,05 kA   |        |         |        |        |
| 7           | Line(44)        | 345,00 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 6390,67 MVA | 10,69 kA  | -88,18 | 28,90 kA  | 10,06  | 6010,73 | 10,69  | 11,25  |
|             | 2-Winding Trans | 23     |      |      |      | 2192,72 MVA | 3,67 kA   | 91,87  | 9,92 kA   |        |         |        |        |
|             | Terminal(6      |        |      |      |      | 4197,95 MVA | 7,03 kA   | 91,79  | 18,99 kA  |        |         |        |        |
| Terminal    | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9145,03 MVA | 277,89 kA | -87,19 | 733,84 kA | 225,06 | 7406,57 | 277,89 | 287,48 |
|             | Generator 1     | 10     |      |      |      | 2433,42 MVA | 73,94 kA  | 92,68  | 195,27 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 538,57 kA |        |         |        |        |
| Terminal 1  | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8770,90 MVA | 266,52 kA | -86,52 | 693,59 kA | 213,66 | 7031,33 | 266,52 | 274,07 |
|             | Generator 3     | 8      |      |      |      | 2060,94 MVA | 62,63 kA  | 95,49  | 162,98 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 530,75 kA |        |         |        |        |
| Terminal(2) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8781,81 MVA | 266,85 kA | -87,12 | 703,22 kA | 214,02 | 7043,26 | 266,85 | 275,79 |
|             | Generator 2     | 2      |      |      |      | 2070,20 MVA | 62,91 kA  | 92,92  | 165,77 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 537,44 kA |        |         |        |        |
| Terminal(3) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8735,78 MVA | 265,45 kA | -87,55 | 706,63 kA | 212,65 | 6998,10 | 265,45 | 275,85 |
|             | Generator 5     | 1      |      |      |      | 2024,92 MVA | 61,53 kA  | 91,07  | 163,79 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 542,90 kA |        |         |        |        |
| Terminal(4) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8834,42 MVA | 268,45 kA | -87,51 | 713,85 kA | 215,64 | 7096,64 | 268,45 | 278,78 |
|             | Generator 6     | 3      |      |      |      | 2123,39 MVA | 64,52 kA  | 91,32  | 171,58 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 542,32 kA |        |         |        |        |
| Terminal(5) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8527,78 MVA | 259,13 kA | -87,22 | 684,24 kA | 206,31 | 6789,43 | 259,13 | 268,07 |
|             | Generator 7     | 4      |      |      |      | 1816,20 MVA | 55,19 kA  | 92,48  | 145,72 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 538,51 kA |        |         |        |        |
| Terminal(6) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8539,65 MVA | 259,49 kA | -87,42 | 688,47 kA | 206,68 | 6801,70 | 259,49 | 269,12 |
|             | Generator 10    | 7      |      |      |      | 1828,41 MVA | 55,56 kA  | 91,56  | 147,41 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 541,09 kA |        |         |        |        |
| Terminal(7) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9023,79 MVA | 274,20 kA | -87,50 | 728,99 kA | 221,40 | 7285,97 | 274,20 | 284,72 |
|             | Generator 9     | 6      |      |      |      | 2312,70 MVA | 70,28 kA  | 91,44  | 186,83 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 542,20 kA |        |         |        |        |
| Terminal(8) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8025,03 MVA | 243,86 kA | -86,92 | 639,57 kA | 191,02 | 6286,17 | 243,86 | 251,49 |
|             | Generator 4     | 9      |      |      |      | 1313,70 MVA | 39,92 kA  | 94,17  | 104,70 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 534,90 kA |        |         |        |        |
| Terminal(9) | 2-Winding Trans | 19,00  | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9102,40 MVA | 276,59 kA | -87,24 | 730,71 kA | 223,77 | 7364,04 | 276,59 | 286,20 |
|             | Generator 8     | 5      |      |      |      | 2390,82 MVA | 72,65 kA  | 92,48  | 191,93 kA |        |         |        |        |
|             |                 |        |      |      |      | 6711,62 MVA | 203,94 kA | -87,14 | 538,78 kA |        |         |        |        |

### P.2.3. Trofazni kratki spoj s umanjenim impedancijama vodova pri 100%-tnom opterećenju

|    |                            | rtd.V.<br>[kV] | Voltage<br>[kV] | [deg] | c-<br>Factor | Sk"<br>[MVA/MVA] | Ik"<br>[kA/kA] | [deg]  | ip<br>[kA/kA] | Ib<br>[kA] | Sb<br>[MVA] | Ik<br>[kA] | Ith<br>[kA] |
|----|----------------------------|----------------|-----------------|-------|--------------|------------------|----------------|--------|---------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 10 | Line 12                    | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 9848,42 MVA      | 16,48 kA       | -87,41 | 43,81 kA      | 15,85      | 9468,36     | 16,48      | 17,11       |
|    | 2-Winding Trans Terminal   |                |                 |       |              | 5651,18 MVA      | 9,46 kA        | 93,18  | 25,14 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,67 kA      |            |             |            |             |
| 12 | Line 10                    | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 13646,90 MVA     | 22,84 kA       | -85,12 | 57,81 kA      | 22,68      | 13550,27    | 22,84      | 23,32       |
|    | Line(1) 11                 |                |                 |       |              | 3120,70 MVA      | 5,22 kA        | 91,33  | 13,22 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(5) 25                 |                |                 |       |              | 1910,48 MVA      | 3,20 kA        | 92,83  | 8,09 kA       |            |             |            |             |
|    | Line(11) 13                |                |                 |       |              | 4164,72 MVA      | 6,97 kA        | 101,18 | 17,64 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4487,61 MVA      | 7,51 kA        | 92,38  | 19,01 kA      |            |             |            |             |
| 11 | Line(1) 12                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 7171,40 MVA      | 12,00 kA       | -86,46 | 31,19 kA      | 11,99      | 7165,66     | 12,00      | 12,33       |
|    | Line(2) 2                  |                |                 |       |              | 3533,68 MVA      | 5,91 kA        | 94,98  | 15,37 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3639,91 MVA      | 6,09 kA        | 92,14  | 15,83 kA      |            |             |            |             |
| 2  | Line(2) 11                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 8898,90 MVA      | 14,89 kA       | -87,27 | 39,41 kA      | 14,26      | 8518,82     | 14,89      | 15,42       |
|    | Line(3) 19                 |                |                 |       |              | 2400,61 MVA      | 4,02 kA        | 94,17  | 10,63 kA      |            |             |            |             |
|    | 2-Winding Trans Terminal(2 |                |                 |       |              | 2301,67 MVA      | 3,85 kA        | 92,93  | 10,19 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,59 kA      |            |             |            |             |
| 19 | Line(3) 2                  | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 7016,13 MVA      | 11,74 kA       | -87,15 | 30,97 kA      | 11,73      | 7011,95     | 11,74      | 12,14       |
|    | Line(16) 18                |                |                 |       |              | 3674,69 MVA      | 6,15 kA        | 92,44  | 16,22 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3341,64 MVA      | 5,59 kA        | 93,30  | 14,75 kA      |            |             |            |             |
| 8  | Line(4) 25                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 8838,62 MVA      | 14,79 kA       | -85,84 | 38,01 kA      | 14,16      | 8458,52     | 14,79      | 15,15       |
|    | 2-Winding Trans Terminal 1 |                |                 |       |              | 4647,52 MVA      | 7,78 kA        | 96,31  | 19,99 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,06 kA      |            |             |            |             |
| 25 | Line(4) 8                  | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 11937,14 MVA     | 19,98 kA       | -81,32 | 47,15 kA      | 19,87      | 11876,18    | 19,98      | 20,22       |
|    | Line(5) 12                 |                |                 |       |              | 2909,64 MVA      | 4,87 kA        | 91,70  | 11,49 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(6) 26                 |                |                 |       |              | 6415,79 MVA      | 10,74 kA       | 104,83 | 25,34 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 2691,04 MVA      | 4,50 kA        | 91,55  | 10,63 kA      |            |             |            |             |
| 26 | Line(6) 25                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 9518,62 MVA      | 15,93 kA       | -85,46 | 40,48 kA      | 15,93      | 9518,62     | 15,93      | 16,28       |
|    | Line(7) 28                 |                |                 |       |              | 3511,76 MVA      | 5,88 kA        | 97,00  | 14,94 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(9) 29                 |                |                 |       |              | 1106,93 MVA      | 1,85 kA        | 93,05  | 4,71 kA       |            |             |            |             |
|    | Line(23) 27                |                |                 |       |              | 1106,94 MVA      | 1,85 kA        | 93,05  | 4,71 kA       |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3798,10 MVA      | 6,36 kA        | 93,14  | 16,15 kA      |            |             |            |             |
| 28 | Line(7) 26                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 5909,82 MVA      | 9,89 kA        | -85,84 | 25,32 kA      | 9,88       | 5904,00     | 9,89       | 10,12       |
|    | Line(8) 29                 |                |                 |       |              | 2439,10 MVA      | 4,08 kA        | 94,93  | 10,45 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3471,09 MVA      | 5,81 kA        | 93,62  | 14,87 kA      |            |             |            |             |
| 29 | Line(8) 28                 | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 6809,29 MVA      | 11,40 kA       | -86,34 | 29,52 kA      | 11,20      | 6690,92     | 11,40      | 11,70       |
|    | Line(9) 26                 |                |                 |       |              | 1788,82 MVA      | 2,99 kA        | 95,11  | 7,76 kA       |            |             |            |             |
|    | Line(10) 9                 |                |                 |       |              | 1788,84 MVA      | 2,99 kA        | 95,10  | 7,76 kA       |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3234,04 MVA      | 5,41 kA        | 92,05  | 14,02 kA      |            |             |            |             |
| 9  | Line(10) 29                | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 7049,02 MVA      | 11,80 kA       | -87,05 | 31,05 kA      | 11,16      | 6668,93     | 11,80      | 12,19       |
|    | 2-Winding Trans Terminal(8 |                |                 |       |              | 2853,21 MVA      | 4,77 kA        | 94,67  | 12,57 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 4197,95 MVA      | 7,03 kA        | 91,79  | 18,49 kA      |            |             |            |             |
| 13 | Line(11) 12                | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 12857,00 MVA     | 21,52 kA       | -86,35 | 55,75 kA      | 21,52      | 12857,00    | 21,52      | 22,09       |
|    | Line(12) 38                |                |                 |       |              | 5062,23 MVA      | 8,47 kA        | 95,09  | 21,95 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(13) 14                |                |                 |       |              | 4024,76 MVA      | 6,74 kA        | 92,94  | 17,45 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3772,71 MVA      | 6,31 kA        | 92,48  | 16,36 kA      |            |             |            |             |
| 38 | Line(12) 13                | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 11747,53 MVA     | 19,66 kA       | -86,47 | 51,02 kA      | 19,66      | 11747,53    | 19,66      | 20,20       |
|    | Line(21) 37                |                |                 |       |              | 5098,80 MVA      | 8,53 kA        | 93,73  | 22,15 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 6648,79 MVA      | 11,13 kA       | 93,37  | 28,88 kA      |            |             |            |             |
| 14 | Line(13) 13                | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 12099,21 MVA     | 20,25 kA       | -87,00 | 53,22 kA      | 20,25      | 12099,21    | 20,25      | 20,90       |
|    | Line(14) 15                |                |                 |       |              | 4157,17 MVA      | 6,96 kA        | 93,60  | 18,29 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(27) 34                |                |                 |       |              | 4071,14 MVA      | 6,81 kA        | 92,42  | 17,91 kA      |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 3871,34 MVA      | 6,48 kA        | 92,97  | 17,03 kA      |            |             |            |             |
| 15 | Line(14) 14                | 345,00         | 0,00            | 0,00  | 1,10         | 11979,63 MVA     | 20,05 kA       | -87,27 | 53,04 kA      | 20,01      | 11955,47    | 20,05      | 20,76       |
|    | Line(15) 18                |                |                 |       |              | 4199,36 MVA      | 7,03 kA        | 93,31  | 18,59 kA      |            |             |            |             |
|    | Line(17) 16                |                |                 |       |              | 1660,21 MVA      | 2,78 kA        | 92,57  | 7,35 kA       |            |             |            |             |
|    |                            |                |                 |       |              | 6120,40 MVA      | 10,24 kA       | 92,37  | 27,10 kA      |            |             |            |             |

|    |                 |            |      |      |      |              |          |        |          |       |          |       |       |
|----|-----------------|------------|------|------|------|--------------|----------|--------|----------|-------|----------|-------|-------|
| 18 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10195,26 MVA | 17,06 kA | -87,10 | 44,94 kA | 17,06 | 10195,26 | 17,06 | 17,63 |
|    | Line(15)        | 15         |      |      |      | 4332,00 MVA  | 7,25 kA  | 92,97  | 19,10 kA |       |          |       |       |
|    | Line(16)        | 19         |      |      |      | 2114,95 MVA  | 3,54 kA  | 92,77  | 9,32 kA  |       |          |       |       |
|    | Line(18)        | 17         |      |      |      | 3748,32 MVA  | 6,27 kA  | 92,90  | 16,52 kA |       |          |       |       |
| 16 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 12267,18 MVA | 20,53 kA | -87,38 | 54,44 kA | 20,44 | 12216,15 | 20,53 | 21,29 |
|    | Line(17)        | 15         |      |      |      | 4242,27 MVA  | 7,10 kA  | 93,35  | 18,83 kA |       |          |       |       |
|    | Line(19)        | 17         |      |      |      | 1278,53 MVA  | 2,14 kA  | 92,95  | 5,67 kA  |       |          |       |       |
|    | Line(20)        | 1          |      |      |      | 2841,09 MVA  | 4,75 kA  | 91,21  | 12,61 kA |       |          |       |       |
|    | Line(30)        | 31         |      |      |      | 3906,52 MVA  | 6,54 kA  | 92,75  | 17,34 kA |       |          |       |       |
| 17 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10005,81 MVA | 16,74 kA | -87,09 | 44,10 kA | 16,74 | 10005,81 | 16,74 | 17,30 |
|    | Line(18)        | 18         |      |      |      | 4562,91 MVA  | 7,64 kA  | 93,25  | 20,11 kA |       |          |       |       |
|    | Line(19)        | 16         |      |      |      | 5443,05 MVA  | 9,11 kA  | 92,62  | 23,99 kA |       |          |       |       |
| 1  |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8747,47 MVA  | 14,64 kA | -88,38 | 39,76 kA | 14,00 | 8367,58  | 14,64 | 15,50 |
|    | Line(20)        | 16         |      |      |      | 4549,56 MVA  | 7,61 kA  | 91,47  | 20,68 kA |       |          |       |       |
|    | 2-Winding Trans | Terminal(3 |      |      |      | 4197,95 MVA  | 7,03 kA  | 91,79  | 19,08 kA |       |          |       |       |
| 37 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 13448,36 MVA | 22,51 kA | -86,73 | 58,74 kA | 22,51 | 13448,36 | 22,51 | 23,17 |
|    | Line(21)        | 38         |      |      |      | 3739,07 MVA  | 6,26 kA  | 93,37  | 16,33 kA |       |          |       |       |
|    | Line(22)        | 27         |      |      |      | 2534,04 MVA  | 4,24 kA  | 93,42  | 11,07 kA |       |          |       |       |
|    | Line(24)        | 36         |      |      |      | 7175,28 MVA  | 12,01 kA | 93,17  | 31,34 kA |       |          |       |       |
| 27 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9441,70 MVA  | 15,80 kA | -86,08 | 40,65 kA | 15,80 | 9441,70  | 15,80 | 16,19 |
|    | Line(22)        | 37         |      |      |      | 5558,94 MVA  | 9,30 kA  | 93,19  | 23,94 kA |       |          |       |       |
|    | Line(23)        | 26         |      |      |      | 3883,86 MVA  | 6,50 kA  | 94,97  | 16,72 kA |       |          |       |       |
| 36 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 15482,58 MVA | 25,91 kA | -87,04 | 68,13 kA | 25,91 | 15482,58 | 25,91 | 26,75 |
|    | Line(24)        | 37         |      |      |      | 4529,73 MVA  | 7,58 kA  | 93,47  | 19,93 kA |       |          |       |       |
|    | Line(25)        | 35         |      |      |      | 2894,64 MVA  | 4,84 kA  | 93,41  | 12,74 kA |       |          |       |       |
|    | Line(37)        | 39         |      |      |      | 3876,98 MVA  | 6,49 kA  | 92,99  | 17,06 kA |       |          |       |       |
|    | Line(39)        | 24         |      |      |      | 1691,47 MVA  | 2,83 kA  | 92,14  | 7,44 kA  |       |          |       |       |
|    | Line(40)        | 21         |      |      |      | 2490,54 MVA  | 4,17 kA  | 92,03  | 10,96 kA |       |          |       |       |
| 35 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11749,70 MVA | 19,66 kA | -86,45 | 50,99 kA | 19,66 | 11749,70 | 19,66 | 20,20 |
|    | Line(25)        | 36         |      |      |      | 7821,96 MVA  | 13,09 kA | 93,71  | 33,94 kA |       |          |       |       |
|    | Line(26)        | 34         |      |      |      | 3927,83 MVA  | 6,57 kA  | 93,23  | 17,05 kA |       |          |       |       |
| 34 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11866,57 MVA | 19,86 kA | -86,94 | 52,11 kA | 19,86 | 11866,57 | 19,86 | 20,48 |
|    | Line(26)        | 35         |      |      |      | 3864,72 MVA  | 6,47 kA  | 93,99  | 16,97 kA |       |          |       |       |
|    | Line(27)        | 14         |      |      |      | 4124,47 MVA  | 6,90 kA  | 92,81  | 18,11 kA |       |          |       |       |
|    | Line(34)        | 33         |      |      |      | 3878,17 MVA  | 6,49 kA  | 92,41  | 17,03 kA |       |          |       |       |
| 32 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 5553,02 MVA  | 9,29 kA  | -87,56 | 24,75 kA | 9,29  | 5553,02  | 9,29  | 9,66  |
|    | Line(29)        | 31         |      |      |      | 2788,09 MVA  | 4,67 kA  | 92,42  | 12,42 kA |       |          |       |       |
|    | Line(33)        | 33         |      |      |      | 2764,93 MVA  | 4,63 kA  | 92,46  | 12,32 kA |       |          |       |       |
| 31 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11391,94 MVA | 19,06 kA | -87,31 | 50,47 kA | 19,01 | 11358,01 | 19,06 | 19,75 |
|    | Line(29)        | 32         |      |      |      | 404,80 MVA   | 0,68 kA  | 93,65  | 1,79 kA  |       |          |       |       |
|    | Line(30)        | 16         |      |      |      | 5535,11 MVA  | 9,26 kA  | 93,22  | 24,52 kA |       |          |       |       |
|    | Line(31)        | 20         |      |      |      | 5452,62 MVA  | 9,12 kA  | 92,09  | 24,16 kA |       |          |       |       |
| 33 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11181,57 MVA | 18,71 kA | -87,22 | 49,44 kA | 18,66 | 11150,51 | 18,71 | 19,36 |
|    | Line(32)        | 20         |      |      |      | 5836,94 MVA  | 9,77 kA  | 91,68  | 25,81 kA |       |          |       |       |
|    | Line(33)        | 32         |      |      |      | 443,90 MVA   | 0,74 kA  | 93,07  | 1,96 kA  |       |          |       |       |
|    | Line(34)        | 34         |      |      |      | 4903,05 MVA  | 8,21 kA  | 94,07  | 21,68 kA |       |          |       |       |
| 20 |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11622,39 MVA | 19,45 kA | -87,35 | 51,54 kA | 19,31 | 11540,19 | 19,45 | 20,16 |
|    | Line(31)        | 31         |      |      |      | 4529,73 MVA  | 7,58 kA  | 92,76  | 20,09 kA |       |          |       |       |
|    | Line(32)        | 33         |      |      |      | 4055,15 MVA  | 6,79 kA  | 93,55  | 17,98 kA |       |          |       |       |
|    | Line(28)        | 3          |      |      |      | 3038,87 MVA  | 5,09 kA  | 91,30  | 13,48 kA |       |          |       |       |
| 3  |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9021,87 MVA  | 15,10 kA | -88,23 | 40,85 kA | 14,46 | 8641,95  | 15,10 | 15,91 |
|    | Line(28)        | 20         |      |      |      | 4823,92 MVA  | 8,07 kA  | 91,76  | 21,84 kA |       |          |       |       |
|    | 2-Winding Trans | Terminal(4 |      |      |      | 4197,95 MVA  | 7,03 kA  | 91,79  | 19,01 kA |       |          |       |       |
| 4  |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8108,89 MVA  | 13,57 kA | -87,63 | 36,19 kA | 12,93 | 7728,85  | 13,57 | 14,12 |
|    | Line(35)        | 30         |      |      |      | 3911,39 MVA  | 6,55 kA  | 93,00  | 17,45 kA |       |          |       |       |
|    | 2-Winding Trans | Terminal(5 |      |      |      | 4197,95 MVA  | 7,03 kA  | 91,79  | 18,73 kA |       |          |       |       |

|                 |                 |            |      |      |      |              |           |        |           |        |          |        |        |
|-----------------|-----------------|------------|------|------|------|--------------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|--------|
| 30              |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8878,70 MVA  | 14,86 kA  | -87,28 | 39,30 kA  | 14,70  | 8781,42  | 14,86  | 15,38  |
|                 | Line(35)        | 4          |      |      |      | 3123,99 MVA  | 5,23 kA   | 92,06  | 13,83 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(36)        | 39         |      |      |      | 5755,03 MVA  | 9,63 kA   | 93,07  | 25,47 kA  |        |          |        |        |
| 39              |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11625,39 MVA | 19,45 kA  | -87,05 | 51,18 kA  | 19,20  | 11471,62 | 19,45  | 20,09  |
|                 | Line(36)        | 30         |      |      |      | 2611,49 MVA  | 4,37 kA   | 92,20  | 11,50 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(37)        | 36         |      |      |      | 5712,96 MVA  | 9,56 kA   | 93,83  | 25,15 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(38)        | 5          |      |      |      | 3302,28 MVA  | 5,53 kA   | 92,01  | 14,54 kA  |        |          |        |        |
| 5               |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9609,87 MVA  | 16,08 kA  | -87,45 | 42,70 kA  | 15,45  | 9229,81  | 16,08  | 16,69  |
|                 | Line(38)        | 39         |      |      |      | 5412,58 MVA  | 9,06 kA   | 93,15  | 24,05 kA  |        |          |        |        |
|                 | 2-Winding Trans | Terminal(9 |      |      |      | 4197,95 MVA  | 7,03 kA   | 91,79  | 18,65 kA  |        |          |        |        |
| 24              |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 12025,74 MVA | 20,12 kA  | -87,10 | 52,99 kA  | 20,12  | 12025,74 | 20,12  | 20,79  |
|                 | Line(39)        | 36         |      |      |      | 9628,95 MVA  | 16,11 kA  | 92,97  | 42,43 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(45)        | 23         |      |      |      | 2396,82 MVA  | 4,01 kA   | 92,64  | 10,56 kA  |        |          |        |        |
| 21              |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10939,64 MVA | 18,31 kA  | -87,15 | 48,27 kA  | 18,31  | 10938,93 | 18,31  | 18,93  |
|                 | Line(40)        | 36         |      |      |      | 6532,08 MVA  | 10,93 kA  | 93,20  | 28,82 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(41)        | 22         |      |      |      | 4407,87 MVA  | 7,38 kA   | 92,32  | 19,45 kA  |        |          |        |        |
| 22              |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 11302,84 MVA | 18,92 kA  | -87,51 | 50,30 kA  | 18,70  | 11171,35 | 18,92  | 19,64  |
|                 | Line(41)        | 21         |      |      |      | 4013,10 MVA  | 6,72 kA   | 93,26  | 17,86 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(42)        | 6          |      |      |      | 3298,32 MVA  | 5,52 kA   | 91,41  | 14,68 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(43)        | 23         |      |      |      | 3992,38 MVA  | 6,68 kA   | 92,63  | 17,77 kA  |        |          |        |        |
| 6               |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9465,04 MVA  | 15,84 kA  | -88,13 | 42,75 kA  | 15,20  | 9085,10  | 15,84  | 16,65  |
|                 | Line(42)        | 22         |      |      |      | 5267,10 MVA  | 8,81 kA   | 91,93  | 23,79 kA  |        |          |        |        |
|                 | 2-Winding Trans | Terminal(7 |      |      |      | 4197,95 MVA  | 7,03 kA   | 91,79  | 18,96 kA  |        |          |        |        |
| 23              |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10661,83 MVA | 17,84 kA  | -87,45 | 47,38 kA  | 17,75  | 10604,88 | 17,84  | 18,51  |
|                 | Line(43)        | 22         |      |      |      | 5062,86 MVA  | 8,47 kA   | 92,67  | 22,50 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(44)        | 7          |      |      |      | 2763,62 MVA  | 4,62 kA   | 91,54  | 12,28 kA  |        |          |        |        |
|                 | Line(45)        | 24         |      |      |      | 2836,04 MVA  | 4,75 kA   | 93,31  | 12,60 kA  |        |          |        |        |
| 7               |                 | 345,00     | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8194,61 MVA  | 13,71 kA  | -88,11 | 37,00 kA  | 13,08  | 7814,66  | 13,71  | 14,41  |
|                 | Line(44)        | 23         |      |      |      | 3996,67 MVA  | 6,69 kA   | 91,99  | 18,05 kA  |        |          |        |        |
|                 | 2-Winding Trans | Terminal(6 |      |      |      | 4197,95 MVA  | 7,03 kA   | 91,79  | 18,95 kA  |        |          |        |        |
| Terminal        |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10445,94 MVA | 317,42 kA | -87,41 | 842,56 kA | 264,60 | 8707,83  | 317,42 | 329,28 |
| 2-Winding Trans |                 | 10         |      |      |      | 3734,53 MVA  | 113,48 kA | 92,10  | 301,22 kA |        |          |        |        |
| Generator 1     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 541,35 kA |        |          |        |        |
| Terminal 1      |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9982,07 MVA  | 303,32 kA | -86,62 | 791,00 kA | 250,47 | 8242,60  | 303,32 | 312,14 |
| 2-Winding Trans |                 | 8          |      |      |      | 3271,29 MVA  | 99,40 kA  | 94,44  | 259,22 kA |        |          |        |        |
| Generator 3     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 531,84 kA |        |          |        |        |
| Terminal(2)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10006,89 MVA | 304,08 kA | -87,26 | 803,88 kA | 251,25 | 8268,51  | 304,08 | 314,75 |
| 2-Winding Trans |                 | 2          |      |      |      | 3295,32 MVA  | 100,13 kA | 92,50  | 264,72 kA |        |          |        |        |
| Generator 2     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 539,16 kA |        |          |        |        |
| Terminal(3)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9929,16 MVA  | 301,72 kA | -87,73 | 806,59 kA | 248,92 | 8191,76  | 301,72 | 314,44 |
| 2-Winding Trans |                 | 1          |      |      |      | 3218,65 MVA  | 97,80 kA  | 91,04  | 261,46 kA |        |          |        |        |
| Generator 5     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 545,21 kA |        |          |        |        |
| Terminal(4)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10064,39 MVA | 305,83 kA | -87,68 | 816,68 kA | 253,03 | 8326,87  | 305,83 | 318,47 |
| 2-Winding Trans |                 | 3          |      |      |      | 3353,69 MVA  | 101,91 kA | 91,22  | 272,14 kA |        |          |        |        |
| Generator 6     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 544,62 kA |        |          |        |        |
| Terminal(5)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9597,65 MVA  | 291,64 kA | -87,33 | 772,19 kA | 238,82 | 7859,44  | 291,64 | 302,12 |
| 2-Winding Trans |                 | 4          |      |      |      | 2886,16 MVA  | 87,70 kA  | 92,21  | 232,21 kA |        |          |        |        |
| Generator 7     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 539,99 kA |        |          |        |        |
| Terminal(6)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 9642,89 MVA  | 293,02 kA | -87,56 | 780,19 kA | 240,21 | 7905,16  | 293,02 | 304,54 |
| 2-Winding Trans |                 | 7          |      |      |      | 2931,89 MVA  | 89,09 kA  | 91,46  | 237,21 kA |        |          |        |        |
| Generator 10    |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 543,02 kA |        |          |        |        |
| Terminal(7)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10272,88 MVA | 312,16 kA | -87,68 | 833,42 kA | 259,36 | 8535,33  | 312,16 | 325,02 |
| 2-Winding Trans |                 | 6          |      |      |      | 3562,12 MVA  | 108,24 kA | 91,31  | 288,99 kA |        |          |        |        |
| Generator 9     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 544,50 kA |        |          |        |        |
| Terminal(8)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 8978,23 MVA  | 272,82 kA | -86,92 | 715,57 kA | 219,98 | 7239,30  | 272,82 | 281,37 |
| 2-Winding Trans |                 | 9          |      |      |      | 2266,79 MVA  | 68,88 kA  | 93,71  | 180,67 kA |        |          |        |        |
| Generator 4     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 534,92 kA |        |          |        |        |
| Terminal(9)     |                 | 19,00      | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 10340,23 MVA | 314,21 kA | -87,40 | 833,34 kA | 261,39 | 8602,11  | 314,21 | 325,80 |
| 2-Winding Trans |                 | 5          |      |      |      | 3628,81 MVA  | 110,27 kA | 92,11  | 292,45 kA |        |          |        |        |
| Generator 8     |                 |            |      |      |      | 6711,62 MVA  | 203,94 kA | -87,14 | 540,90 kA |        |          |        |        |