

# Analiza osjetljivosti detekcije otočnog pogona u sustavu s povećanjem integracija elektrana iz obnovljivih izvora energije

---

Tanjić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:196226>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-30**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA OSJETLJIVOSTI DETEKCIJE OTOČNOG POGONA U**  
**SUSTAVU S POVEĆANJEM INTEGRACIJA ELEKTRANA IZ**  
**OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE**

**Diplomski rad**

**Marko Tanjić**

**Osijek, 2018.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

Osijek, 10.09.2018.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

|                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ime i prezime studenta:                                                                    | Marko Tanjić                                                                                                                                                                                                                                               |
| Studij, smjer:                                                                             | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika                                                                                                                                                                                                                |
| Mat. br. studenta, godina upisa:                                                           | D 1027, 19.09.2017.                                                                                                                                                                                                                                        |
| OIB studenta:                                                                              | 04796836342                                                                                                                                                                                                                                                |
| Mentor:                                                                                    | Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić                                                                                                                                                                                                                           |
| Sumentor:                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sumentor iz tvrtke:                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Predsjednik Povjerenstva:                                                                  | Prof.dr.sc. Srete Nikolovski                                                                                                                                                                                                                               |
| Član Povjerenstva:                                                                         | Marko Vukobratović                                                                                                                                                                                                                                         |
| Naslov diplomskog rada:                                                                    | Analiza osjetljivosti detekcije otočnog pogona u sustavu s povećanjem integracija elektrana iz obnovljivih izvora energije                                                                                                                                 |
| Znanstvena grana rada:                                                                     | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>                                                                                                                                                                                                        |
| Zadatak diplomskog rada:                                                                   | Izvršiti analizu osjetljivosti detekcije otočnog pogona distributivne mreže kroz scenarije povećanja broja integracija elektrana iz obnovljivih izvora energije te promjene potrošnje. Proračune i simulacije izvršiti u adekvatnom simulacijskom sučelju. |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):                                 | Izvrstan (5)                                                                                                                                                                                                                                               |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 3 razina                                                          |
| Datum prijedloga ocjene mentora:                                                           | 10.09.2018.                                                                                                                                                                                                                                                |
| 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, 12.09.2018.****Ime i prezime studenta:**

Marko Tanjić

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

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

D 1027, 19.09.2017.

**Ephorus podudaranje [%]:**

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza osjetljivosti detekcije otočnog pogona u sustavu s povećanjem integracija elektrana iz obnovljivih izvora energije**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. 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:***Marko Tanjić*

**SADRŽAJ**

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                                                                   | 1  |
| 1.1. Zadatak diplomskog rada.....                                                               | 1  |
| 2. OTOČNI POGON .....                                                                           | 2  |
| 2.1. Rad elektrane u otočnom pogonu .....                                                       | 3  |
| 2.2. ROCOF zaštita.....                                                                         | 3  |
| 3. IEEE DISTRIBUTIVNA MREŽA SLUČAJ 33 SABIRNICE.....                                            | 5  |
| 4. DETEKCIJA OTOČNOG POGONA DISTRIBUTIVNE MREŽE S POVEĆANJEM BROJA<br>GENERATORA U MREŽI .....  | 10 |
| 5. ROCOF ZAŠTITA PRI BALANSU SNAGE PROIZVODNJE I POTROŠNJE.....                                 | 11 |
| 6. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 1 GENERATOR U<br>DISTRIBUTIVNOJ MREŽI .....          | 18 |
| 6.1. Generator na sabirnici 1 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....                               | 19 |
| 6.2. Generator na sabirnici 1 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje.....                    | 20 |
| 6.3. Generator na sabirnici 18 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....                              | 21 |
| 6.4. Generator na sabirnici 18 uz balans snage proizvodnje i potrošnje .....                    | 21 |
| 6.5. Usporedba prstenaste i radijalne mreže pri balansu snage za generator na sabirnici 18 .... | 22 |
| 6.6. Generator na sabirnici 25 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....                              | 23 |
| 6.7. Generator na sabirnici 25 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje.....                   | 24 |
| 7. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 2 GENERATORA U<br>DISTRIBUTIVNOJ MREŽI .....         | 27 |
| 7.1. Slučaj 2 generatora na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW .....                 | 28 |
| 7.2. Slučaj 2 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje .....      | 31 |
| 7.3. Slučaj 2 generatora na početku i kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....          | 33 |
| 7.4. Slučaj 2 generatora na početku i kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje .. | 35 |
| 7.5. Slučaj 2 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....                    | 37 |
| 7.6. Slučaj 2 generatora na kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje.....         | 40 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.7. Utjecaj različite topologije mreže na promjenu reaktivne snage za slučaj 2 generatora ....                       | 42 |
| 8. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 3 GENERATORA U<br>DISTRIBUTIVNOJ MREŽI .....                               | 45 |
| 8.1. Slučaj 3 generatora na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW .....                                       | 46 |
| 8.2. Slučaj 3 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje .....                            | 49 |
| 8.3. Slučaj 3 generatora na početku, sredini i kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW ...                        | 51 |
| 8.4. Slučaj 3 generatora na početku, sredini i kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i<br>potrošnje .....        | 53 |
| 8.5. Slučaj 3 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....                                          | 55 |
| 8.6. Slučaj sva 3 generatora na kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje .....                          | 57 |
| 8.7. Usporedba utjecaja različite topologije mreže na promjenu reaktivne snage za 3 generatora<br>.....               | 59 |
| 9. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 4 GENERATORA U<br>DISTRIBUTIVNOJ MREŽI .....                               | 61 |
| 9.1. Slučaj 4 generatora na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW .....                                       | 62 |
| 9.2. Slučaj 4 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje .....                            | 65 |
| 9.3. Slučaj jednog generatora na početku, ostala 3 na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113<br>MW .....            | 67 |
| 9.4. Slučaj jednog generatora na početku, ostala 3 na kraju izvoda pri balansu snage<br>proizvodnje i potrošnje ..... | 69 |
| 9.5. Slučaj 4 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.....                                          | 71 |
| 9.6. Slučaj 4 generatora na kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje.....                               | 73 |
| 9.7. Usporedba različite topologije mreže na promjenu reaktivne snage za 4 generatora u mreži<br>.....                | 75 |
| 10. ANALIZA REZULTATA.....                                                                                            | 77 |
| 11. ZAKLJUČAK .....                                                                                                   | 79 |
| 12. LITERATURA.....                                                                                                   | 80 |
| SAŽETAK/ABSTRACT.....                                                                                                 | 81 |
| ŽIVOTOPIS .....                                                                                                       | 82 |

## **1. UVOD**

Detekcija otočnog pogona predstavlja jedno od važnih pitanja po pitanju parametriranja zaštite distributivnih mreža te sigurnosnih razloga. Otočni pogon nije dozvoljen prema mrežnim pravilima, stoga se mora detektirati kako bi došlo do prekida opskrbe energijom koju generatori nakon kvara injektiraju u mrežu.

Pronalaskom novih načina proizvodnje električne energije, dolazi do pitanja rješavanja pojave otočnog pogona jer se sve više manjih elektrana iz obnovljivih izvora energije priključuje na distributivnu mrežu. Zbog toga se mora voditi računa o podešavanju zaštite kako bi se izbjegao neželjeni otočni pogon u mreži.

Tema ovog rada je analiza osjetljivosti detekcije otočnog pogona u distributivnoj mreži uz promjenu broja generatora iz obnovljivih izvora energije. Promjenom broja generatora, mijenja se odnos tokova snaga nakon pojave otočnog pogona.

### **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Zadatak rada je izvršiti analizu osjetljivosti detekcije otočnog pogona distributivne mreže kroz scenarije povećanja broja integracija elektrana iz obnovljivih izvora energije. Potrebno je napraviti isklon nadomjesne mreže i nakon toga promatrati utjecaj otočnog pogona na generatore koji se nalaze u mreži nakon isklopa prekidača. Proračune i simulacije izvršiti u programskom paketu DigSILENT Power Factory.

## 2. OTOČNI POGON

Prema [1] otočni pogon predstavlja stabilan pogon jednog dijela mreže koji je odvojen od ostatka elektroenergetskog sustava. Također, predstavlja pogonsko stanje proizvodne jedinice u kojem ona može podnijeti djelomično opterećenje u dijelu elektroenergetskog sustava koji je izdvojen od ostatka mreže. Otočni pogon može biti dozvoljen u slučaju da je svrha otočnog rada elektrane napajati određenu industrijsku mrežu, dok su u normalnom pogonu elektrane u paralelnom radu s mrežom u koju odlazi eventualni višak energije. Takvi izvori uvijek imaju mogućnost regulacije što omogućava održavanje frekvencije i napona u zadanim granicama.

Otočni pogon može nastupiti zbog [1]:

- djelovanja zaštite
- pogrešnog slijeda sklopnih operacija
- u slučaju velikog kvara na mreži uslijed prirodne katastrofe
- planiranim sklopnim operacijama

Pojava otočnog pogona predstavlja neuravnoteženo stanje u mreži, s nepredvidljivim ponašanjem, čiji je uzrok neusklađenost između proizvodnje i potrošnje te nemogućnost regulacije frekvencije i napona. Snaga proizvodnje i potrošnje su nezavisne veličine. U slučaju da je snaga proizvodnje i potrošnje u izoliranom sustavu približno jednaka, neće biti nužne promjene amplituda frekvencije i napona koje bi uključile nadnaponske/podnaponske i nadfrekventne/podfrekventne zaštite [2].

Prema [3] postoje dvije vrste otočnog pogona:

1. generator odvojen od ostatka mreže
2. generator u paralelnom radu s mrežom (mogućnost proizvodnje neovisno o događajima u mreži)

U literaturi [4] navedeno je preporučeno vrijeme detekcije otočnog pogona između 300 i 500 ms. Glavni razlozi brzog isključenja su:

- sprječavanje automatskog ponovnog uklopa vodova koji su u kvaru
- asinkroni uklop generatora
- izbjegavanje mogućnosti pojave novih kvarova

Prema literaturi [5] proizvodne jedinice pri frekvenciji 47,50 Hz ili manjoj moraju prijeći u otočni rad, tj u prazni hod. Pri tome moraju osigurati napajanje vlastite potrošnje i biti spremne za ponovnu sinkronizaciju.

Najčešće metode za detekciju otočnog pogona su VVS (Voltage Vector Shift) i ROCOF zaštita (Rate of Change of Frequency) [6].

## 2.1. Rad elektrane u otočnom pogonu

Prema [1] elektrana može dobiti status elektrane s regulacijom uz obvezu rada u otočnom pogonu samo ako ispuni sljedeće uvjete:

- sposobnost regulacije napona i frekvencije
- temeljem regulacijskih mogućnosti elektrana ima sklopljen ugovor s operaterom sustava za izvršavanje pomoćnih usluga te je jedna od usluga rad u otočnom pogonu

U literaturi [1] je navedeno da u Hrvatskoj trenutno nema elektrane u distributivnoj mreži koja zadovoljava uvjete rada u otočnom pogonu. Stoga, svaki otočni pogon distributivne mreže, odvojene od prijenosne mreže, je neprimjeren pogon.

Nadalje, literatura [1] govori kako može nastupiti kontrolirani otočni pogon, u slučaju da je nastupio namjerno uz barem jednu elektranu koja ima mogućnost regulacije, te elektrana jamči siguran i pouzdan rad izdvojenog dijela sustava, a detektirala je otočni pogon i po nalogu nadležnog operatera sustava prešla u režim regulacije frekvencije i napona uz održavanje okolnosti u otoku u zadanim granicama.

## 2.2. ROCOF zaštita

Prema literaturi [6] ROCOF zaštita predstavlja promjenu brzine frekvencije generatora. Algoritam potreban za ovu vrstu zaštite je ugrađen u suvremene releje. Problem predstavlja osjetljivost releja koja nije manja od 0,2 Hz/s.

Prema [6] brzina promjene frekvencije ovisit će o:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P \cdot f}{2 \cdot S \cdot H} \quad (2-1)$$

gdje je:  $\Delta P$ - promjena djelatne snage između normalnog rada i otočnog pogona,  $f$ - nazivna frekvencija generatora,  $S$ - prividna snaga generatora,  $H$ - inercijska konstanta generatora.

Prema literaturi [7] algoritam ROCOF zaštite detektira promjene u frekvenciji koje se javljaju zbog oscilacija u rotoru generatora koje su posljedica novog stanja tokova snaga. Kako bi zaštita detektirala otočni pogon mora postojati dovoljno velika promjena djelatne snage između normalnog stanja i otočnog rada.

### 3. IEEE DISTRIBUTIVNA MREŽA SLUČAJ 33 SABIRNICE

Analizirana mreža je IEEE distributivna mreža, slučaj sa 33 sabirnice. Distributivna mreža sastoji se od 33 sabirnice, nadomjesne mreže, generatora, potrošača i 37 vodova koji tvore prstenastu mrežu. Isključenjem pojedinih vodova dobivamo radijalnu mrežu koja se napaja iz nadomjesne mreže i priključenih generatora. Prva sabirnica predstavlja referentnu sabirnicu, ostale sabirnice su potrošačke sabirnice. Bazni napon iznosi 12,66 kV [8].

Iznosi snage potrošača dani su tablicom 3.1.

**Tablica 3.1.** Zadana djelatna i reaktivna snaga potrošača [8]

| SABIRNICA | DJELATNA<br>SNAGA<br>(kW) | REAKTIVNA<br>SNAGA<br>(kvar) | U <sub>max</sub> | U <sub>min</sub> |
|-----------|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------|
| 1         | 0                         | 0                            | 1.1.             | 1;               |
| 2         | 100                       | 60                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 3         | 90                        | 40                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 4         | 120                       | 80                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 5         | 60                        | 30                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 6         | 60                        | 20                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 7         | 200                       | 100                          | 1.1.             | 0.9;             |
| 8         | 200                       | 100                          | 1.1.             | 0.9;             |
| 9         | 60                        | 20                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 10        | 60                        | 20                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 11        | 45                        | 30                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 12        | 60                        | 35                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 13        | 60                        | 35                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 14        | 120                       | 80                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 15        | 60                        | 10                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 16        | 60                        | 20                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 17        | 60                        | 20                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 18        | 90                        | 40                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 19        | 90                        | 40                           | 1.1.             | 0.9;             |
| 20        | 90                        | 40                           | 1.1.             | 0.9;             |

|    |     |     |      |      |
|----|-----|-----|------|------|
| 21 | 90  | 40  | 1.1. | 0.9; |
| 22 | 90  | 40  | 1.1. | 0.9; |
| 23 | 90  | 50  | 1.1. | 0.9; |
| 24 | 420 | 200 | 1.1. | 0.9; |
| 25 | 420 | 200 | 1.1. | 0.9; |
| 26 | 60  | 25  | 1.1. | 0.9; |
| 27 | 60  | 25  | 1.1. | 0.9; |
| 28 | 60  | 20  | 1.1. | 0.9; |
| 29 | 120 | 70  | 1.1. | 0.9; |
| 30 | 200 | 600 | 1.1. | 0.9; |
| 31 | 150 | 70  | 1.1. | 0.9; |
| 32 | 210 | 100 | 1.1. | 0.9; |
| 33 | 60  | 40  | 1.1. | 0.9; |

Parametri vodova prikazani su tablicom 3.2.

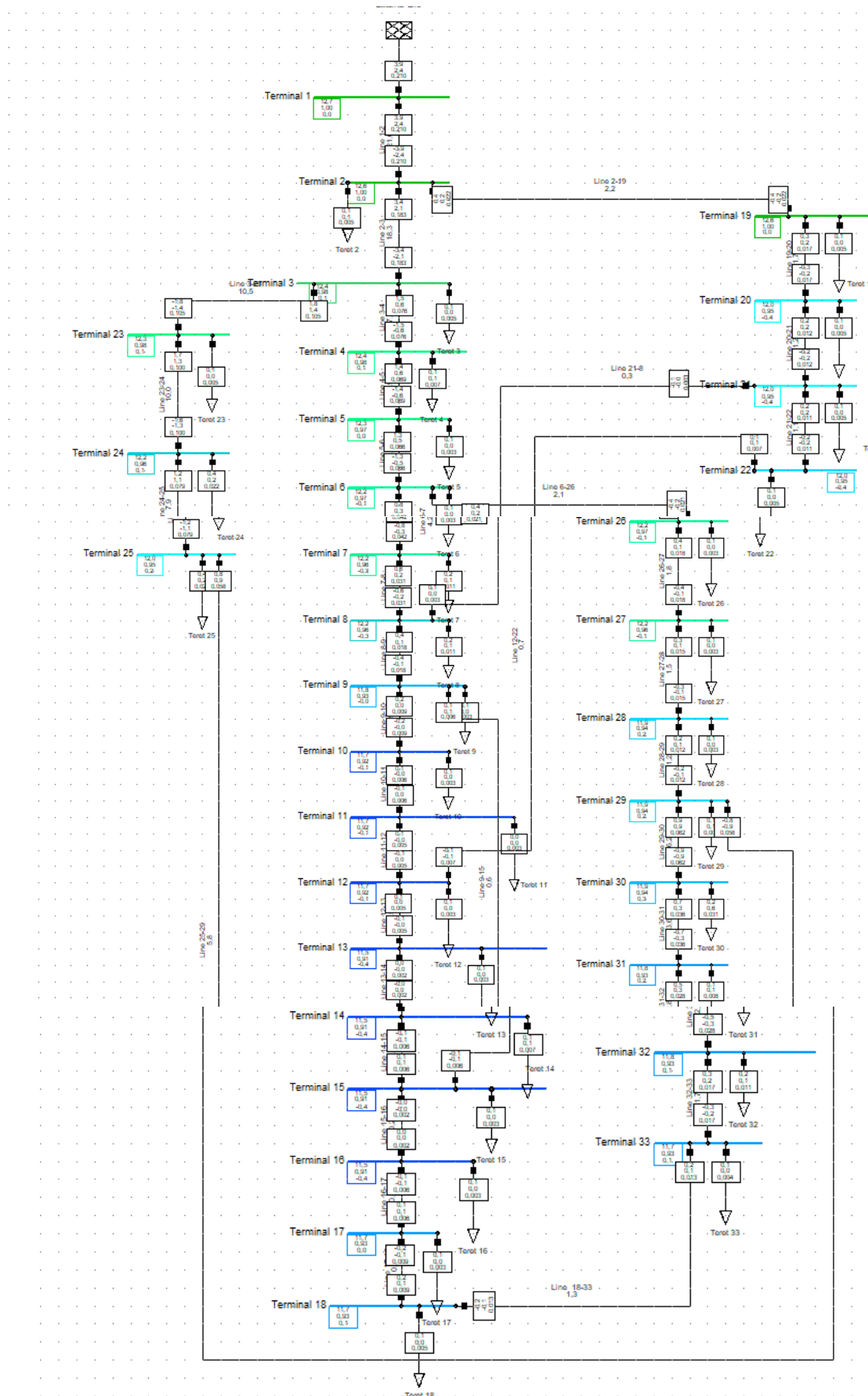
**Tablica 3.2.** Parametri vodova [8].

| Početna<br>sabirnica | Krajnja<br>sabirnica | Djelatni<br>otpor R<br>( $\Omega$ ) | Reaktancija<br>X<br>( $\Omega$ ) |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1                    | 2                    | 0.0922                              | 0.0470                           |
| 2                    | 3                    | 0.4930                              | 0.2511                           |
| 3                    | 4                    | 0.3660                              | 0.1864                           |
| 4                    | 5                    | 0.3811                              | 0.1941                           |
| 5                    | 6                    | 0.8190                              | 0.7070                           |
| 6                    | 7                    | 0.1872                              | 0.6188                           |
| 7                    | 8                    | 0.7114                              | 0.2351                           |
| 8                    | 9                    | 10.300                              | 0.7400                           |
| 9                    | 10                   | 10.440                              | 0.7400                           |
| 10                   | 11                   | 0.1966                              | 0.0650                           |
| 11                   | 12                   | 0.3744                              | 0.1238                           |
| 12                   | 13                   | 14.680                              | 11.550                           |
| 13                   | 14                   | 0.5416                              | 0.7129                           |

|           |           |        |        |
|-----------|-----------|--------|--------|
| <b>14</b> | <b>15</b> | 0.5910 | 0.5260 |
| <b>15</b> | <b>16</b> | 0.7463 | 0.5450 |
| <b>16</b> | <b>17</b> | 12.890 | 17.210 |
| <b>17</b> | <b>18</b> | 0.7320 | 0.5740 |
| <b>2</b>  | <b>19</b> | 0.1640 | 0.1565 |
| <b>19</b> | <b>20</b> | 15.042 | 13.554 |
| <b>20</b> | <b>21</b> | 0.4095 | 0.4784 |
| <b>21</b> | <b>22</b> | 0.7089 | 0.9373 |
| <b>3</b>  | <b>23</b> | 0.4512 | 0.3083 |
| <b>23</b> | <b>24</b> | 0.8980 | 0.7091 |
| <b>24</b> | <b>25</b> | 0.8960 | 0.7011 |
| <b>6</b>  | <b>26</b> | 0.2030 | 0.1034 |
| <b>26</b> | <b>27</b> | 0.2842 | 0.1447 |
| <b>27</b> | <b>28</b> | 10.590 | 0.9337 |
| <b>28</b> | <b>29</b> | 0.8042 | 0.7006 |
| <b>29</b> | <b>30</b> | 0.5075 | 0.2585 |
| <b>30</b> | <b>31</b> | 0.9744 | 0.9630 |
| <b>31</b> | <b>32</b> | 0.3105 | 0.3619 |
| <b>32</b> | <b>33</b> | 0.3410 | 0.5302 |
| <b>21</b> | <b>8</b>  | 20.000 | 20.000 |
| <b>9</b>  | <b>15</b> | 20.000 | 20.000 |
| <b>12</b> | <b>22</b> | 20.000 | 20.000 |
| <b>18</b> | <b>33</b> | 0.5000 | 0.5000 |
| <b>25</b> | <b>29</b> | 0.5000 | 0.5000 |

Generator je bazne snage 10 MW, faktor snage je 1 jer se radi o obnovljivom izvoru energije. Aktivna snaga generatora je veličina koja se mijenja tijekom analize.

Distributivna mreža prikazana je slikom 3.1.



Slika 3.1. Distributivna mreža

Nakon simulacije početnih uvjeta dobiveni su rezultati tokova snaga (Slika 3.2).

|                    |    |                  |           |                      |   |                      |    |
|--------------------|----|------------------|-----------|----------------------|---|----------------------|----|
| No. of Substations | 0  | No. of Busbars   | 33        | No. of Terminals     | 0 | No. of Lines         | 37 |
| No. of 2-w Trfs.   | 0  | No. of 3-w Trfs. | 0         | No. of syn. Machines | 0 | No. of asyn.Machines | 0  |
| No. of Loads       | 32 | No. of Shunts    | 0         | No. of SVS           | 0 |                      |    |
| Generation         | =  | 0,00 MW          | 0,00 Mvar | 0,00 MVA             |   |                      |    |
| External Infeed    | =  | 3,92 MW          | 2,43 Mvar | 4,61 MVA             |   |                      |    |
| Load P(U)          | =  | 3,71 MW          | 2,30 Mvar | 4,37 MVA             |   |                      |    |
| Load P(Un)         | =  | 3,71 MW          | 2,30 Mvar | 4,37 MVA             |   |                      |    |
| Load P(Un-U)       | =  | 0,00 MW          | 0,00 Mvar |                      |   |                      |    |
| Motor Load         | =  | 0,00 MW          | 0,00 Mvar | 0,00 MVA             |   |                      |    |
| Grid Losses        | =  | 0,20 MW          | 0,13 Mvar |                      |   |                      |    |
| Line Charging      | =  |                  | 0,00 Mvar |                      |   |                      |    |
| Compensation ind.  | =  |                  | 0,00 Mvar |                      |   |                      |    |
| Compensation cap.  | =  |                  | 0,00 Mvar |                      |   |                      |    |
| Installed Capacity | =  | 0,00 MW          |           |                      |   |                      |    |
| Spinning Reserve   | =  | 0,00 MW          |           |                      |   |                      |    |

**Slika 3.2.** Ukupni izvještaj tokova snaga

#### **4. DETEKCIJA OTOČNOG POGONA DISTRIBUTIVNE MREŽE S POVEĆANJEM BROJA GENERATORA U MREŽI**

Analiza osjetljivosti će se provesti na način da će se povećavati broj generatora od 1 do 4. Stanje otočnog pogona će se postići odvajanjem nadomjesne mreže od ostatka izvoda u vremenu  $t=150$  ms od početka simulacije. Parametri generatora koji se promatraju su napon generatora, kut rotora, reaktivna snaga i brzina generatora. Iz dobivenih rezultata tokova snaga dobiva se iznos ukupne snage potrošnje od 3,71 MW i reaktivne snage 2,3 Mvar.

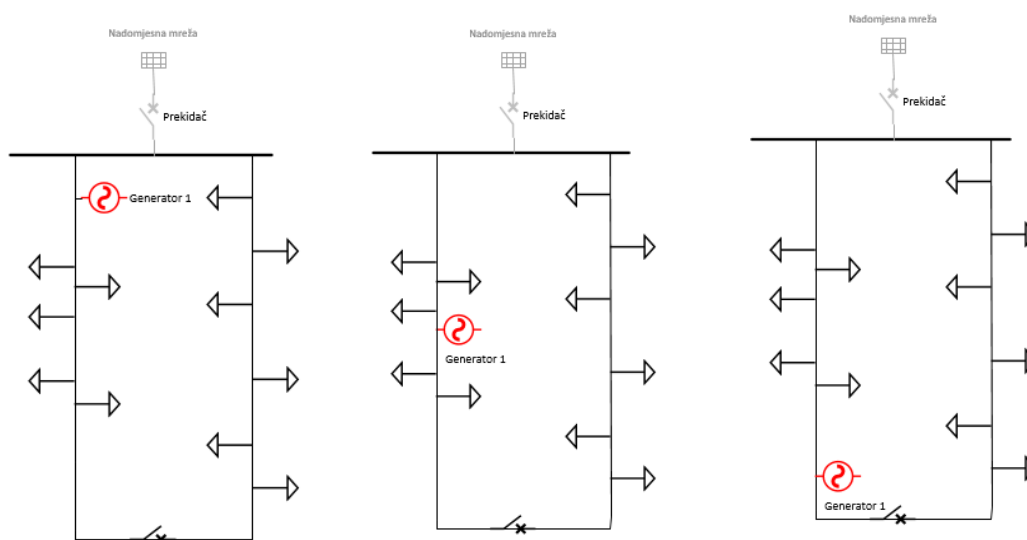
Ispitivanje se provodi tako da će se najprije postaviti aktivna snaga generatora na 30 % ukupnog radnog opterećenja potrošnje. Nakon toga se aktivna snaga generatora skalira na balans snage proizvodnje i potrošnje, što je u ovom slučaju 3,71 MW, te će se promatrati navedena 4 parametra generatora za oba slučaj. Isto tako će se za balans snage isključivati pojedini vodovi kako bi se dobila radijalna mreža i usporedile razlike između radijalne i prstenaste mreže.

## 5. ROCOF ZAŠTITA PRI BALANSU SNAGE PROIZVODNJE I POTROŠNJE

ROCOF zaštita se zasniva na principu brzine promjene frekvencije u vremenu. Do promjene frekvencije dolazi zbog događaja u mreži koji mogu izazvati tu promjenu, kao što su isklon dijela potrošača, tj promjena opterećenja, ili promjena snage proizvodnje. Kako bi ROCOF zaštita reagirala, brzina promjene frekvencije mora biti dovoljno velika kako bi relej osjetio promjenu.

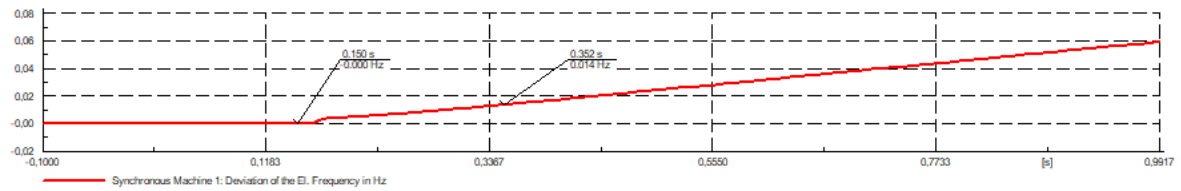
Kako je navedeno u poglavlju 2 na početku rada, prema literaturi [6], brzina promjene frekvencije ovisit će o razlici aktivne snage između paralelnog pogona s nadomjesnom mrežom i otočnog pogona. Najveći problem ove vrste zaštite je prepoznavanje otočnog pogona pri balansu snage proizvodnje i potrošnje gdje, nakon što nastupi otočni pogon, promjena aktivne snage iznosi približno 0. U tom slučaju, promjena frekvencije na koju bi ROCOF zaštita reagirala je vrlo mala. Na navedenim oscilogramima prikazat će se, za promatranu distributivnu mrežu, brzina promjene frekvencije  $df/dt$  pri balansu snage proizvodnje i potrošnje. Broj generatora će se mijenjati od 1 do 4. Generatorima će se mijenjati mjesto priključka da se vidi utjecaj promjene mjesta priključka na brzinu promjene frekvencije.

Shematski prikaz priključka jednog generatora u mreži prikazan je na slici 5.1.



**Slika 5.1.** Priključak jednog generatora u mreži na početak, sredinu i kraj izvoda

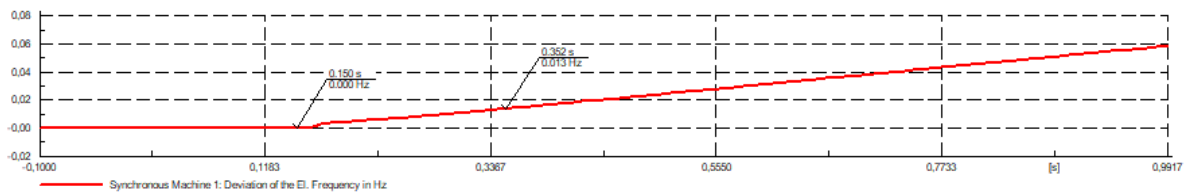
Za ROCOF zaštitu promjena frekvencije  $df/dt$  pri balansu snage proizvodnje i potrošnje za slučajeve s jednim generatorom u mreži prikazano je na slikama 5.2 do 5.4.



Slika 5.2. Generator na početku izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

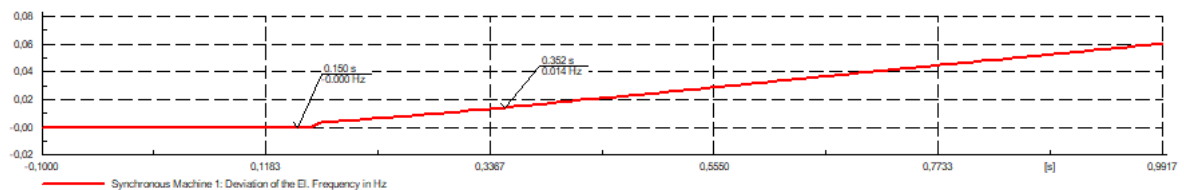
Iz toga slijedi:  $\Delta f / \Delta t = 0.014 / 0.202 = 0.069 \text{ Hz/s}$



Slika 5.3. Generator na kraju izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

Promjena frekvencije:  $\Delta f / \Delta t = 0.013 / 0.202 = 0.064 \text{ Hz/s}$

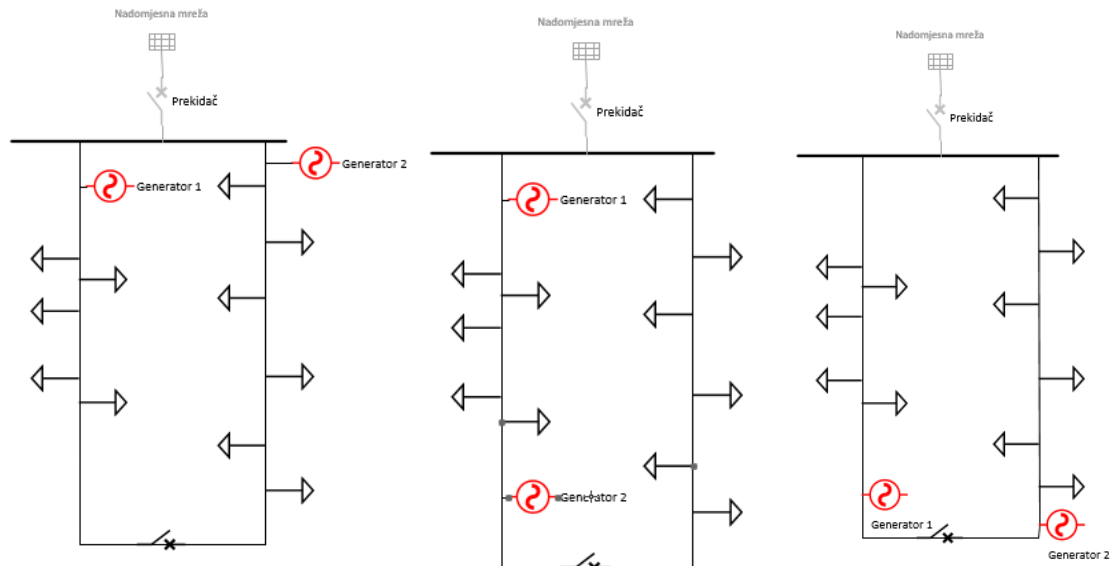


Slika 5.4. Generator na sredini izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

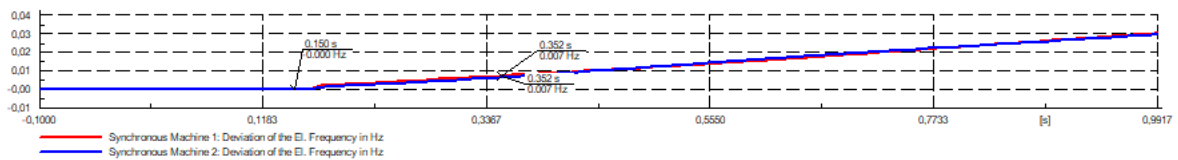
Promjena frekvencije:  $\Delta f / \Delta t = 0.014 / 0.202 = 0.069 \text{ Hz/s}$

Shematski prikaz priključka 2 generatora u mreži prikazan je na slici 5.5.



**Slika 5.5.** Promjena mjesta priključka 2 generatora u mreži

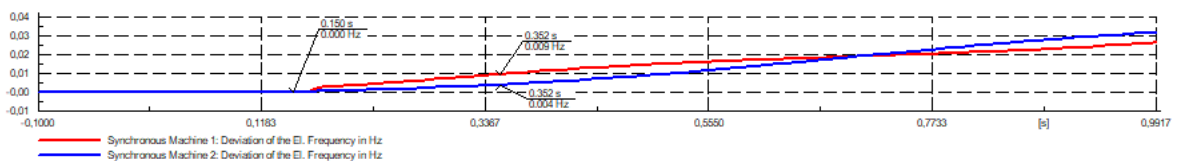
Oscilogrami za 2 generatora u mreži vidljivi su na slikama 5.6. do 5.8.



**Slika 5.6.** Oba generatora na početku izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 1. i 2. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,007 / 0,202 = 0,035 \text{ Hz/s}$$

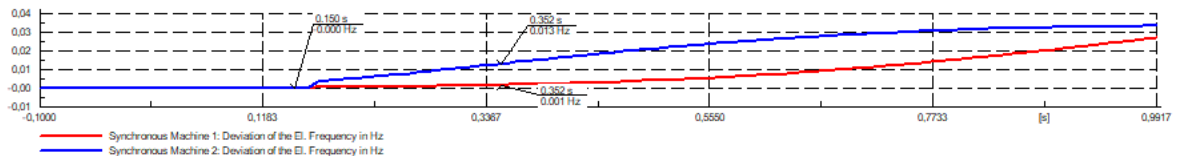


**Slika 5.7.** Oba generatora na kraju izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 1. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,009 / 0,202 = 0,044 \text{ Hz/s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 2. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,009 / 0,202 = 0,02 \text{ Hz/s}$$



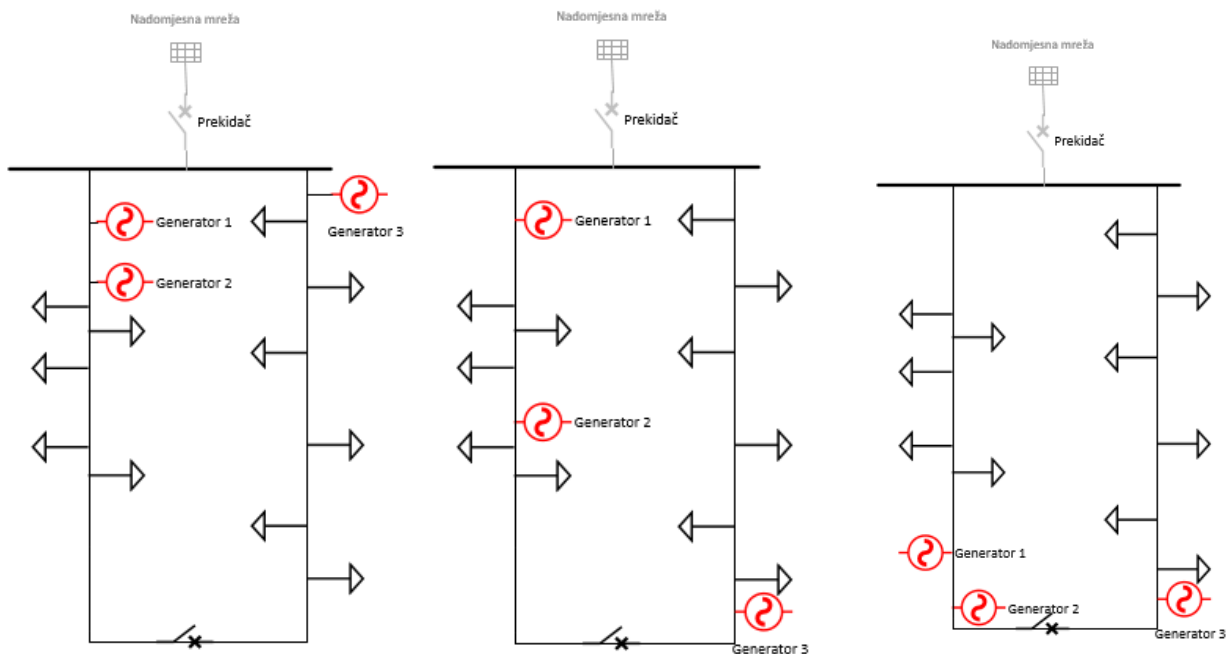
**Slika 5.8.** Jedan generator na početku izvoda, drugi na kraju izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 1. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,001 / 0,202 = 0,005 \text{ Hz/s}$$

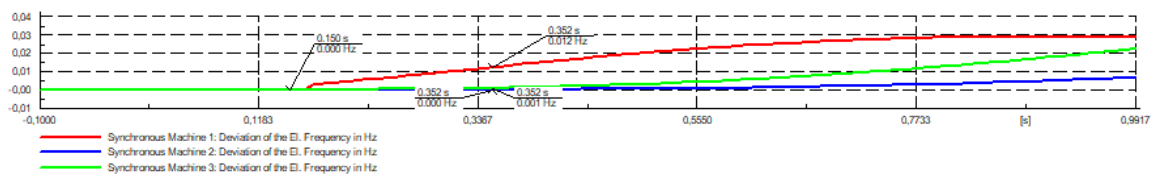
$$\text{Promjena frekvencije za 2. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,013 / 0,202 = 0,064 \text{ Hz/s}$$

Shematski prikaz priključka 3 generatora prikazani su na slici 5.9.



**Slika 5.9.** Promjena mjesta priključka 3 generatora u mreži

Dobiveni oscilogrami su na slikama 5.10. do 5.12.



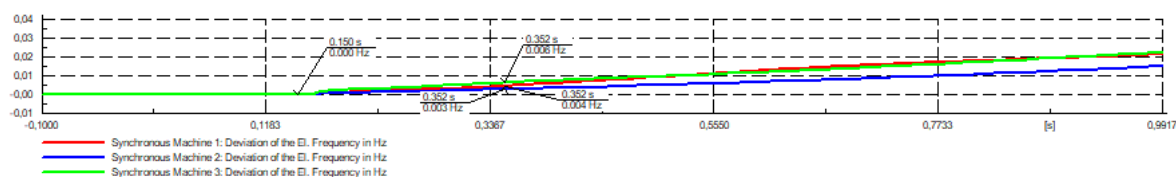
**Slika 5.10.** Generatori priključeni na početak, sredinu i kraj izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 1. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,012 / 0,202 = 0,059 \text{ Hz/s.}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 3. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,001 / 0,202 = 0,005 \text{ Hz/s.}$$

Promjena frekvencije za 2. generator iznosi 0 Hz/s.



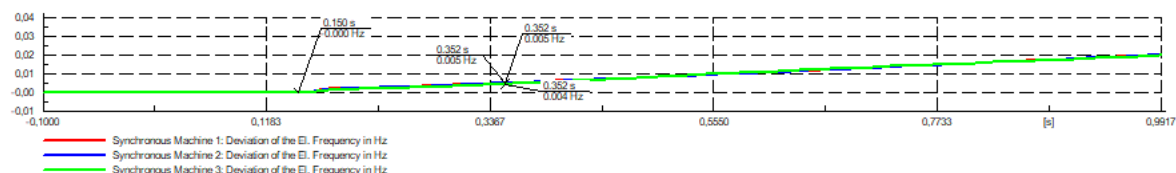
**Slika 5.11.** Sva 3 generatora na kraju izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

Promjena frekvencije za 1. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,004 / 0,202 = 0,02 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 2. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,003 / 0,202 = 0,015 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 3. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,006 / 0,202 = 0,03 \text{ Hz/s}$



**Slika 5.12.** Sva 3 generatora na početku izvoda

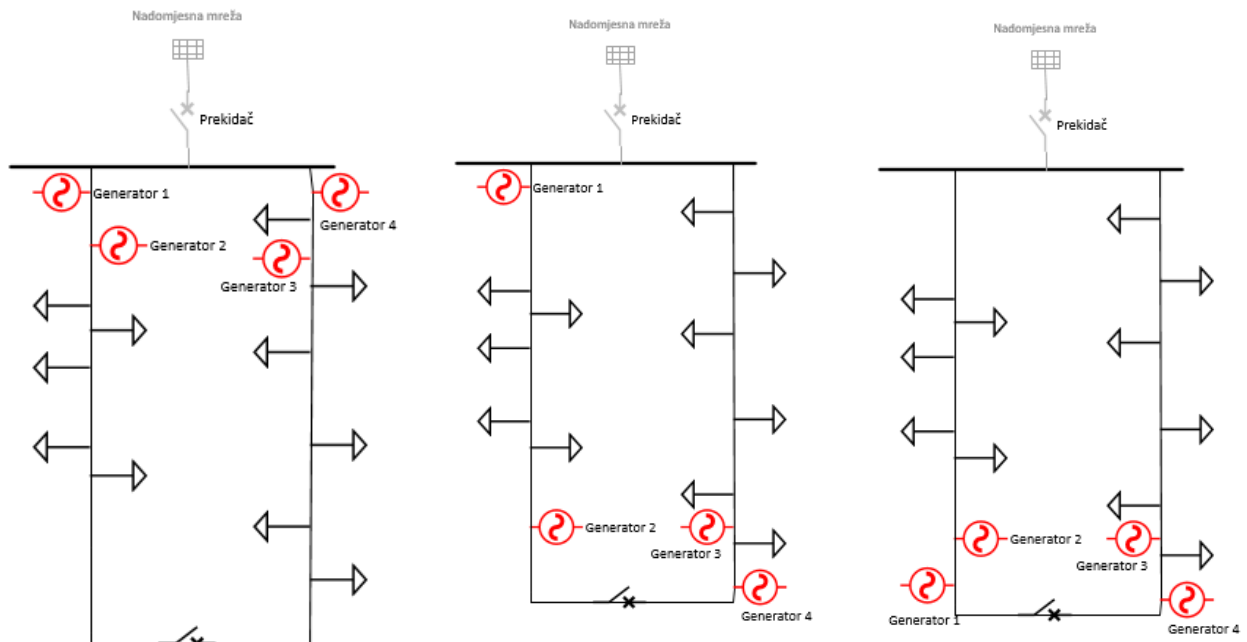
$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

Promjena frekvencije za 1. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,005 / 0,202 = 0,025 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 2. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,005 / 0,202 = 0,025 \text{ Hz/s}$

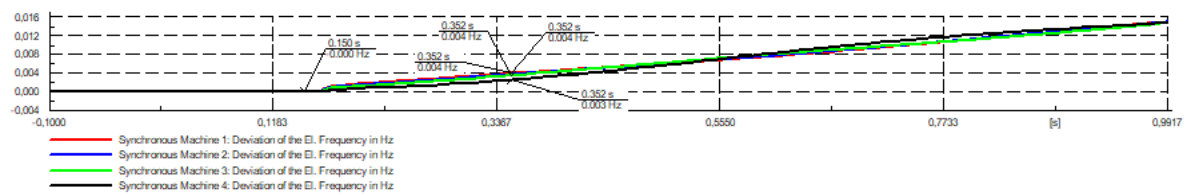
Promjena frekvencije za 3. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,004 / 0,202 = 0,02 \text{ Hz/s}$

Shematski prikaz priključaka 4 generatora prikazani su slikom 5.13.



Slika 5.13. Promjena mjesta priključka 4 generatora u mreži

Dobiveni oscilogrami vidljivi su na slici 5.14. do 5.16.



Slika 5.14. Sva 4 generatora na početku izvoda

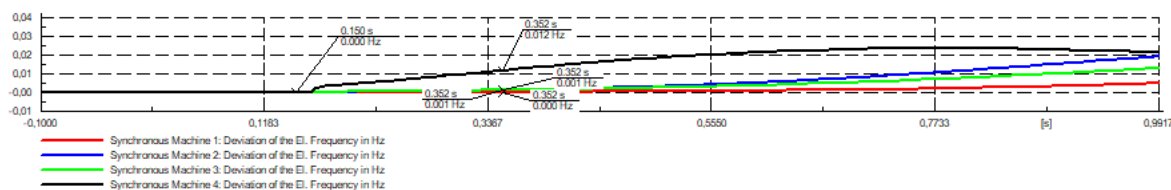
$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 1. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,004 / 0,202 = 0,02 \text{ Hz/s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 2. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,004 / 0,202 = 0,02 \text{ Hz/s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 3. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,004 / 0,202 = 0,02 \text{ Hz/s}$$

$$\text{Promjena frekvencije za 4. generator: } \Delta f / \Delta t = 0,003 / 0,202 = 0,015 \text{ Hz/s}$$



**Slika 5.15.** Jedan generator na početku izvoda, ostala 3 na kraju izvoda

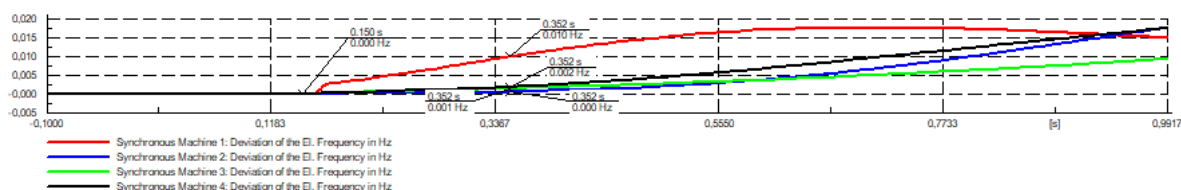
$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

Promjena frekvencije za 1. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,000 / 0,202 = 0 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 2. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,001 / 0,202 = 0,005 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 3. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,001 / 0,202 = 0,005 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 4. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,012 / 0,202 = 0,06 \text{ Hz/s}$



**Slika 5.16.** Sva 4 generatora na kraju izvoda

$$\Delta t = 0,352 - 0,150 = 0,202 \text{ s}$$

Promjena frekvencije za 1. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,01 / 0,202 = 0,05 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 2. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,000 / 0,202 = 0 \text{ Hz/s}$

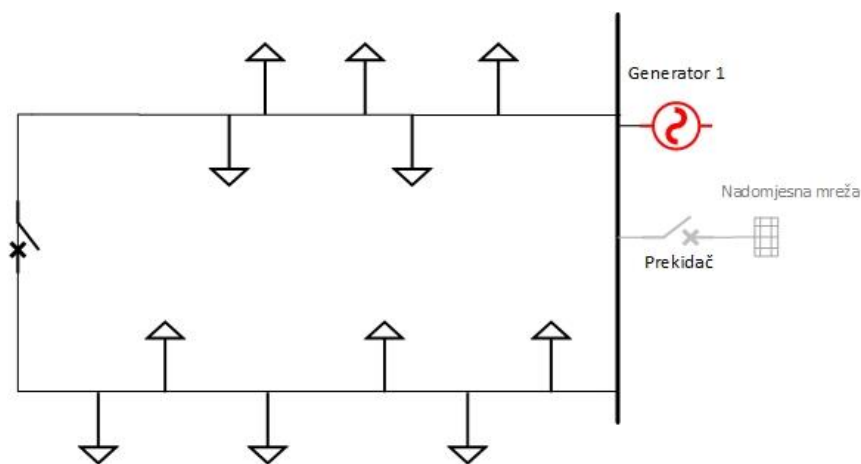
Promjena frekvencije za 3. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,001 / 0,202 = 0,005 \text{ Hz/s}$

Promjena frekvencije za 4. generator:  $\Delta f / \Delta t = 0,002 / 0,202 = 0,0099 \text{ Hz/s}$

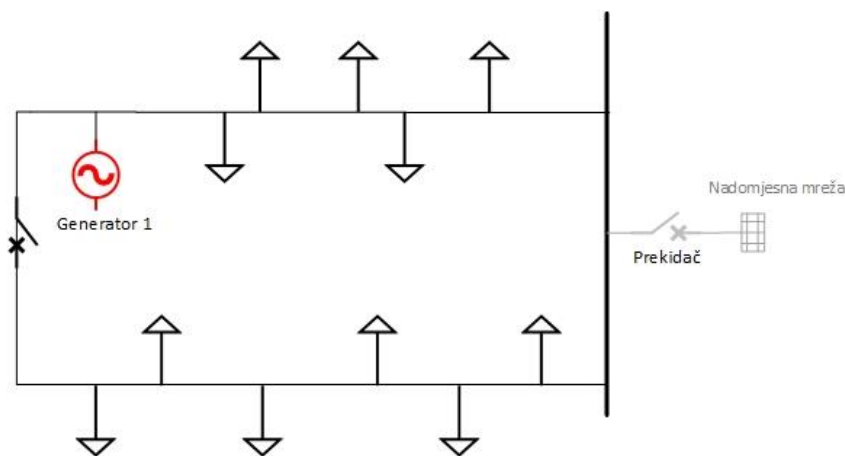
Analizom osjetljivosti promjene frekvencije za ROCOF zaštitu vidljivo je da je promjena frekvencije pri balansu snage proizvodnje i potrošnje vrlo mala. Prema [6] pri balansu snage proizvodnje i potrošnje zaštita ne može reagirati na male promjene frekvencije (manje od 0,2 Hz/s) te je zbog toga za pojavu otočnog pogona ROCOF zaštita neučinkovita i potrebno je pri balansu snage proizvodnje i potrošnje pronaći druge načine detekcije otočnog pogona.

## 6. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 1 GENERATOR U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

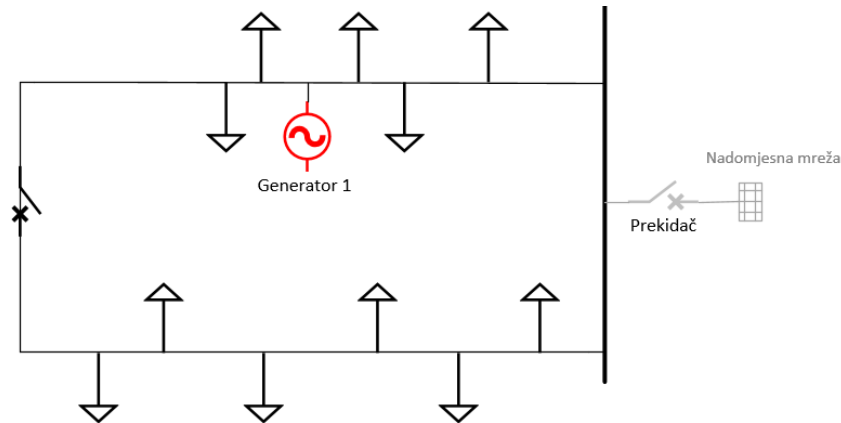
Postupak ispitivanja napravljen je na način da se mijenjala lokacija generatora i iznos aktivne snage koju daje u mrežu. Generator je najprije postavljen na istu sabirnicu na koju je priključena nadomjesna mreža (sabirnica 1) te se nakon isklopa mreže proučavalo što se događa s naponom, brzinom generatora, kutom rotora i reaktivnom snagom. Sve simulacije su odrađene za prstenastu konfiguraciju mreže. Princip promjene lokacije generatora prikazan je na slikama 6.1 do 6.3.



Slika 6.1. Generator na sabirnici 1



Slika 6.2. Generator na kraju izvoda

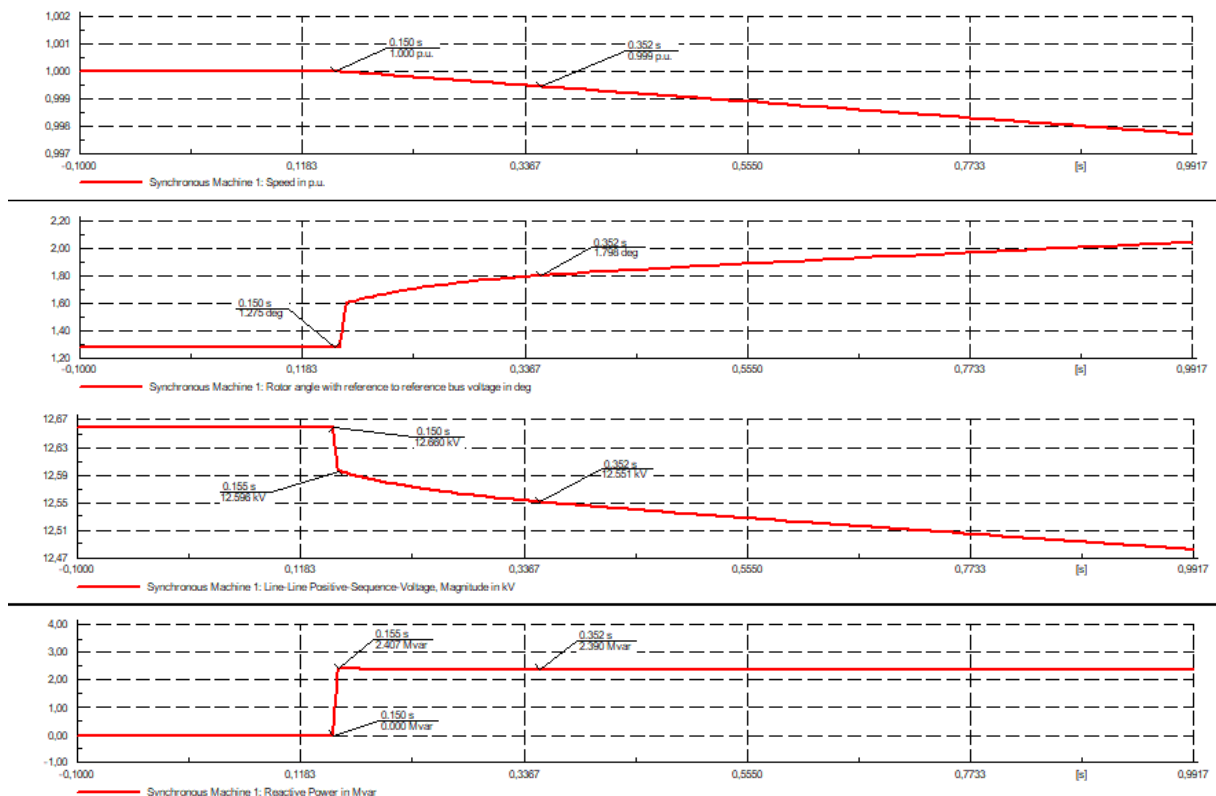


Slika 6.3. Generator na sredini izvoda

### 6.1. Generator na sabirnici 1 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Generator je postavljen na sabirnicu 1, aktivna snaga koju daje u mrežu je 1.113 MW što odgovara 30 % ukupne snage potrošnje.

Dobiveni oscilogrami prikazani su na slici 6.4.



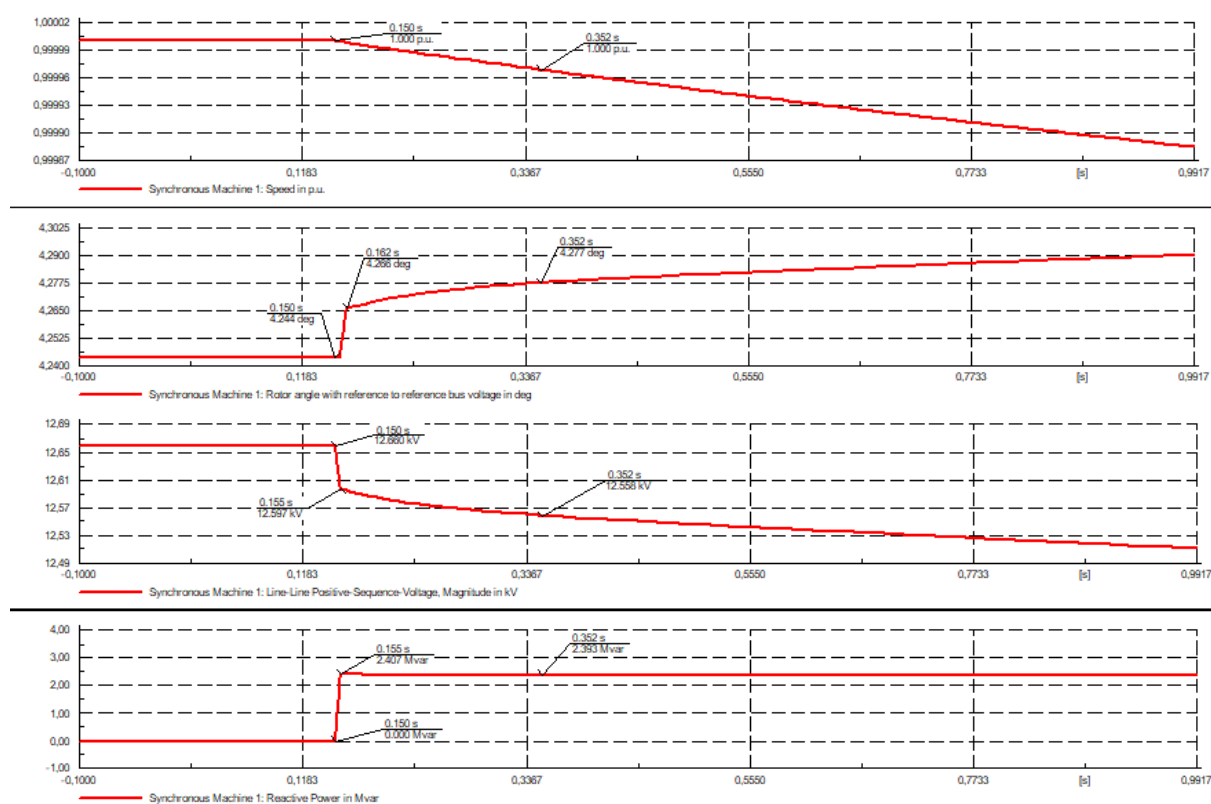
Slika 6.4. Generator na sabirnici 1 uz aktivnu snagu od 1,113 MW

Iz oscilograma je vidljivo, za generator na sabirnici 1, da je brzina generatora u malom padu jer je opterećenje veće nego što daje generator u mrežu. Osim toga, kut rotora raste, postoji propad napona te skok reaktivne snage u iznosu od 2,407 Mvar što približno odgovara reaktivnoj snazi potrošača.

## 6.2. Generator na sabirnici 1 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

U ovom slučaju aktivna snaga koju daje generator u mrežu je 3,71 MW što odgovara ukupnoj potrošnji distributivne mreže.

Za ovaj slučaj dobiveni rezultati su prikazani slikom 6.5.



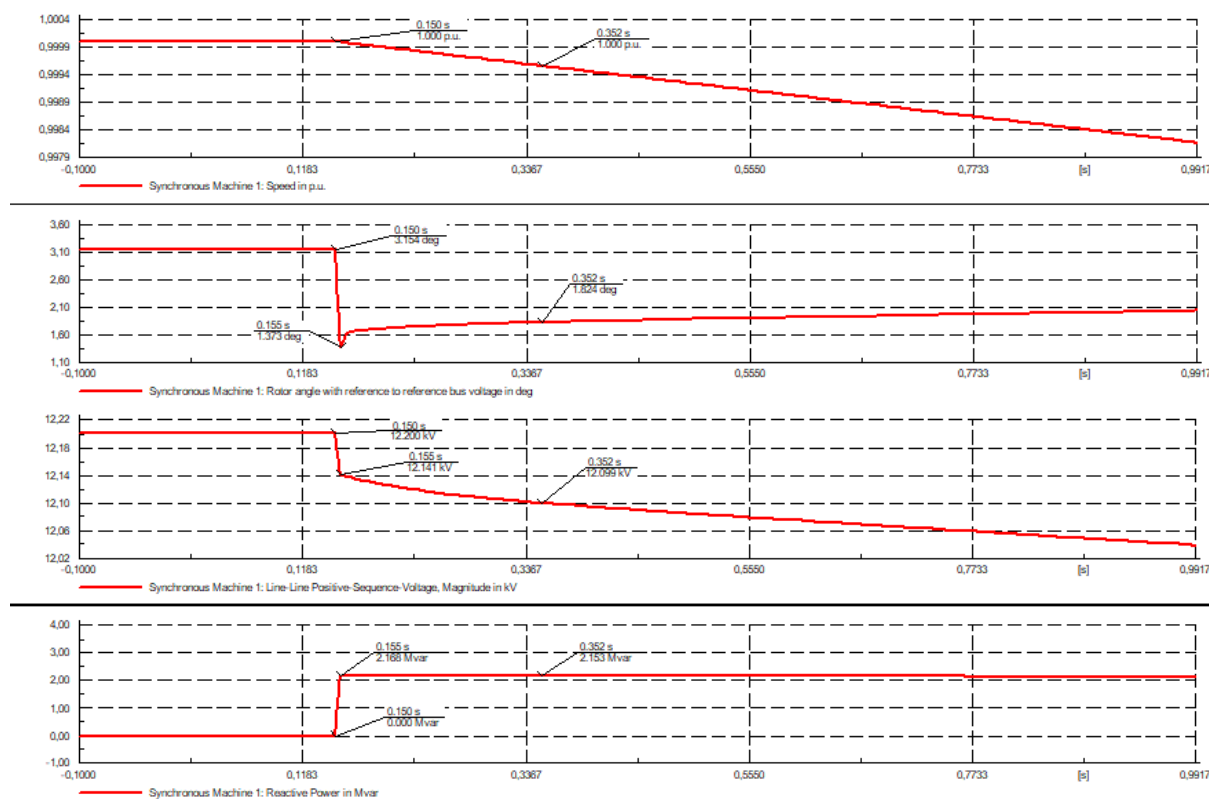
**Slika 6.5.** Generator na sabirnici 1 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Za slučaj balansa snage za generator na sabirnici 1 vidljivo je da je promjena brzina generatora gotovo 0, kao i u slučaju aktivne snage od 1,113 MW napon pada, kut rotora raste te postoji skok reaktivne snage od 2,407 Mvar.

### 6.3. Generator na sabirnici 18 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Za ovaj slučaj smatra se da je generator udaljen od mjesta isklopa nadomjesne mreže te se promatra utjecaj isklopa mreže na udaljeni generator koji ostaje napajati distributivnu mrežu. Postavlja se aktivna snaga generatora na 30 % ukupnog opterećenja odnosno 1,113 MW.

Dobiveni rezultati dani su slikom 6.6.



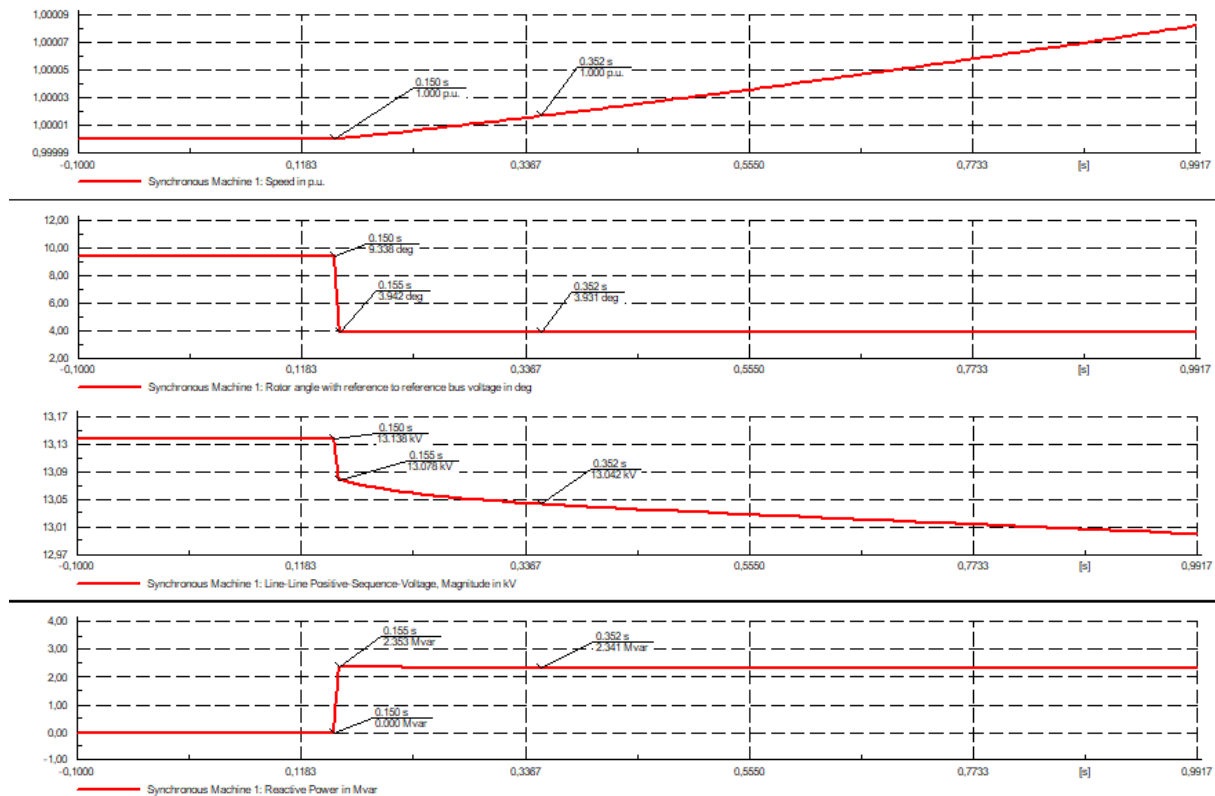
**Slika 6.6.** Generator na sabirnici 18 uz proizvodnju 30 % ukupnog opterećenja mreže

Za slučaj generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, zaključuje se da je promjena brzine generatora vrlo mala. Kut rotora, za razliku od slučaja generatora na početku izvoda, se smanjio. Također, postoji propad napona, ali u manjoj mjeri u odnosu na generator na početku izvoda te je vidljiv skok reaktivne snage, ali nešto manji u odnosu na slučaj kada je generator na sabirnici 1.

### 6.4. Generator na sabirnici 18 uz balans snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora postavljena je na 3,71 MW.

Rezultati su prikazani slikom 6.7.

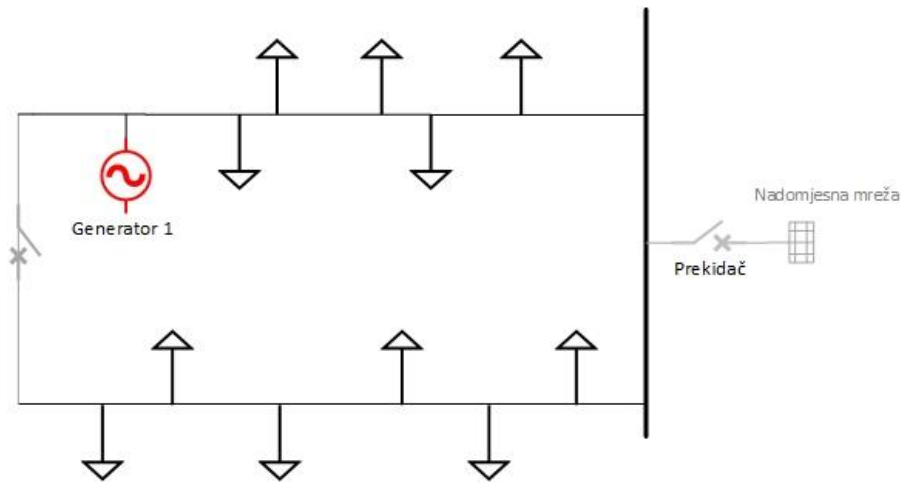


**Slika 6.7.** Generator na sabirnici 18 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Za generator na sabirnici 18, pri balansu snage, promjena brzine generatora je vrlo mala. U odnosu na prijašnje slučajeve, primjećuje se veći propad kuta rotora (za oko  $6^\circ$ ), što bi uspješno detektirala VVS zaštita. Napon se smanjio, a skok reaktivne snage je približno iznosu reaktivne snage potrošnje.

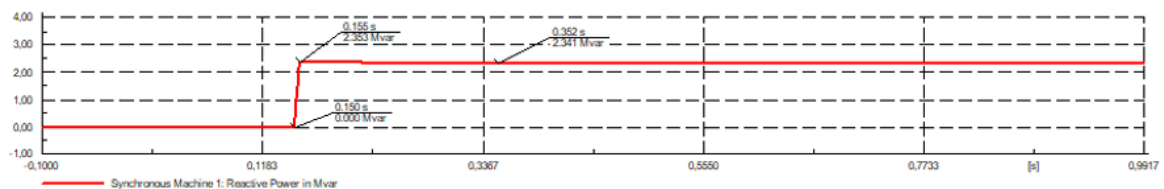
## 6.5. Usporedba prstenaste i radijalne mreže pri balansu snage za generator na sabirnici 18

Shematski prikaz radijalne mreže vidljiv je na slici 6.8.

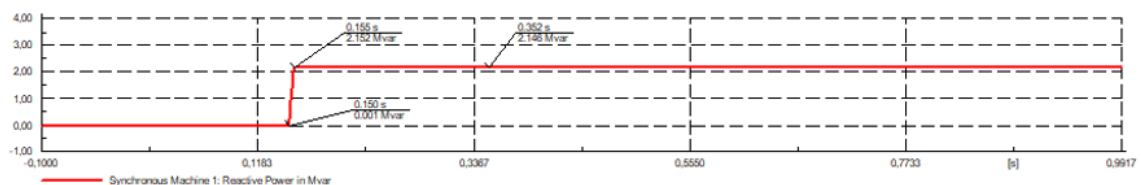


Slika 6.8. Radikalna mreža s jednim generatorom

Za slučaj udaljenog generatora za radikalnu i prstenastu mrežu promjena reaktivne snage prikazana je na slici 6.9 i 6.10.



Slika 6.9. Promjena reaktivne snage za prstenastu konfiguraciju mreže



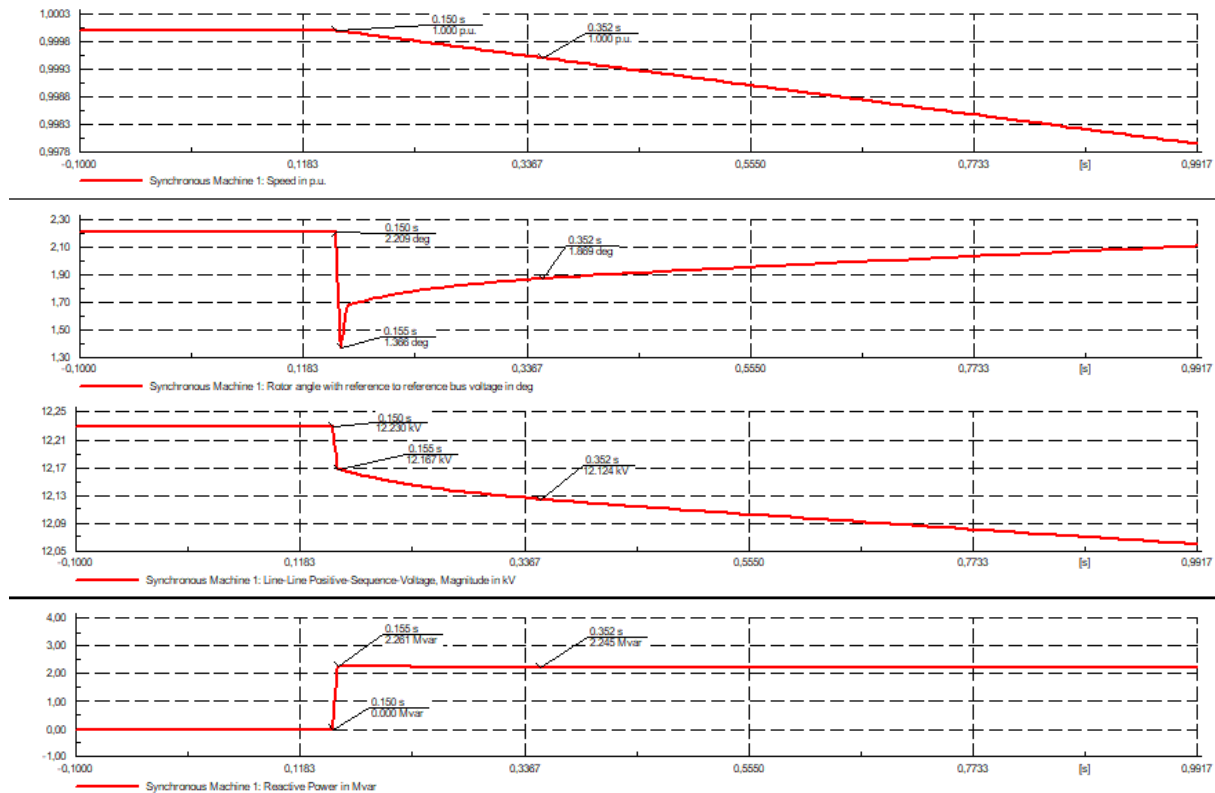
Slika 6.10. Promjena reaktivne snage za radikalnu konfiguraciju mreže

Promjena reaktivne snage podjednaka je za obje konfiguracije mreže. Za generator na kraju izvoda zaključak je da topologija mreže nema utjecaja na promjenu reaktivne snage.

## 6.6. Generator na sabirnici 25 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Generator je postavljen na sredinu izvoda, aktivna snaga generatora iznosi 1,113 MW.

Rezultati su prikazani na slici 6.11.

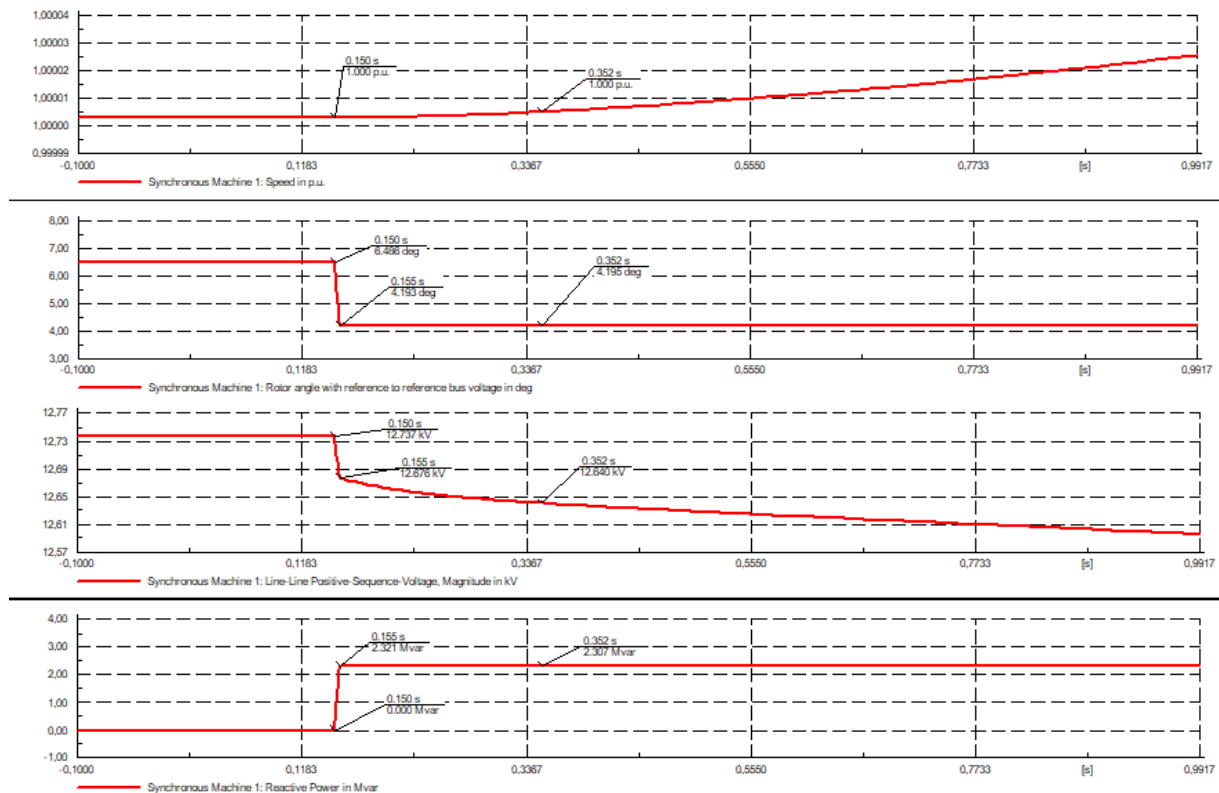


**Slika 6.11.** Generator na sabirnici 25 pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Za generator na sredini izvoda, pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, promjena brzine generatora ima malu vrijednost, kut rotora se smanjio, isto tako i napon, a reaktivna snaga ima skok u iznosu 2,261 Mvar.

## 6.7. Generator na sabirnici 25 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora je 3,71 MW. Rezultati su prikazani slikom 6.12.



**Slika 6.12.** Generator na sabirnici 25 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Pri balansu snage za generator na sredini izvoda brzina generatora je približno ista, kod napona i kuta rotora vidljiv je propad vrijednosti te imamo skok reaktivne snage kao i u prethodnim slučajevima.

Analizom navedenih slučajeva za različito mjesto priključka generatora imamo podjednako ponašanje generatora u vidu promjene iznosa kuta rotora, propada napona, promjene brzine generatora i skoka reaktivne snage, neovisno o iznosu aktivne snage.

Iznos promjene reaktivne snage, nakon isklopa nadomjesne mreže, za sve promatrane slučajeve prikazan je tablicom 6.1.

**Tablica 6.1.** Promjena reaktivne snage za sve promatrane slučajeve.

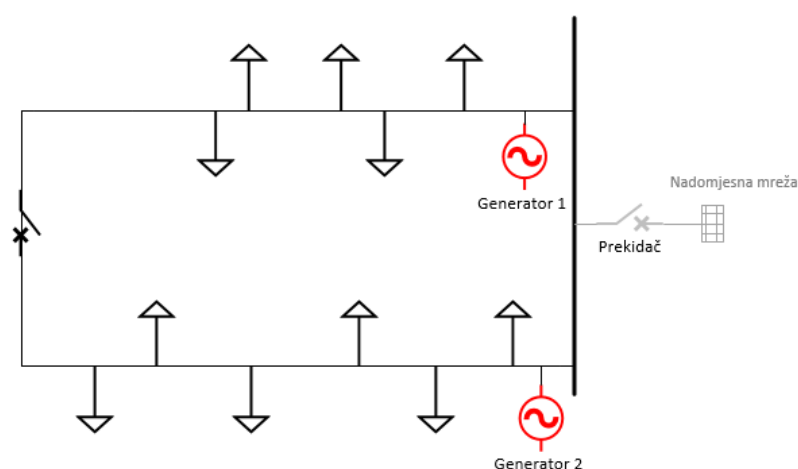
| Iznos promjene reaktivne snage                                     |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| Generator na sabirnici 1 uz 30 % ukupnog opterećenja               | 2,407 Mvar |
| Generator na sabirnici 1 pri balansu snage proizvodnje i potrošnje | 2,407 Mvar |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| Generator na sabirnici 18 uz 30 % ukupnog opterećenja             | 2,168 Mvar |
| Generator na sabirnici 18 uz balans snage proizvodnje i potrošnje | 2,353 Mvar |
| Generator na sabirnici 25 uz 30 % ukupnog opterećenja             | 2,261 Mvar |
| Generator na sabirnici 25 uz balans snage proizvodnje i potrošnje | 2,321 Mvar |

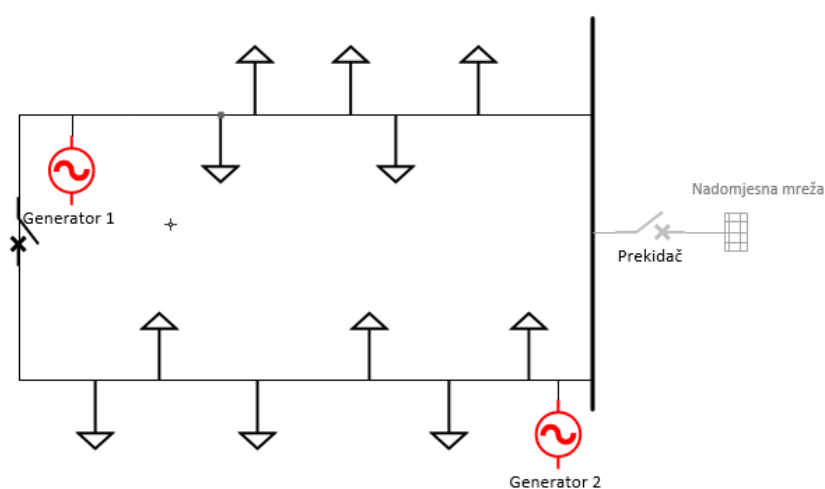
Iz dobivenih rezultata zaključak je da u svim slučajevima postoji vrlo mala promjena brzine generatora koja će ovisiti o iznosu aktivne snage. U svim slučajevima napon i kut rotora se smanjuju, osim za slučaj kada je generator na sabirnici 1, gdje dolazi do povećanja iznosa kuta. Za sve slučajeve skok reaktivne snage je iznosa približnog onome ukupnog reaktivnog opterećenja mreže. Generator nakon isklopa nadomjesne mreže nastoji održati prilike u mreži kakve su bile prije isklopa mreže pa nastoji u početnom trenutku nadomjestiti snagu koju traže potrošači, kako djelatnu tako i jalovu. Također, zaključak je da za ovakvu konfiguraciju mreže i za 1 generator mjesto priključka generatora nema utjecaja na promjenu reaktivne snage.

## 7. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 2 GENERATORA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

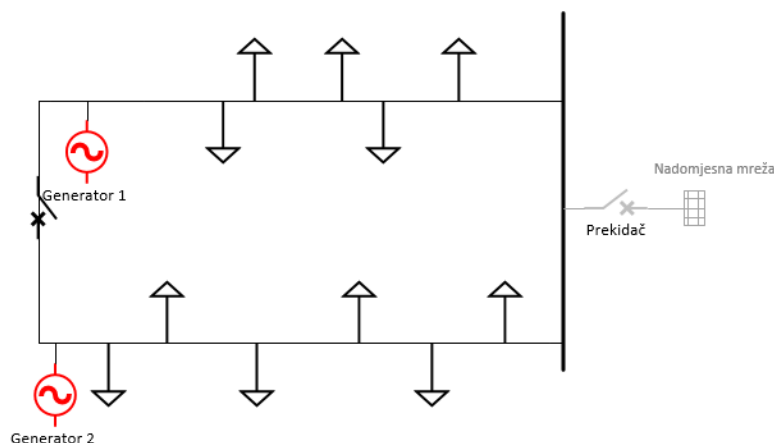
Analiza je provedena na način da su oba generatora u mreži postavljena blizu jedan drugome i blizu sabirnice na kojoj se nalazi spojena nadomjesna mreža koja se nakon 150 ms odspaja od distributivne mreže. Nakon toga, jedan generator je postavljen blizu mjesta isklopa mreže dok se drugi nalazi na kraju izvoda. Na kraju su oba generatora postavljena daleko od mjesta isklopa nadomjesne mreže te se promatrao slučaj otočnog rada i utjecaj istoga na udaljene generatore (Slika 7.1 do 7.3.)



**Slika 7.1.** Oba generatora na početku izvoda



**Slika 7.2.** Generator 1 na kraju izvoda, generator 2 na početku izvoda

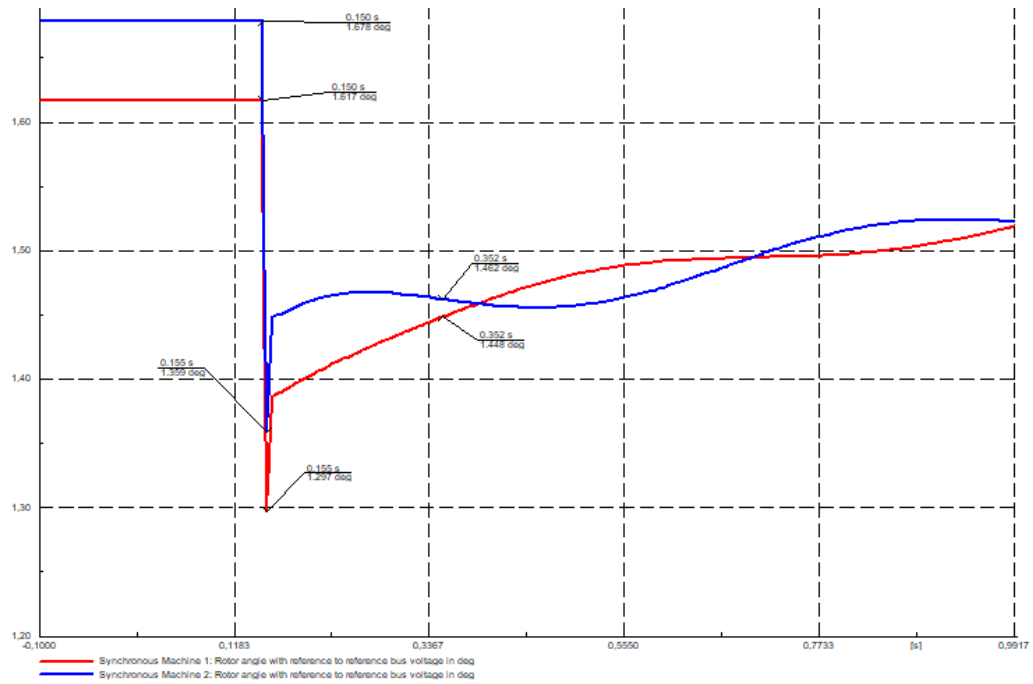
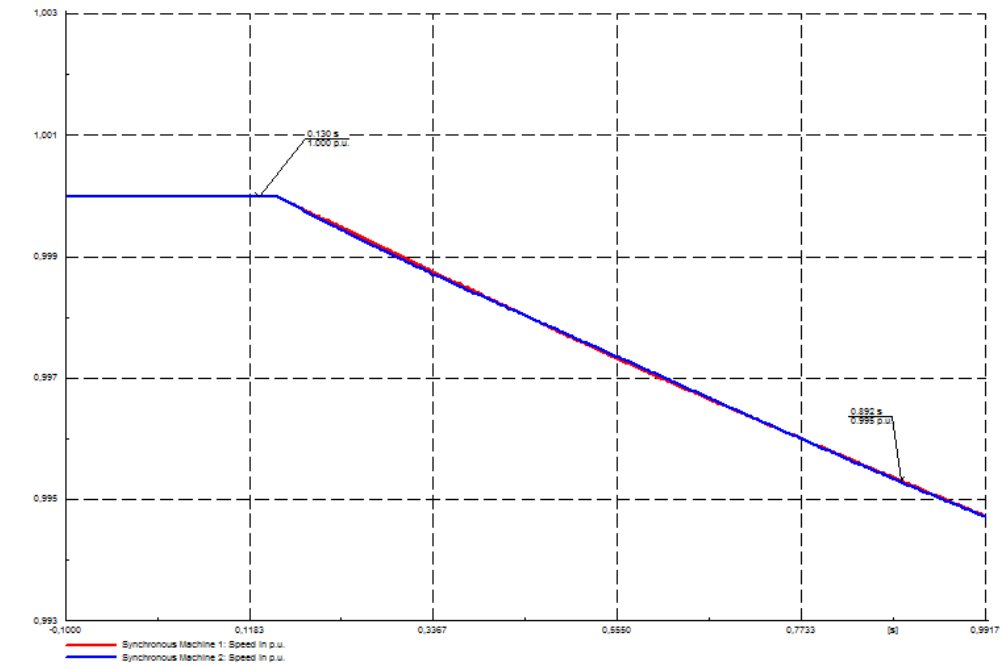


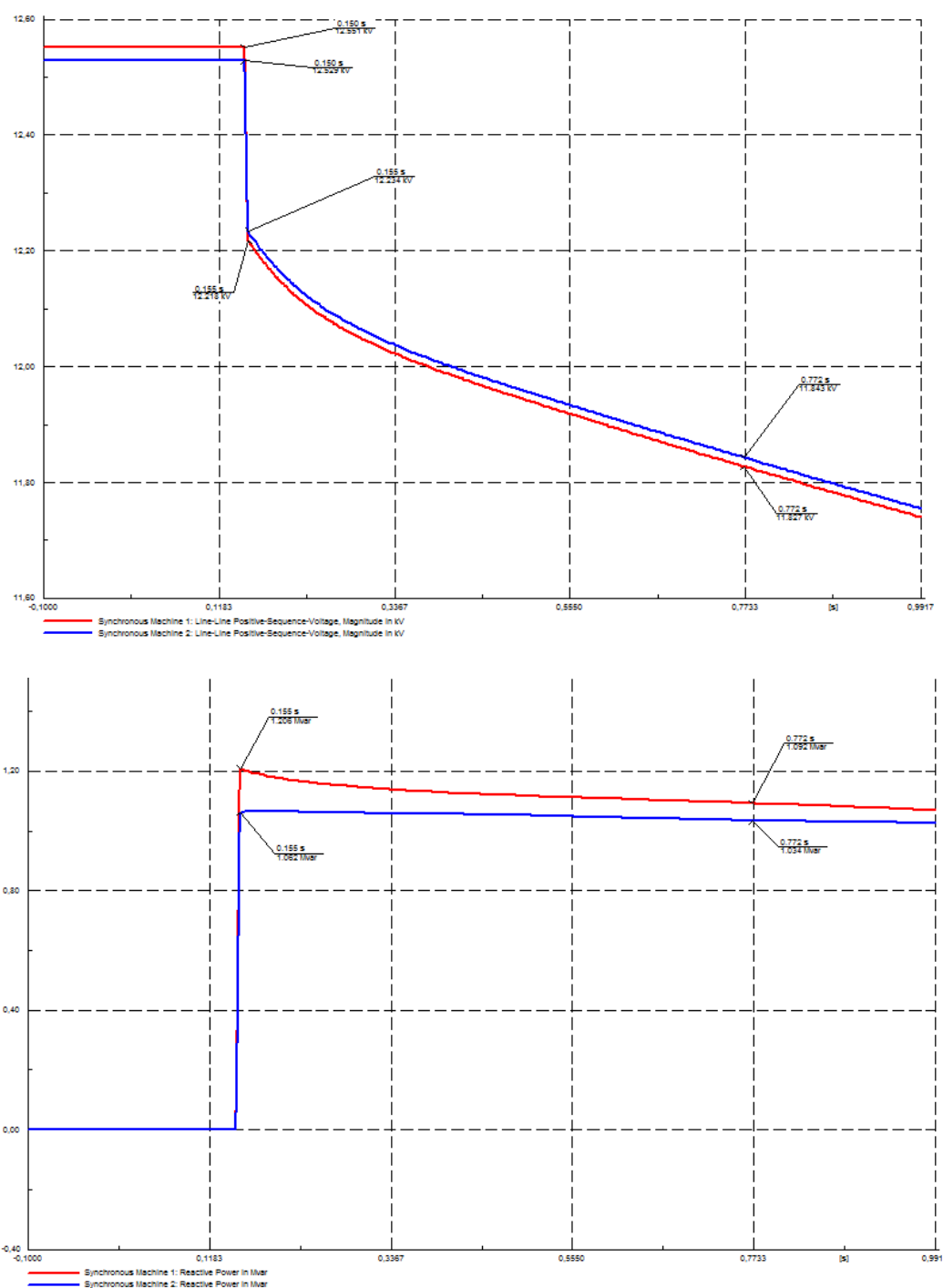
**Slika 7.3.** Oba generatora na kraju izvoda

Aktivna snaga za svaki generator u prvom slučaju je podešena na 30 % ukupne potrošnje distributivne mreže što daje 60 % ukupne snage opterećenja potrošača, dok je u drugom slučaju snaga oba generatora skalirana tako da njihova ukupna proizvodnja bude jednaka ukupnoj potrošnji izvoda, pa je svakom generatoru aktivna snaga postavljena na 1,855 MW. Promatrane veličine generatora su iste kao i za slučaj jednog generatora. Simulacije su odrađene za prstenastu konfiguraciju mreže.

### 7.1. Slučaj 2 generatora na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Podešena aktivna snaga generatora je 30 % ukupnog opterećenja što znači da je aktivna snaga svakog generatora 1,113 MW. Jedan generator je postavljen na sabirnicu 3, drugi je priključen na sabirnicu 4. Uzima se da su oba generatora blizu mjesta isklopa nadomjesne mreže. Rezultati su prikazani slikom 7.4.



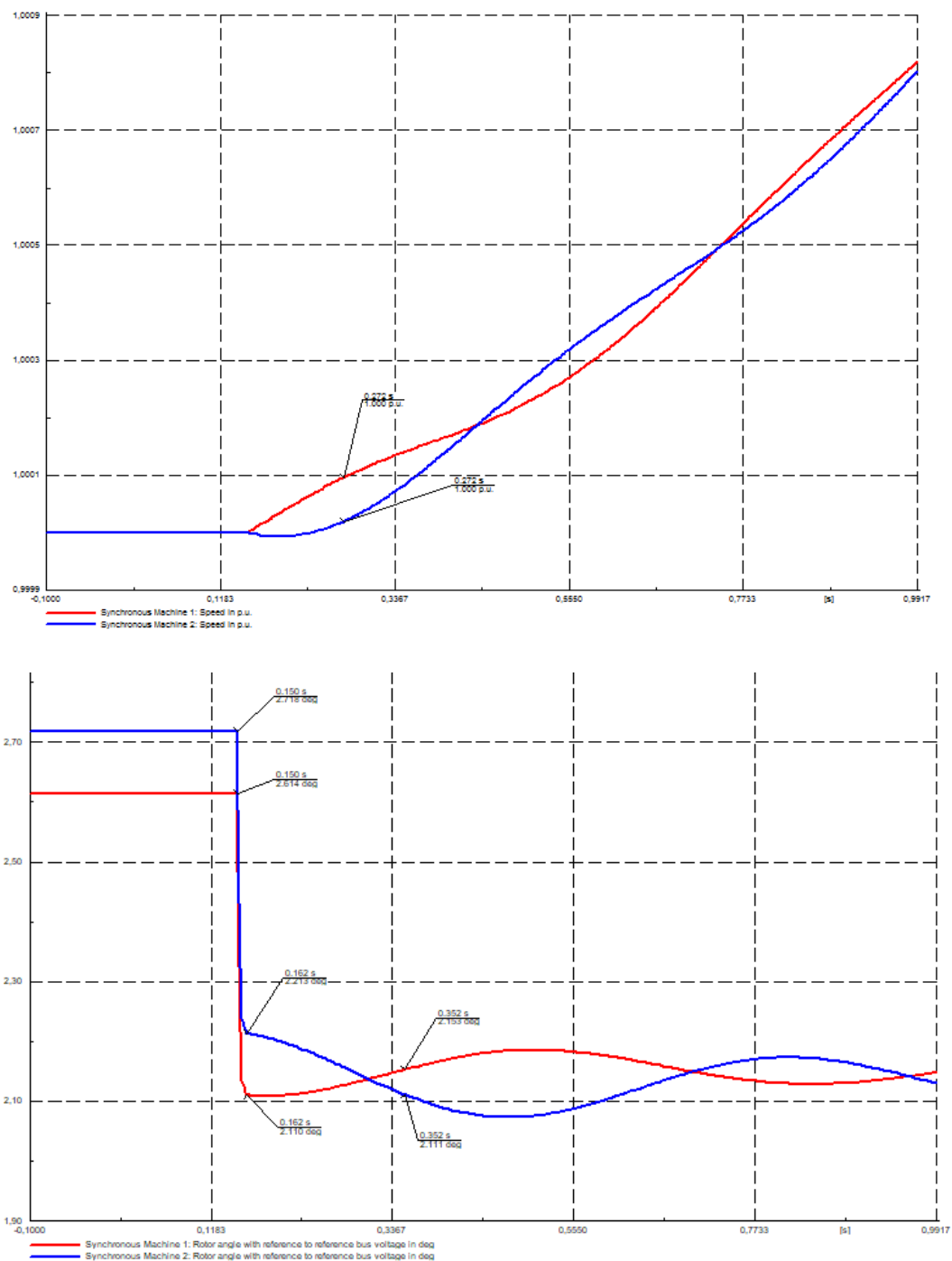


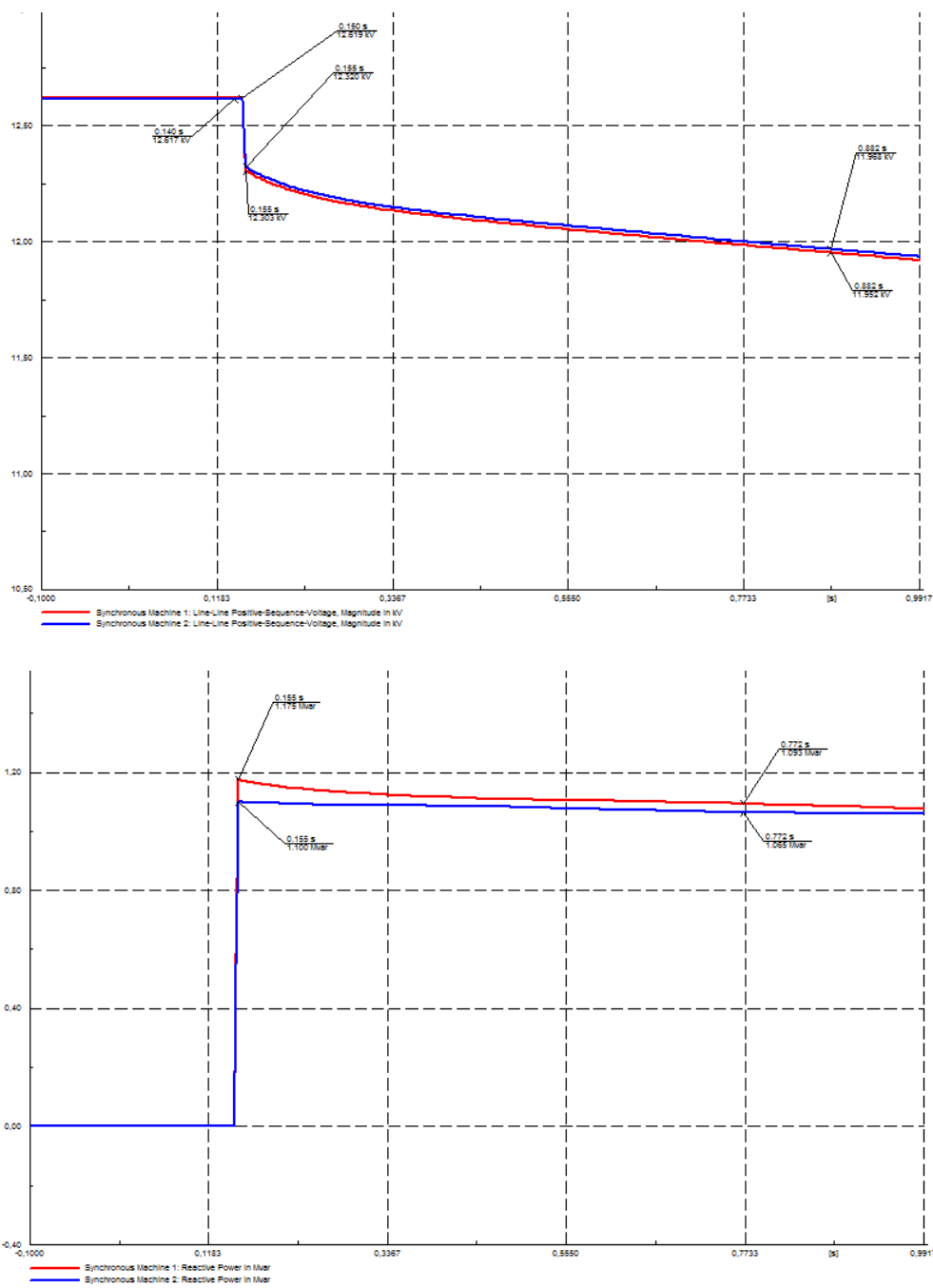
**Slika 7.4.** 2 generatora blizu mjesta isklopa mreže pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga

Iz grafova se vidi za 2 generatora koja su na početku izvoda da se brzina smanjuje, javlja se propad napona, kut rotora se smanjuje i postoji podjednak skok reaktivne snage na otprilike istu vrijednost za svaki generator. Veći skok reaktivne snage je kod 1. generatora jer je on bliže nadomjesnoj mreži. Ukupni zbroj reaktivne snage koju daju oba generatora je približan iznosu ukupne reaktivne snage potrošača od 2.3 Mvar.

## 7.2. Slučaj 2 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Generatori su postavljeni blizu nadomjesnoj mreži, aktivna snaga svakog generatora iznosi 1,855 MW. Na slici 7.5 prikazani su dobiveni oscilogrami.



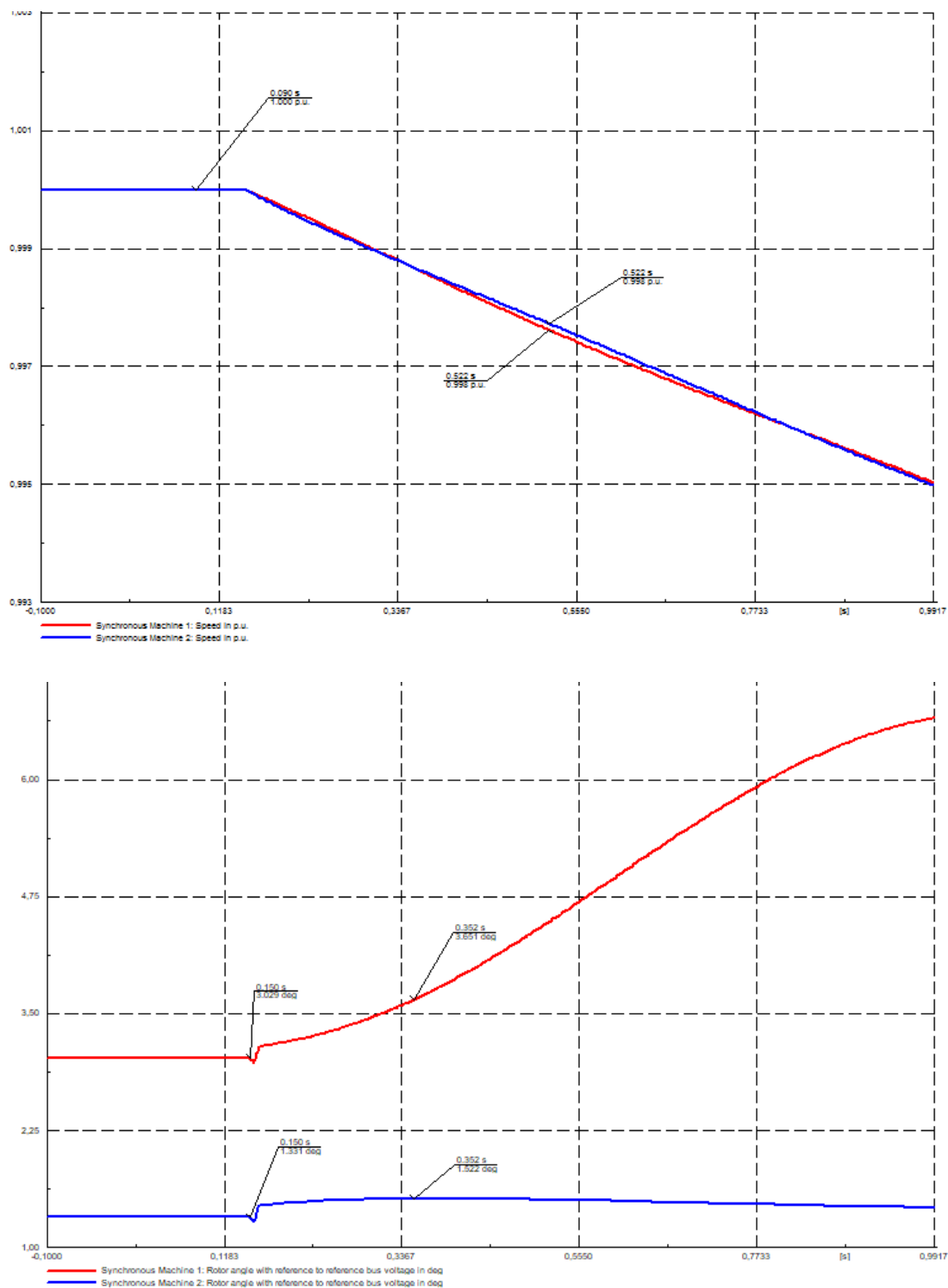


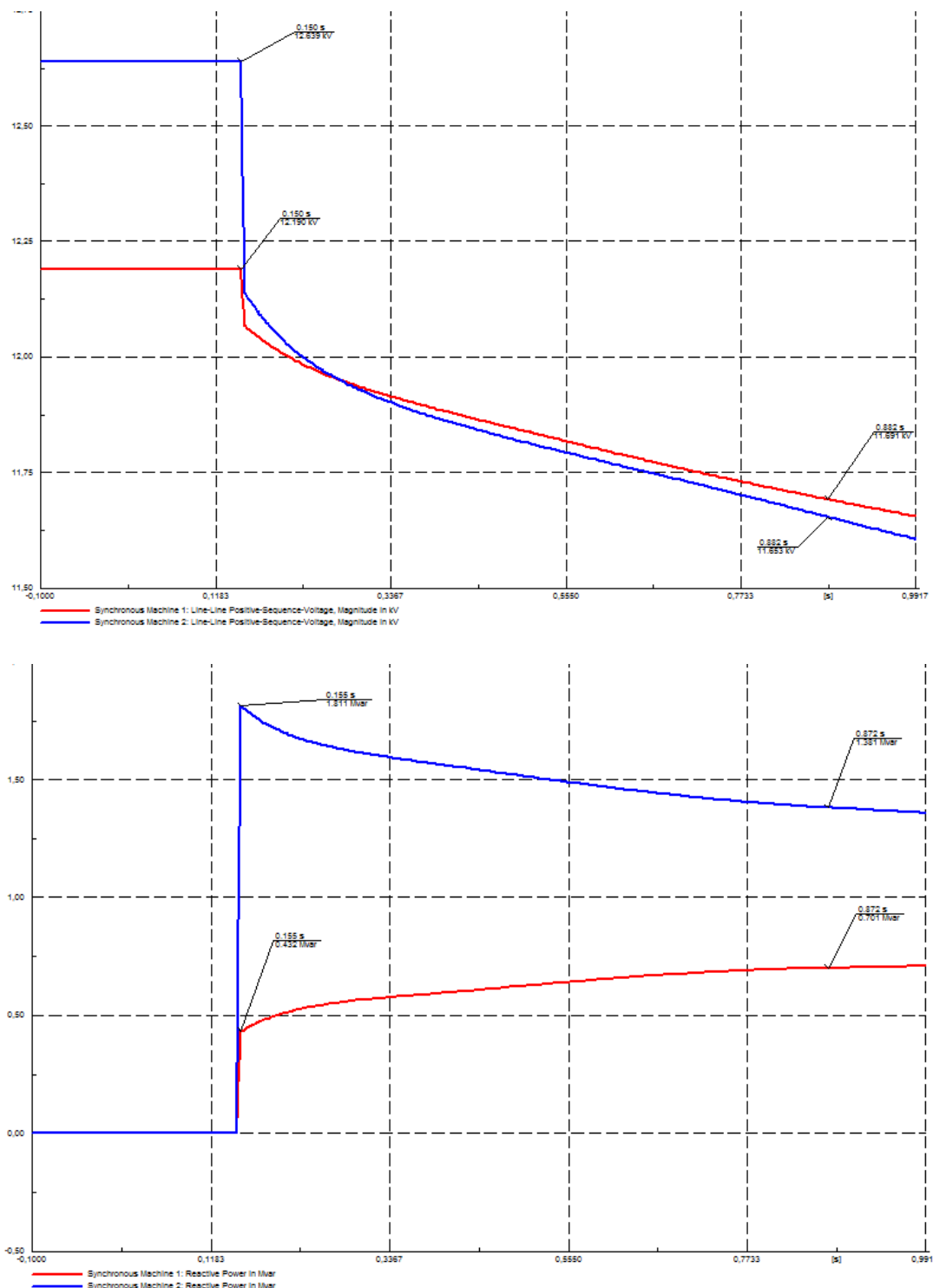
**Slika 7.5.** 2 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga

Kod balansa snage proizvodnje i potrošnje za slučaj 2 generatora na početku izvoda, uočava se mala promjena brzine, smanjenje kuta rotora i propad napona. Nakon isklopa mreže, promjena reaktivne snage je približno jednaka za oba generatora. Ukupni zbroj reaktivne snage, koju daju oba generatora, jednaka je ukupnoj reaktivnoj snazi potrošača.

### 7.3. Slučaj 2 generatora na početku i kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Promijenjeno je mjesto priključka drugog generatora te je udaljen od mjesta isklopa nadomjesne mreže. Aktivna snaga oba generatora je 1,113 MW. Rezultati su prikazani slici 7.6.





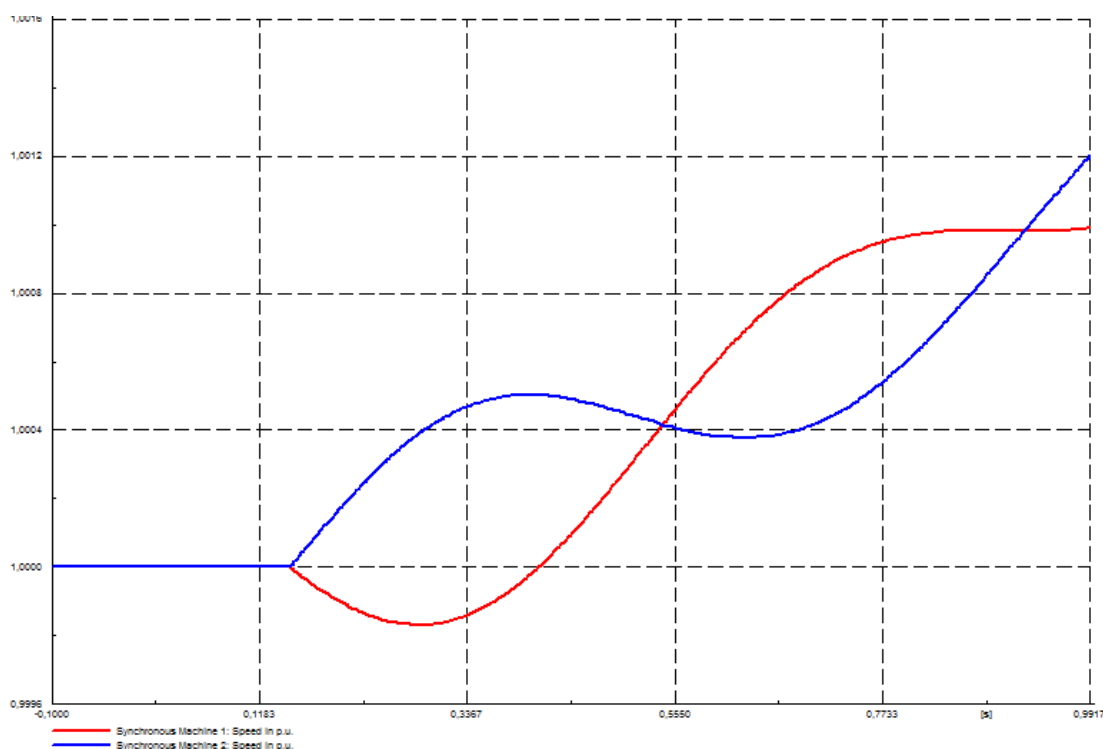
**Slika 7.6.** Generator 1 na kraju izvoda, generator 2 na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga

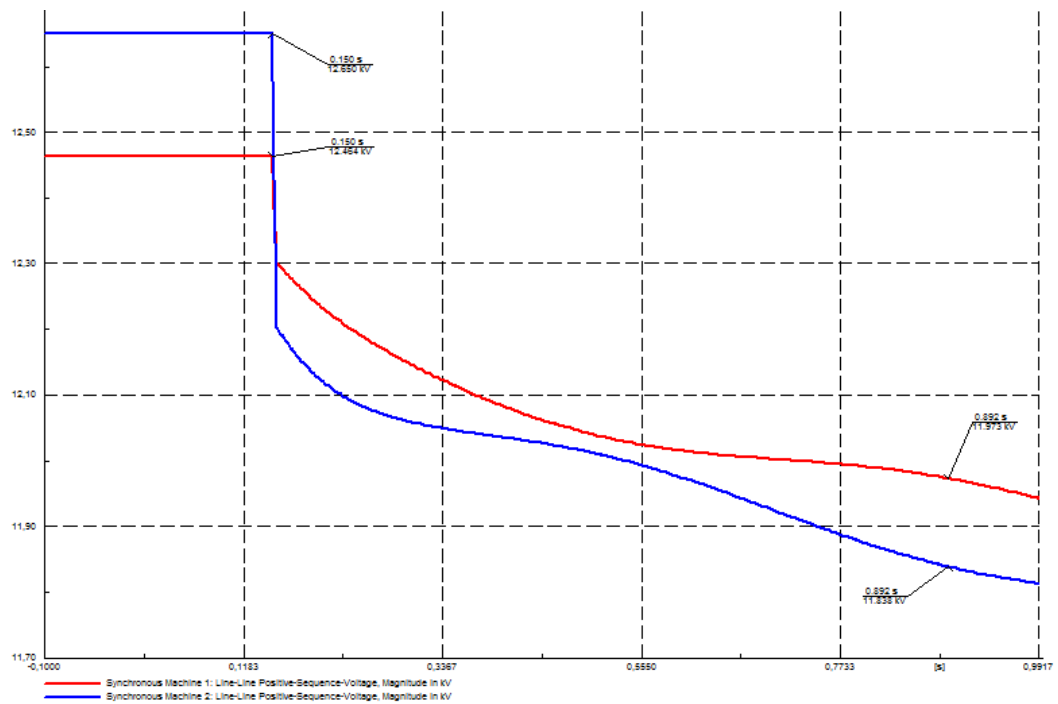
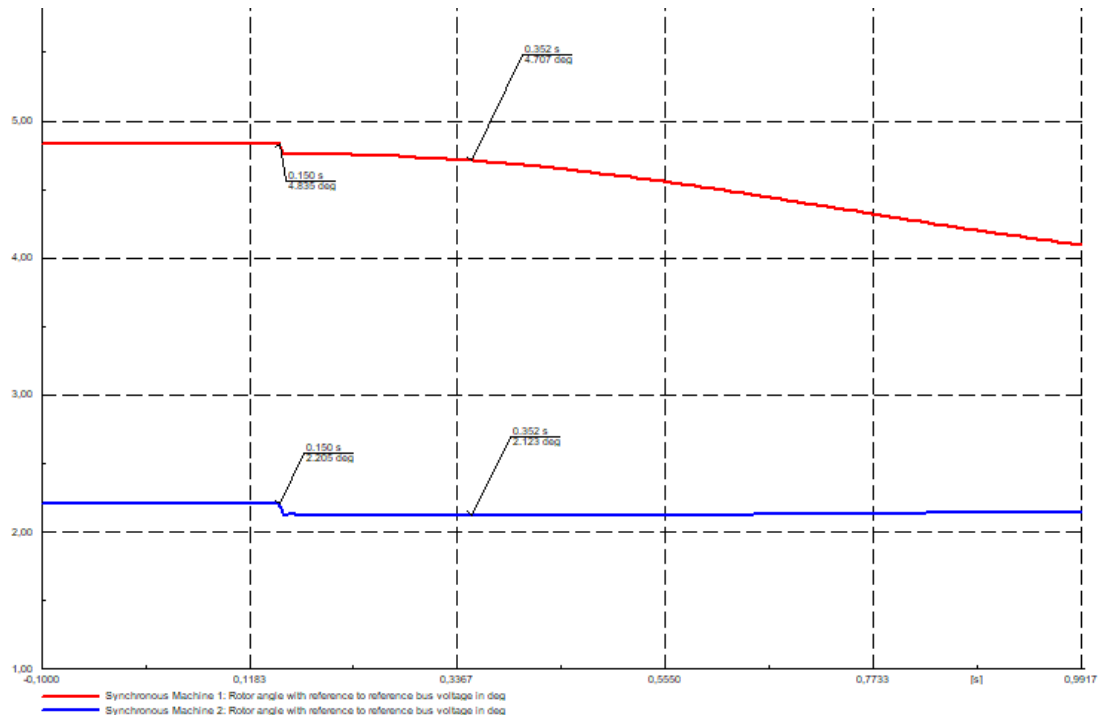
Za 2 generatora kod kojih je jedan na početku izvoda, a drugi na kraju, postoji razlika u vrijednostima kuta i napona te promjene reaktivne snage. Brzina oba generatora se smanjuje, ali ta promjena brzine je vrlo mala. Kut rotora generatora na početku izvoda raste, dok je kod drugog generatora, na kraju izvoda, promjena kuta neznatna. Poveznica između jednog

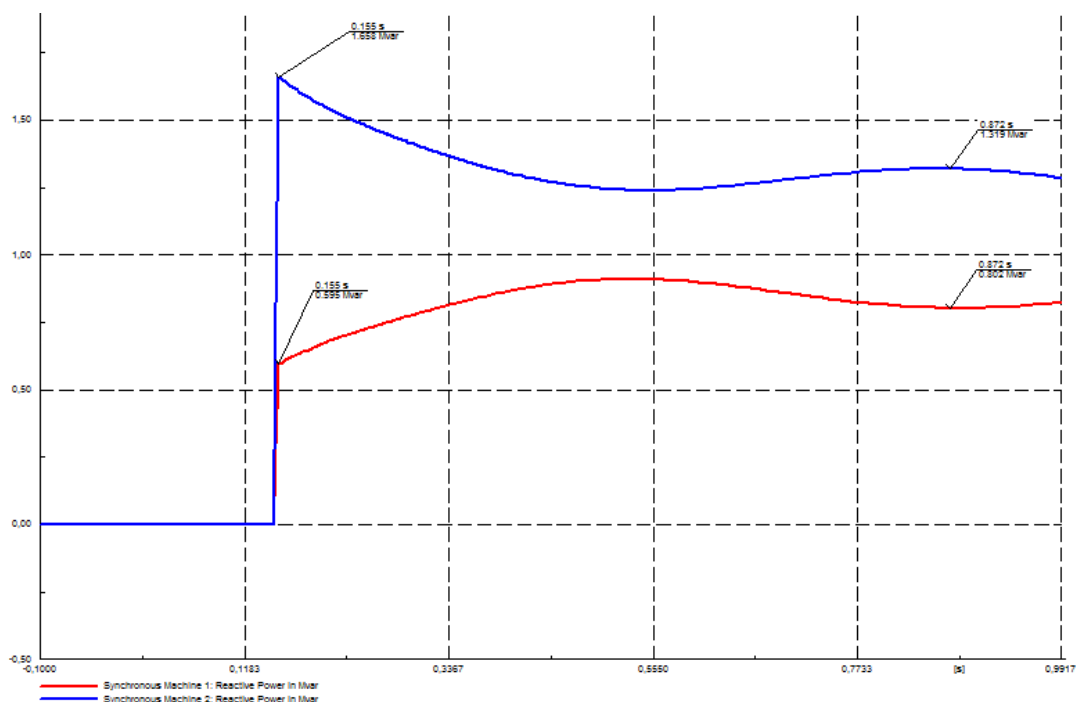
generatora u mreži, na početku izvoda, i 2 generatora, kod kojih je prvi generator na početku izvoda, je ta da imamo povećanje kuta rotora. Napon oba generatora pada, kod generatora koji je na kraju izvoda napon je puno veći jer čvor na koji je spojen nema mogućnost regulacije napona (potrošački čvor). Promjena reaktivne snage je izraženija kod generatora na početku izvoda, dok u ukupnom zbroju oba generatora daju reaktivnu snagu u mrežu u iznosu 2.3 Mvar.

#### 7.4 Slučaj 2 generatora na početku i kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora je 1,855 MW. Na slici 7.7 prikazani su oscilogrami.





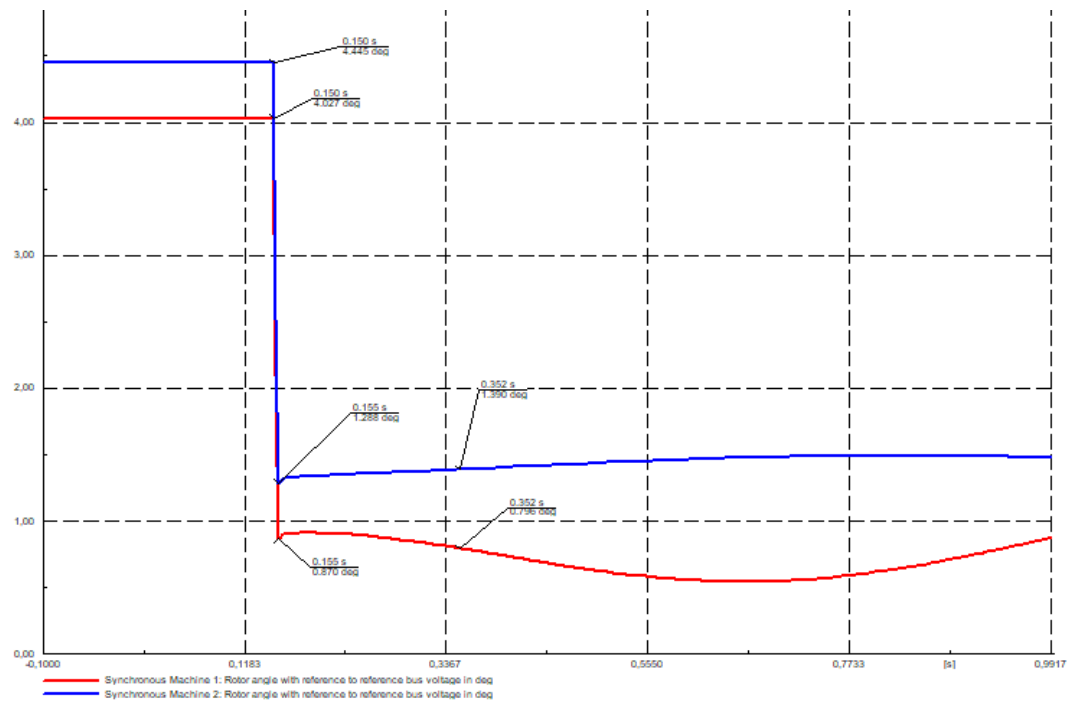
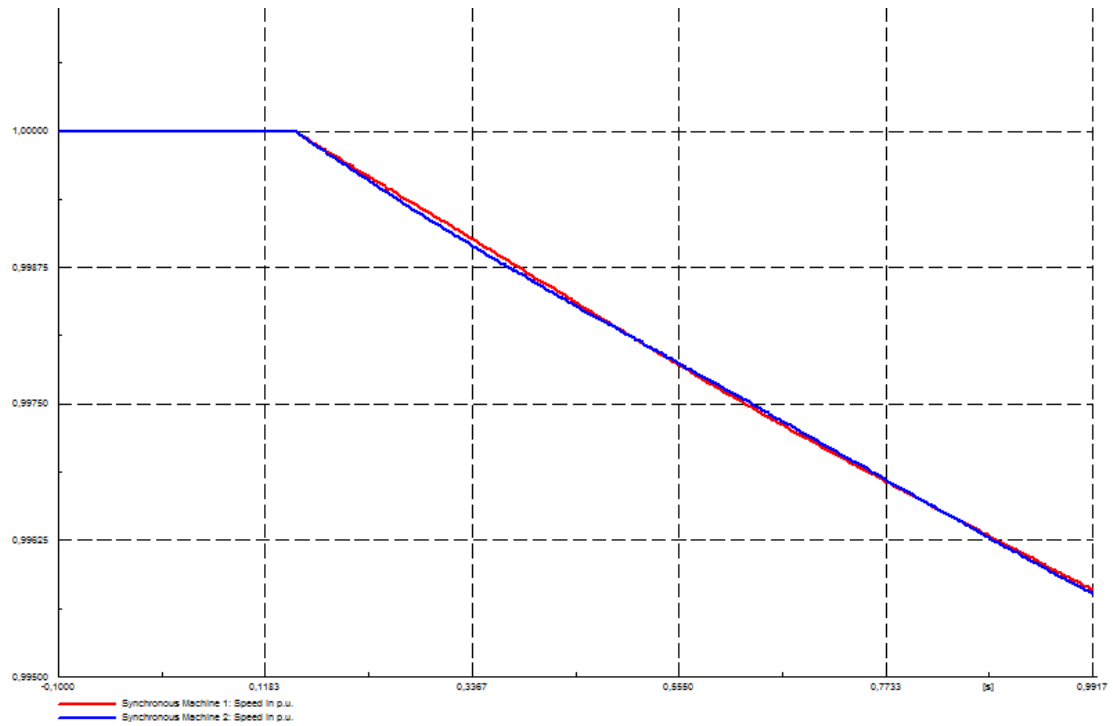


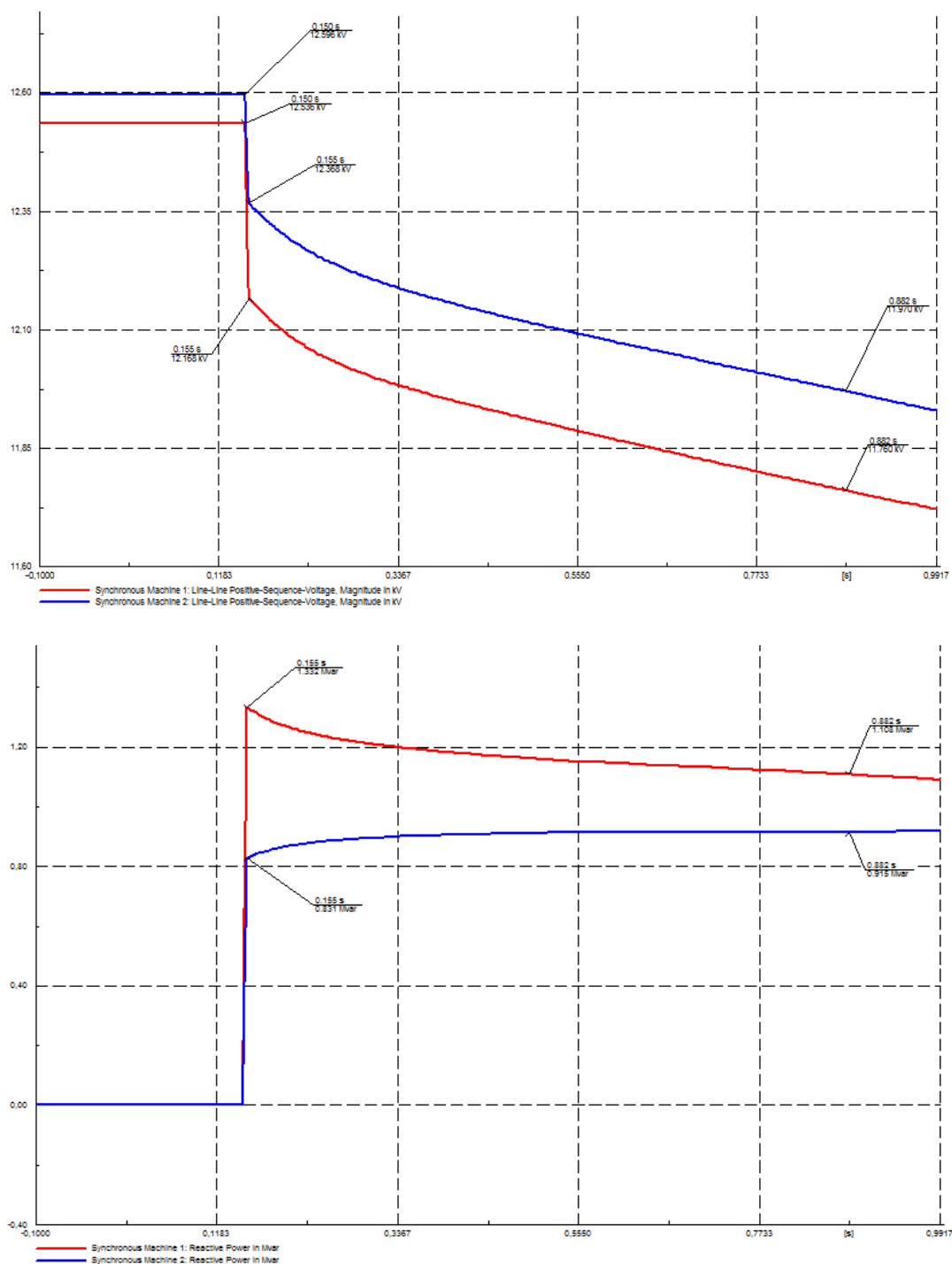
**Slika 7.7.** Generator 1 na kraju izvoda, generator 2 na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga

Za balans snage proizvodnje i potrošnje primjetna je povezanost ponašanja 2 generatora sa slučajem jednog generatora u mreži na način da je mala promjena brzine generatora, kut rotora oba generatora se smanjuje, ali je ta promjena kuta vrlo mala. Generator na kraju izvoda gotovo da i nema promjenu kuta rotora. Napon oba generatora se smanjuje, promjena reaktivne snage je izraženija kod generatora na početku izvoda, dok u zbroju daju reaktivnu snagu koja je jednaka ukupnoj reaktivnoj snazi potrošača.

### 7.5. Slučaj 2 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Oba generatora su priključena na sabirnice koje su udaljene od mjesta otvaranja prekidača nadomjesne mreže. Aktivna snaga oba generatora iznosi 1,113 MW. Dobiveni oscilogrami su prikazani na slici 7.8.



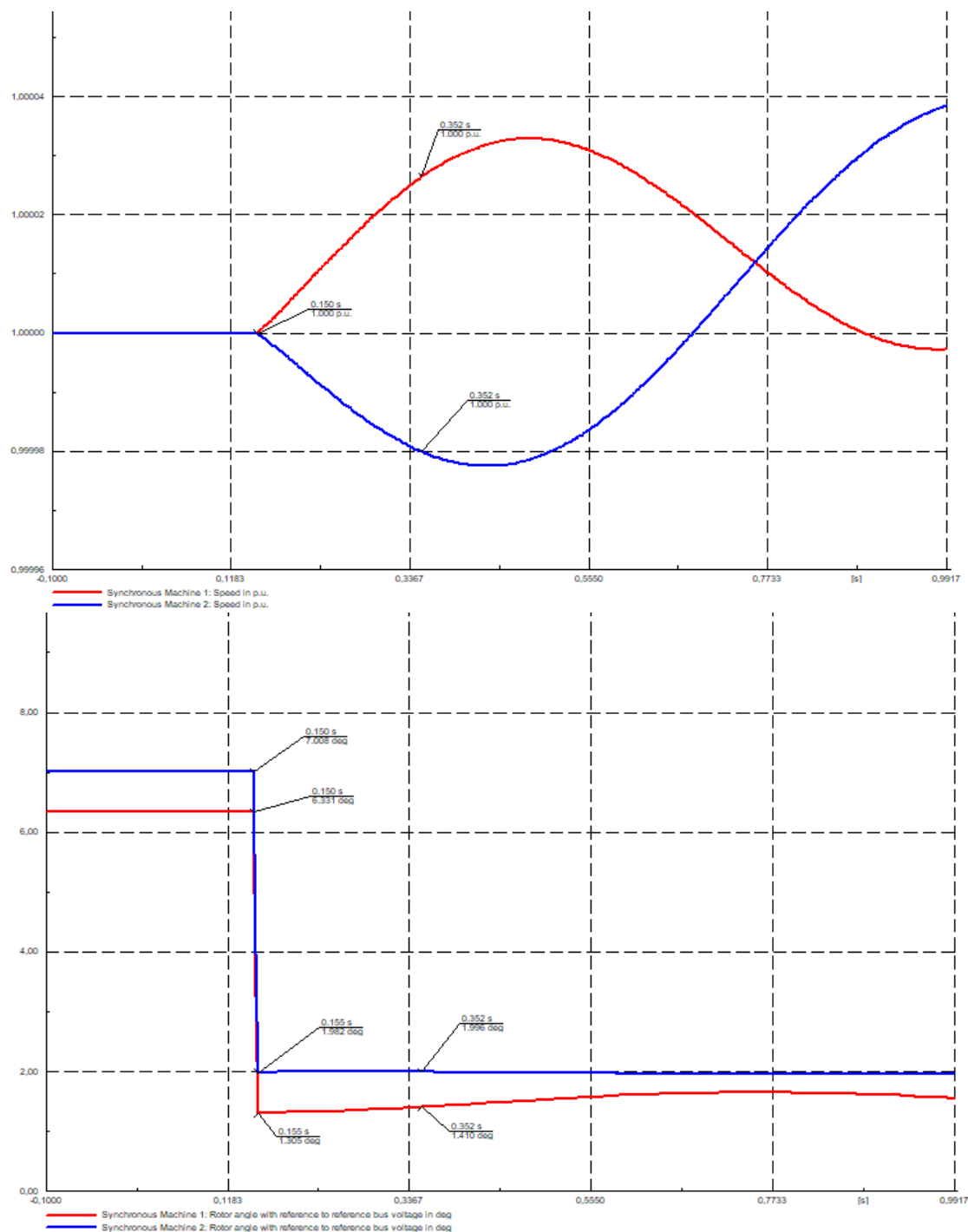


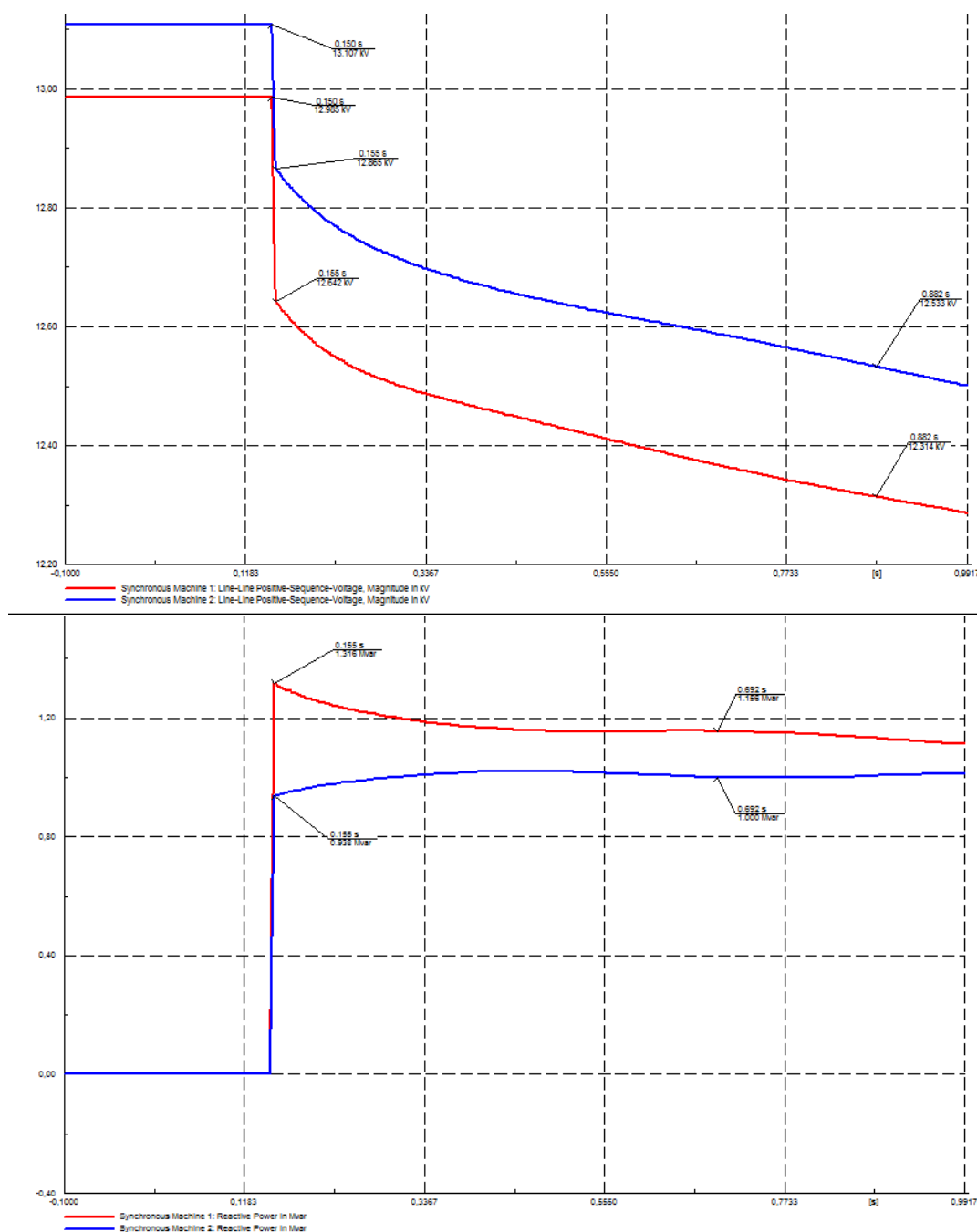
**Slika 7.8.** Oba generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga

Za slučaj 2 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW vidljivo je da nema velike razlike između promatranih veličina. Kod oba generatora mala je promjena brzine generatora, kut rotora se smanjuje (promjena je veća u odnosu na slučaj generatora na početku i kraju izvoda), napon oba generatora se smanjuje te oba generatora imaju podjednaku promjenu reaktivne snage u zbroju od 2,3 Mvar.

## 7.6. Slučaj 2 generatora na kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Oba generatora se nalaze na kraju izvoda. Aktivna snaga generatora iznosi 1,2367 MW. Rezultati su dani slikom 7.9.





**Slika 7.9.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga pri balansu snage proizvodnje i potrošnje za 2 generatora na kraju izvoda

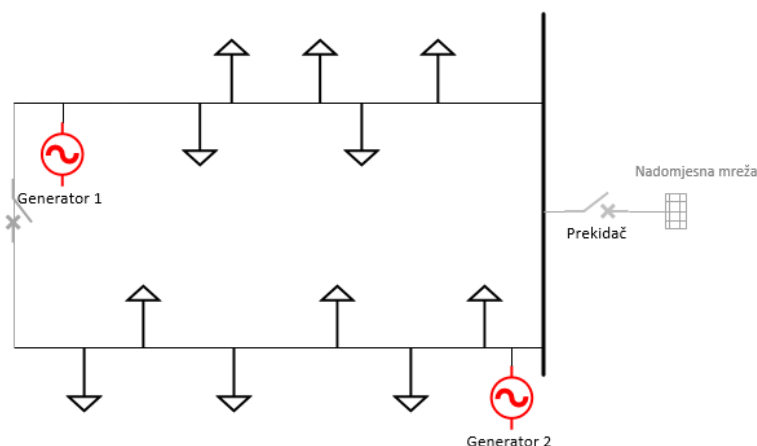
Vidljivo je da generatori koji su udaljeni od mjesta isklopa nadomjesne mreže imaju slične karakteristike promatranih parametara. Oba generatora imaju podjednaku promjenu reaktivne snage, ali i ostala 3 promatrana parametra. Također, što je generator dalje od nadomjesne mreže, veći je propad kuta rotora generatora.

Analizom utjecaja otočnog pogona na dva generatora u distributivnoj mreži, zaključak je da kod oba generatora postoji mala promjena brzine, da promjena kuta rotora ovisi o mjestu

priključka generatora isto kao i kod slučaja jednog generatora u mreži, da se kod oba generatora smanjuje napon i da se nakon isklopa nadomjesne mreže reaktivna snaga potrošača raspoređuje na oba generatora. Skok reaktivne snage generatora ovisit će najviše o mjestu priključka generatora, odnosno o udaljenosti generatora od mjesta otvaranja prekidača. Na udaljeni generator, manji je utjecaj isklopa mreže ako postoji generator koji je u blizini nadomjesne mreže. Udaljeni generator će imati puno manji skok reaktivne snage, nego generator koji je blizu sabirnice 1. U slučaju da su oba generatora blizu ili daleko od sabirnice 1, imat će podjednaku promjenu reaktivne snage.

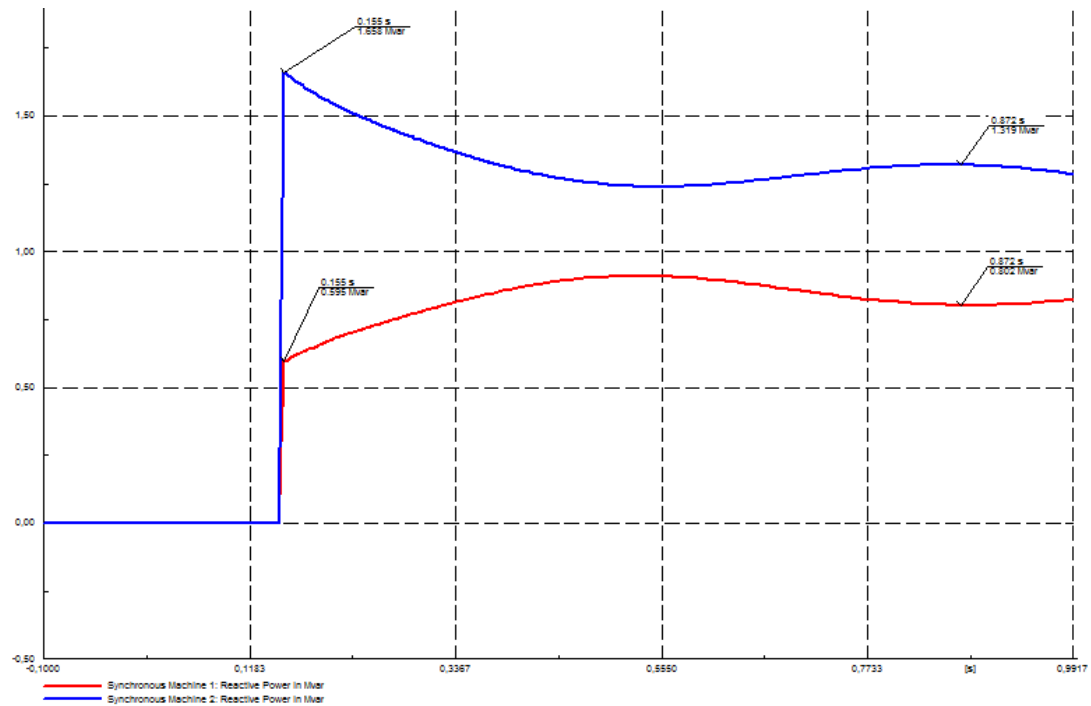
### 7.7. Utjecaj različite topologije mreže na promjenu reaktivne snage za slučaj 2 generatora

Usporedba je napravljena za slučaj kad je jedan generator blizu mjestu isklopa nadomjesne mreže, dok je drugi generator udaljen (Slika 7.10).

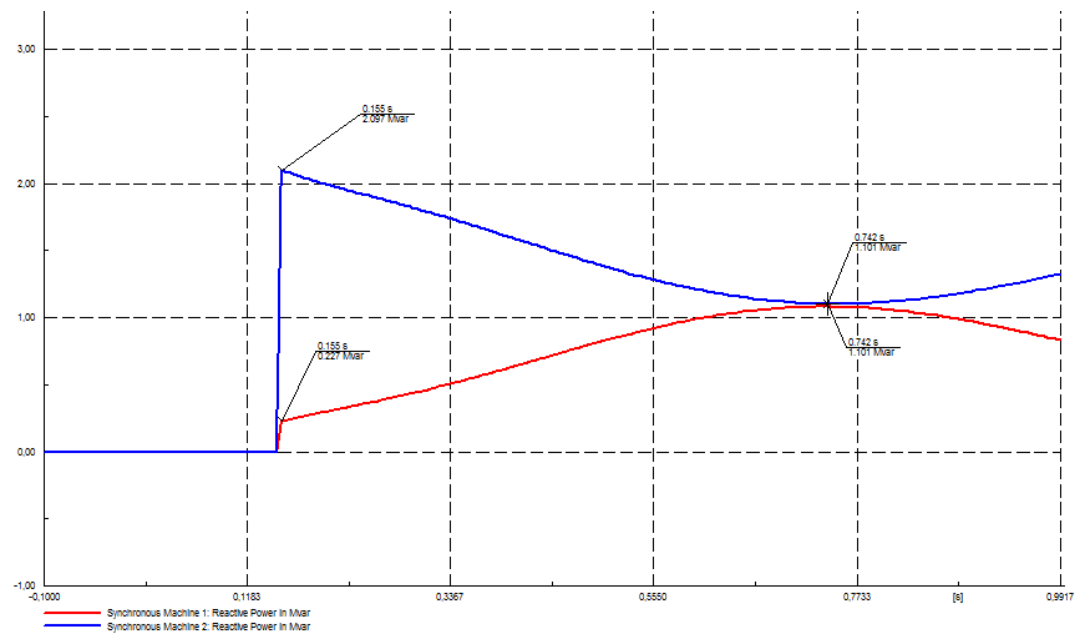


**Slika 7.10.** Radijalna mreža s priključenim 2 generatora

Isključenjem pojedinih vodova dobije se radijalna mreža a utjecaj različite topologije mreže dane su slikama 7.11 i 7.12. Aktivna snaga oba generatora je 1,855 MW. U razmatranje je uzeta samo promjena reaktivne snage kao indikator otočnog pogona.



**Slika 7.11.** Promjena reaktivne snage za prstenastu mrežu pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

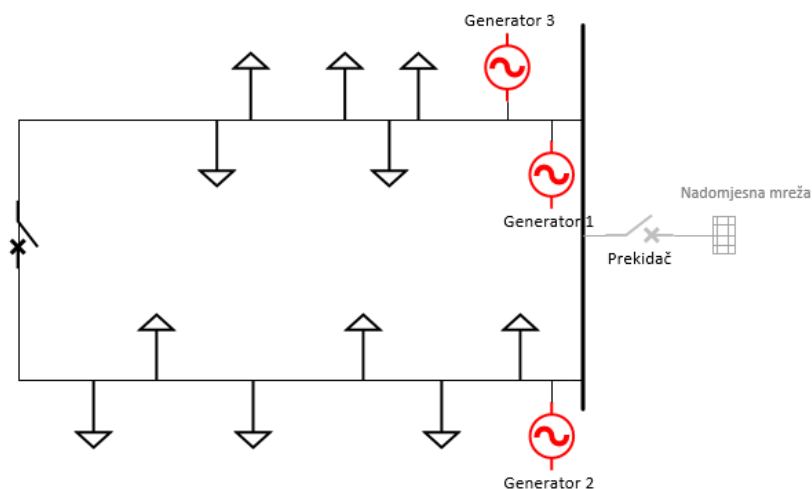


**Slika 7.12.** Promjena reaktivne snage za radialnu mrežu pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

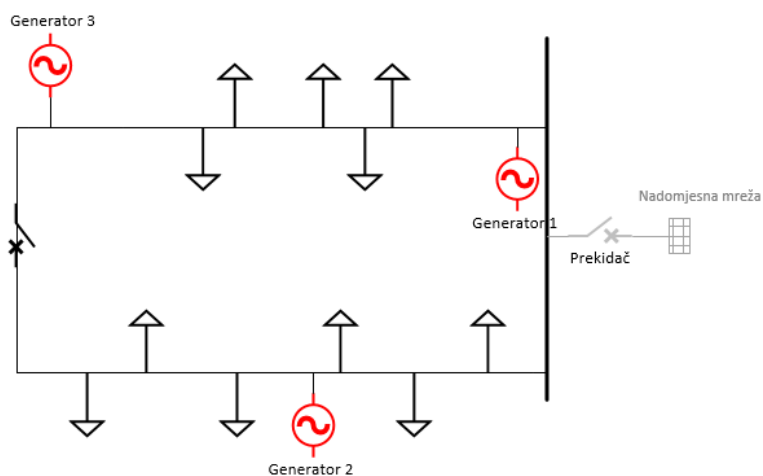
U radijalnoj mreži, bliski generator ima veći skok reaktivne snage u odnosu na onaj udaljeni i u odnosu na prstenasti tip mreže. Usporedbom dva različita tipa mreže, zaključak je da udaljeni generator u radijalnoj mreži puno manje osjeti otočni pogon u odnosu na bliži generator i u odnosu na prstenasti tip mreže. Povezivanjem sa slučajem jednog generatora, vidljivo je da ovdje mjesto priključka generatora ima najveći utjecaj na promjenu reaktivne snage, dok za slučaj jednog generatora mjesto priključka nije važno. U slučaju 2 generatora za obje topologije mreže, uvijek će ukupni zbroj reaktivne snage, koju nakon isklopa mreže generatori daju u mreži, biti oko 2.3 Mvar.

## 8. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 3 GENERATORA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

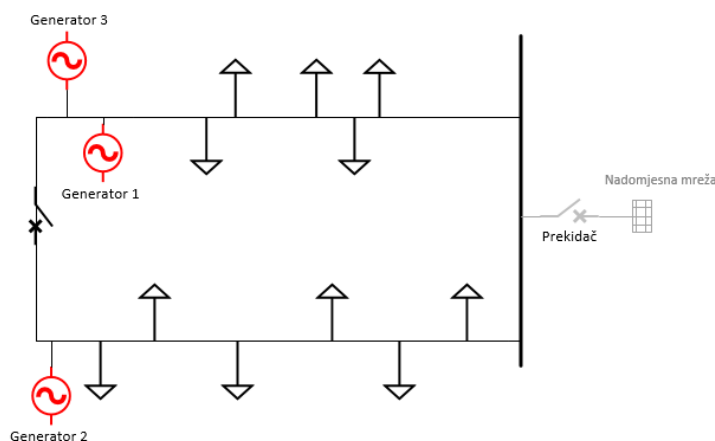
Analiza je provedena na način da su sva 3 generatora postavljena blizu mjesta isklopa nadomjesne mreže. Nakon toga 1 generator je priključen blizu nadomjesne mreže, 2. je priključen na sredinu izvoda, dok je 3. priključen na kraj izvoda. Na kraju su sva 3 generatora postavljena daleko od mjesta isklopa nadomjesne mreže, odnosno na kraju izvoda. Shematski prikaz priključaka generatora prikazani su na slikama 8.1 do 8.3.



**Slika 8.1.** Sva 3 generatora na početku izvoda



**Slika 8.2.** Generatori na početku, sredini i kraju izvoda



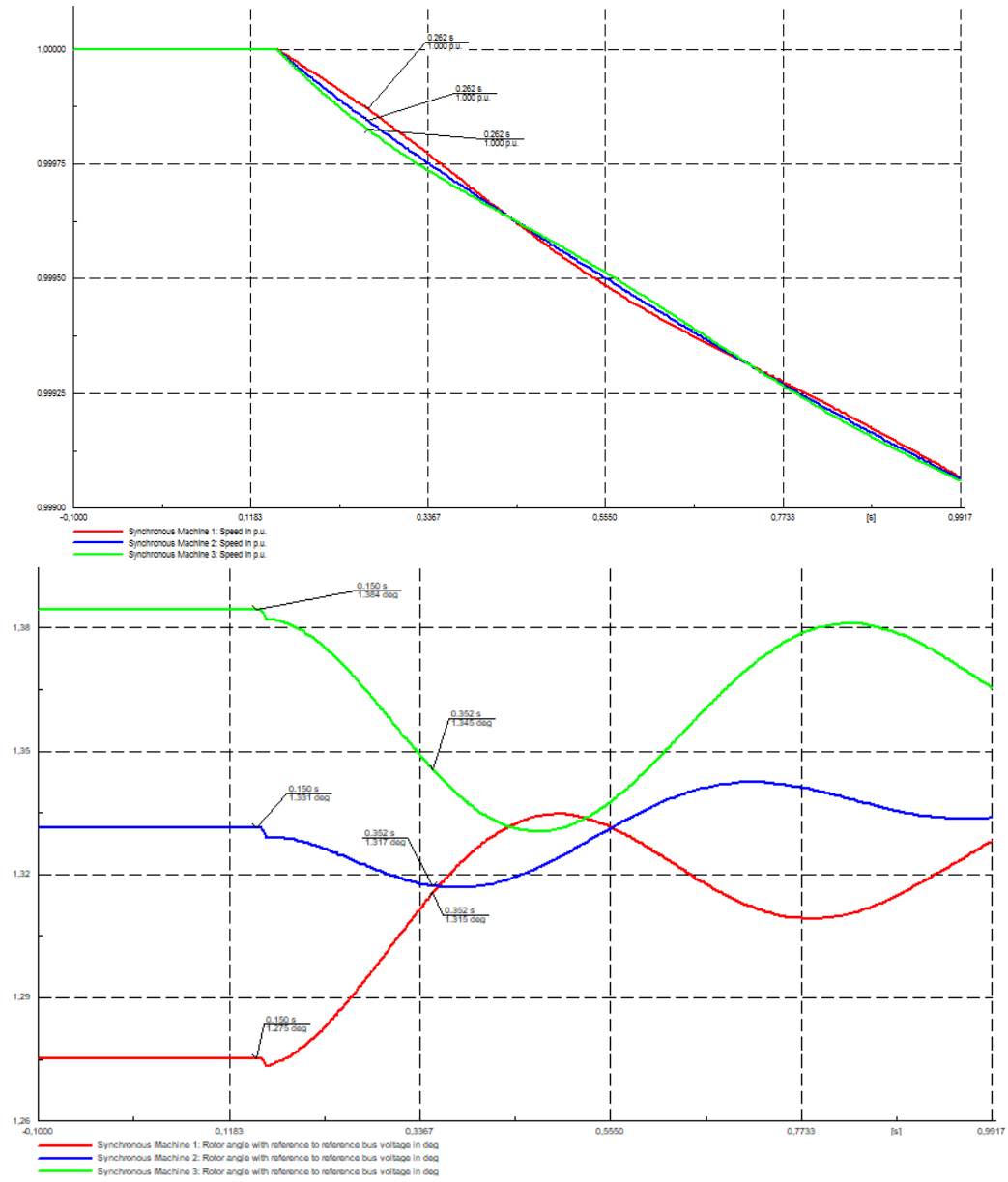
**Slika 8.3.** Sva 3 generatora na kraju izvoda

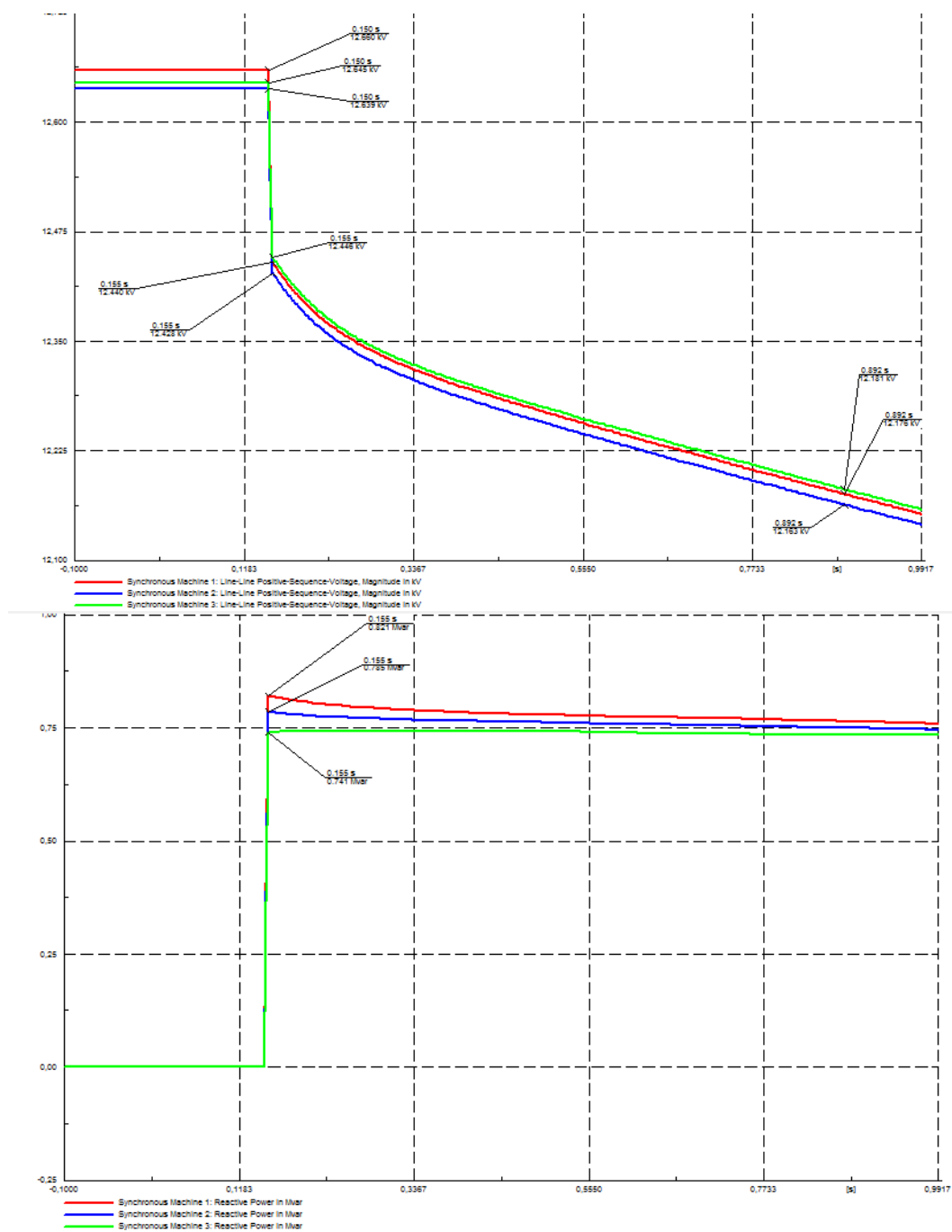
Za svako mjesto priključka generatora, aktivna snaga generatora je podešena na 30 % ukupnog opterećenja, tj na 1,113 MW. Nakon toga je aktivna snaga svih generatora skalirana na balans snage proizvodnje i potrošnje pa je aktivna snaga svakog generatora postavljena na 1,2367 MW. Sve simulacije su odrađene za prstenastu konfiguraciju mreže. Također je ispitan slučaj radijalne i prstenaste mreže, tj. utjecaj različite konfiguracije mreže na promatrane parametre generatora (brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga).

### 8.1. Slučaj 3 generatora na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Generatori su postavljeni blizu mjestu isklopa mreže. Aktivna snaga svakog generatora iznosi 1,113 MW. Rezultati su prikazani na slikom 8.4.

## 8. Analiza osjetljivosti otočnog pogona za 3 generatora u distributivnoj mreži



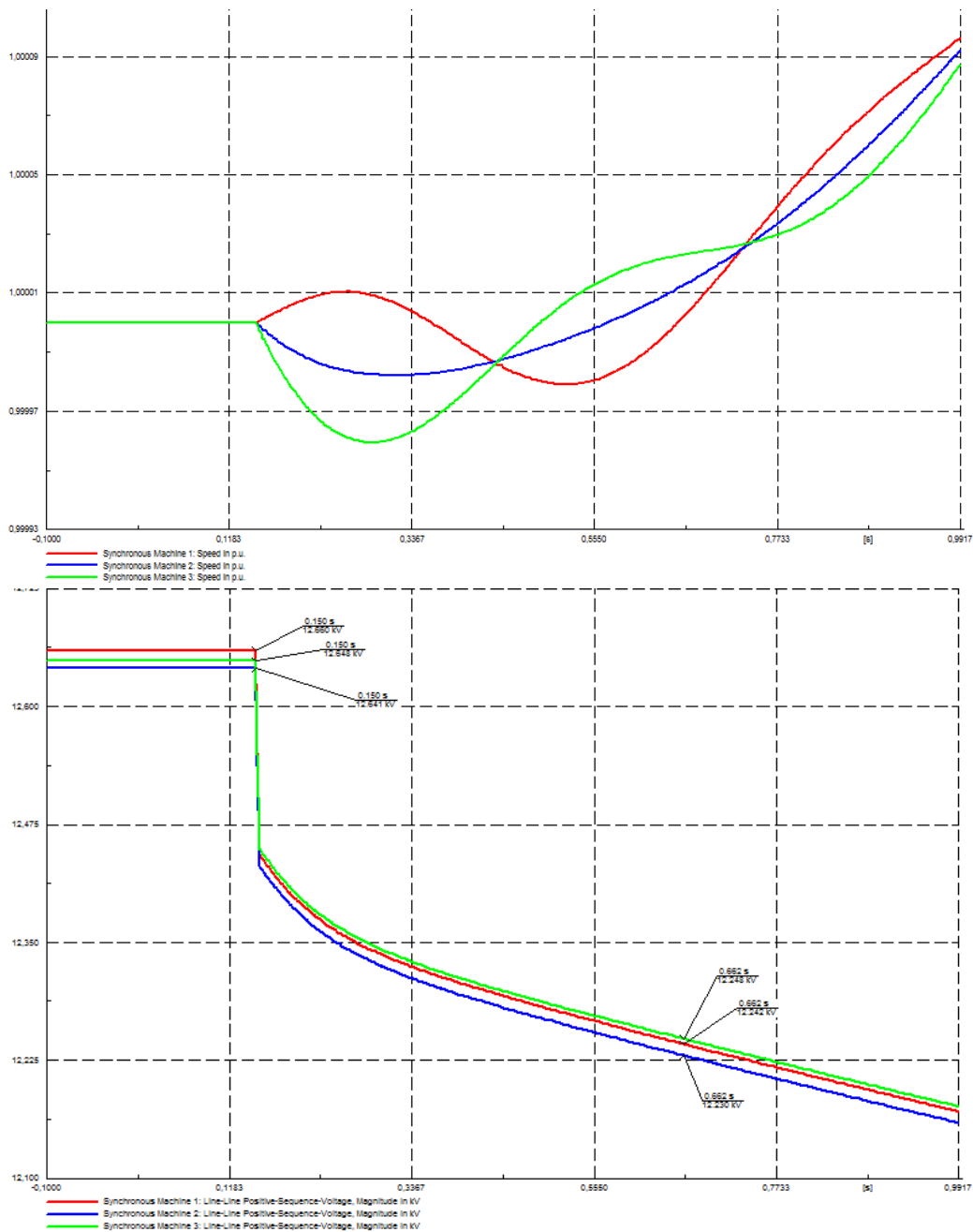


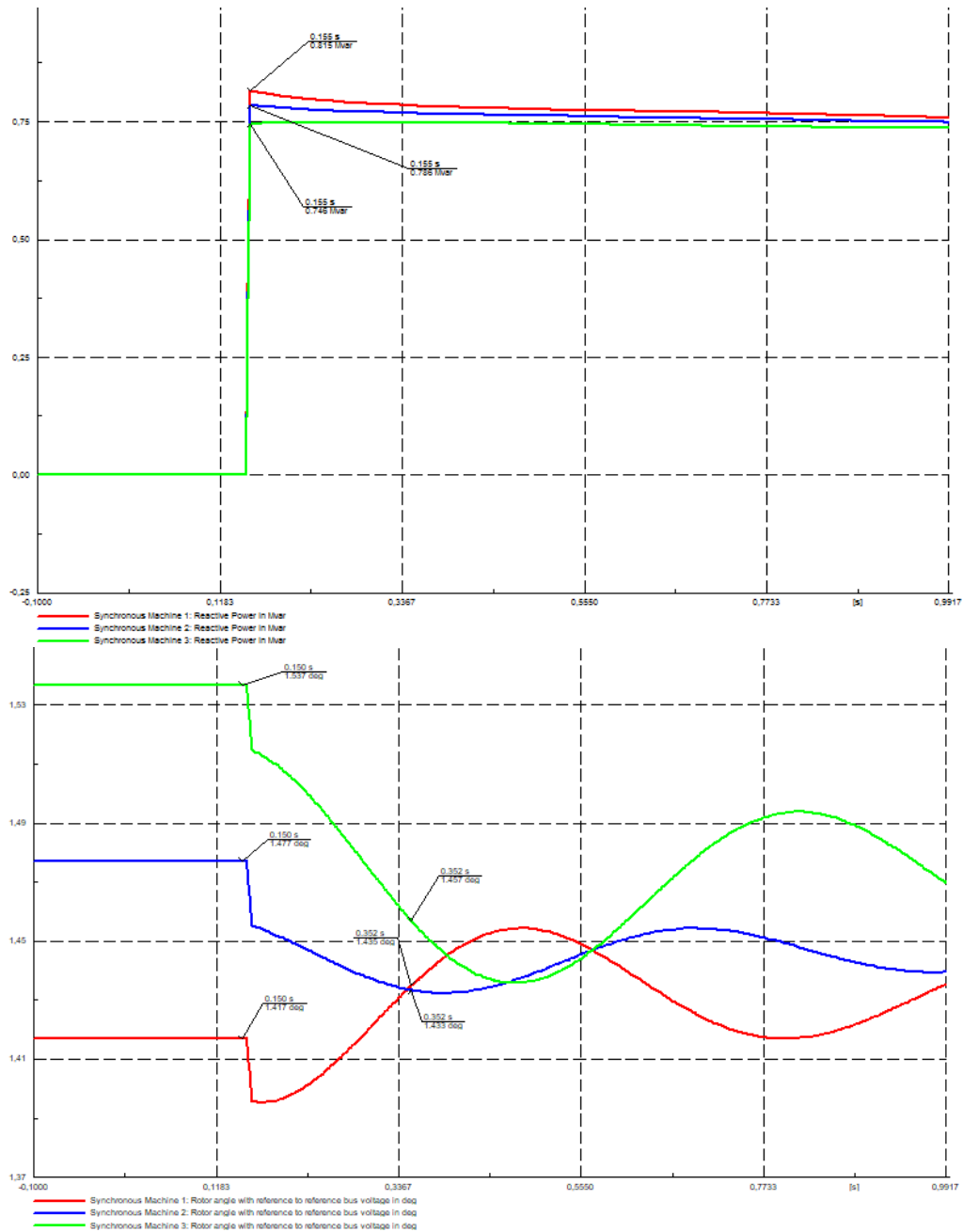
**Slika 8.4.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora za aktivnu snagu 30 % ukupnog opterećenja za 3 generatora na početku izvoda

Za 3 generatora na početku izvoda, pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, brzina generatora se mijenja u neznatnoj mjeri za sva 3 generatora. Također, isto vrijedi i za kuteve rotora sva 3 generatora. Ovakvo ponašanje generatora može se usporediti i sa slučajem 2 generatora na početku izvoda, gdje je također mala promjena kuta rotora. Napon sva 3 generatora je u padu, dok sva 3 generatora imaju podjednaku promjenu reaktivne snage u ukupnom zbroju od 2,3 Mvar.

## 8.2. Slučaj 3 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora iznosi 1,2367 MW. Rezultati su vidljivi na slici 8.5.



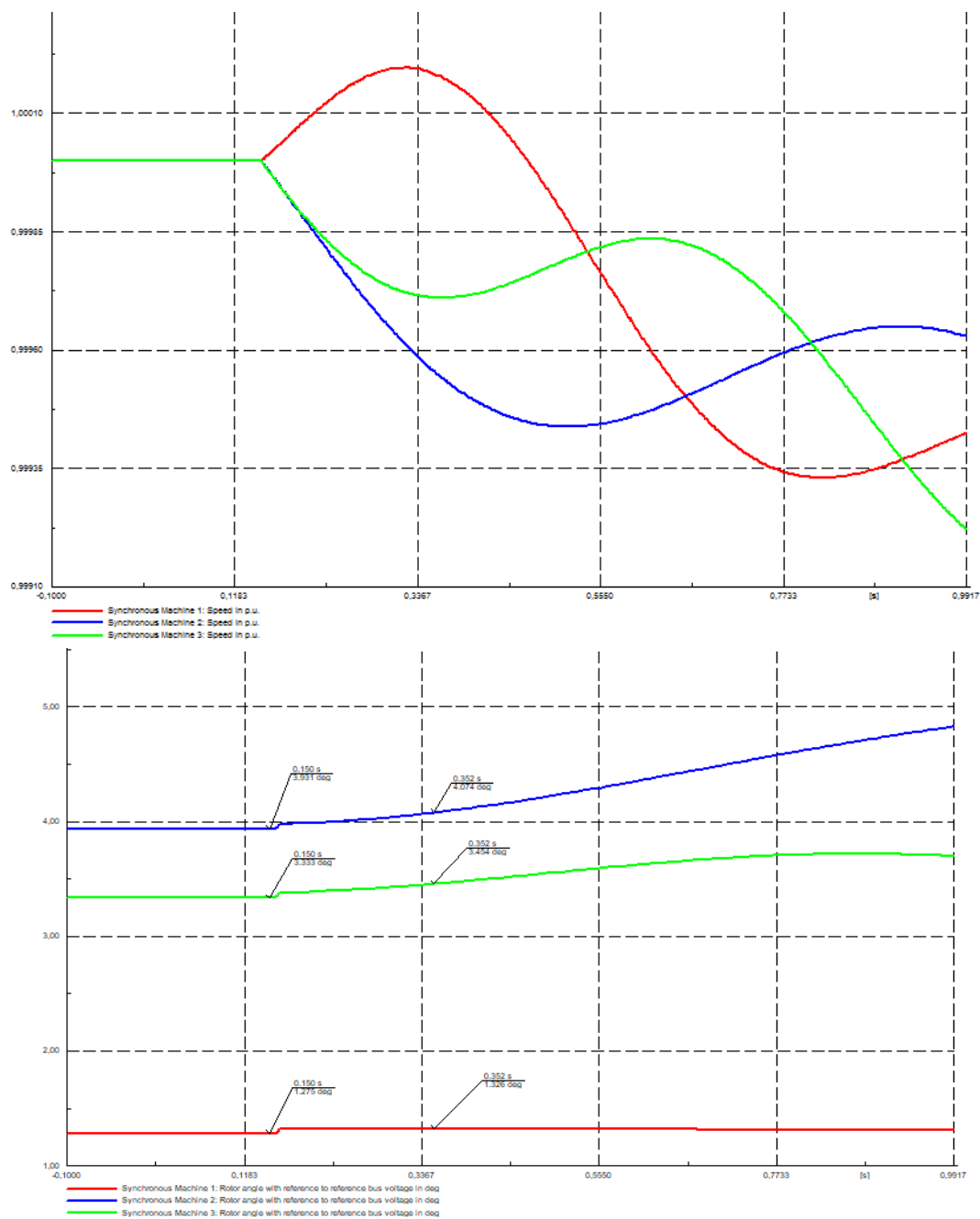


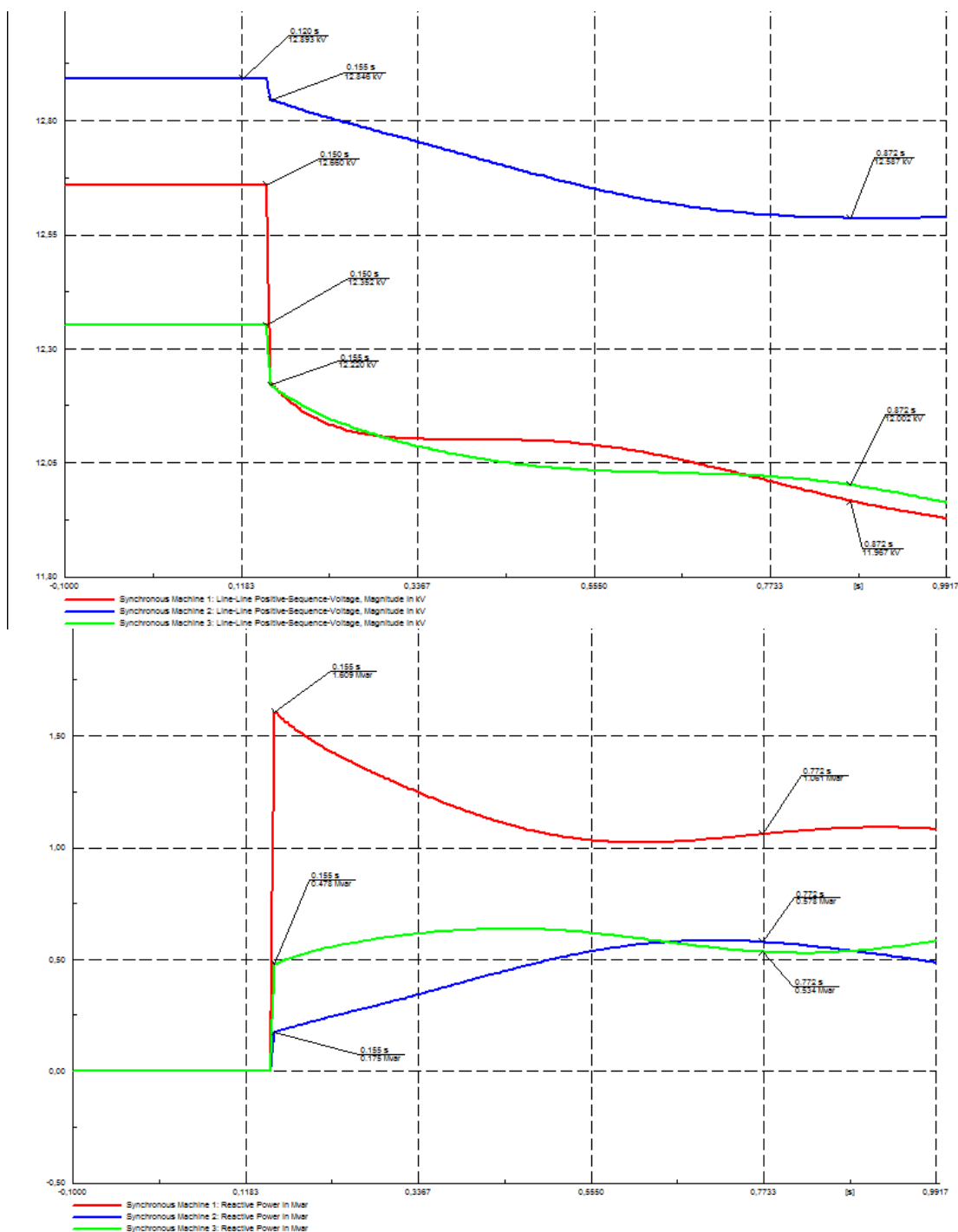
**Slika 8.5.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora za balans snage proizvodnje i potrošnje za 3 generatora na početku izvoda

Za balans snage, 3 generatora u mreži ponašaju se jednako kao i slučaj 2 generatora, gdje postoji neznatna promjena brzine generatora i kuta rotora, napon pada i skok reaktivne snage sva 3 generatora je podjednak i daje ukupnu reaktivnu snagu potrošača.

### 8.3. Slučaj 3 generatora na početku, sredini i kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Generatori su postavljeni na početak, sredinu i kraj izvoda. Aktivna snaga generatora je 1,113 MW. Dobiveni rezultati su na slici 8.6.





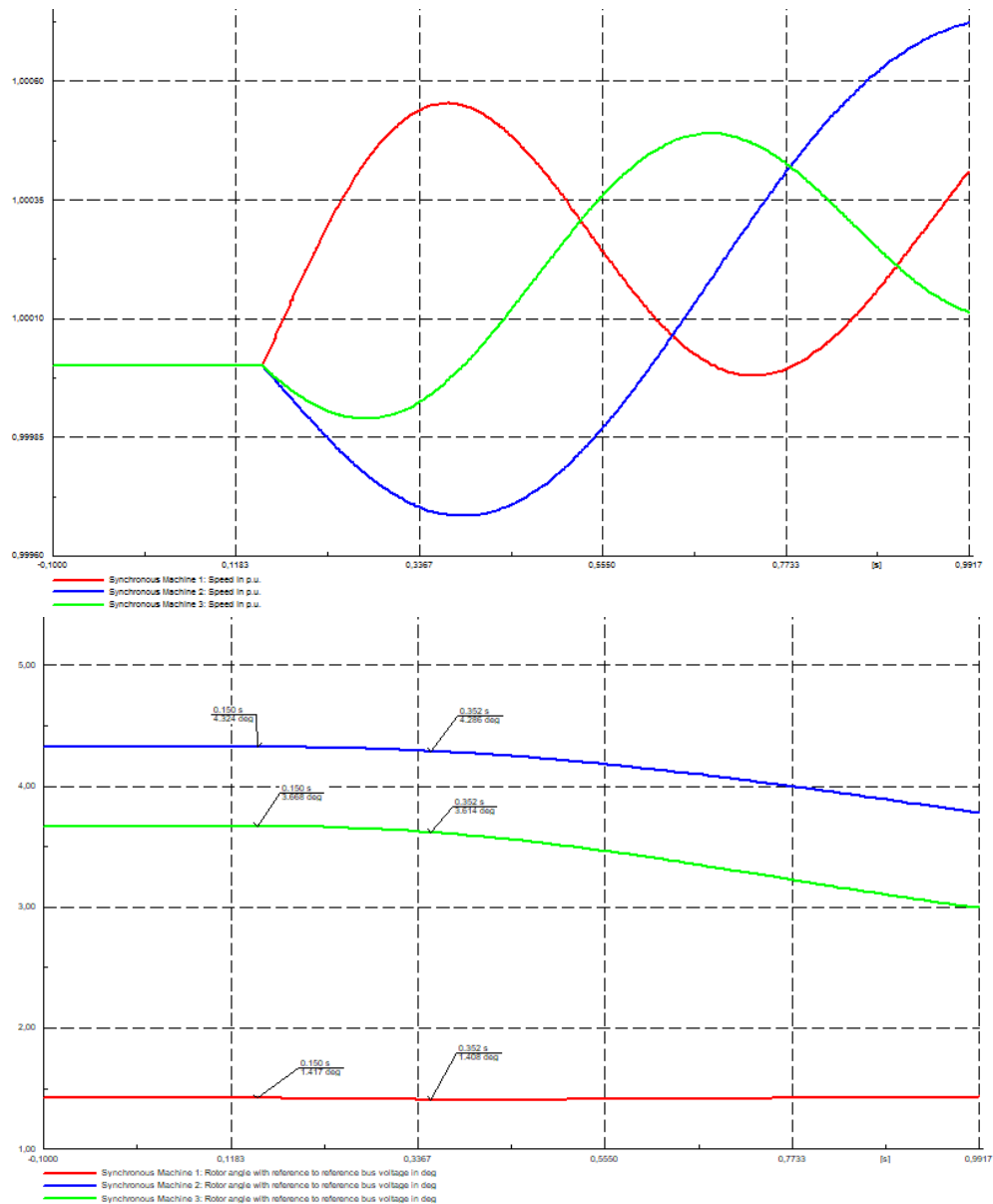
**Slika 8.6.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora pri aktivnoj snazi od 1,113 MW za generatora na početku, sredini i kraju izvoda

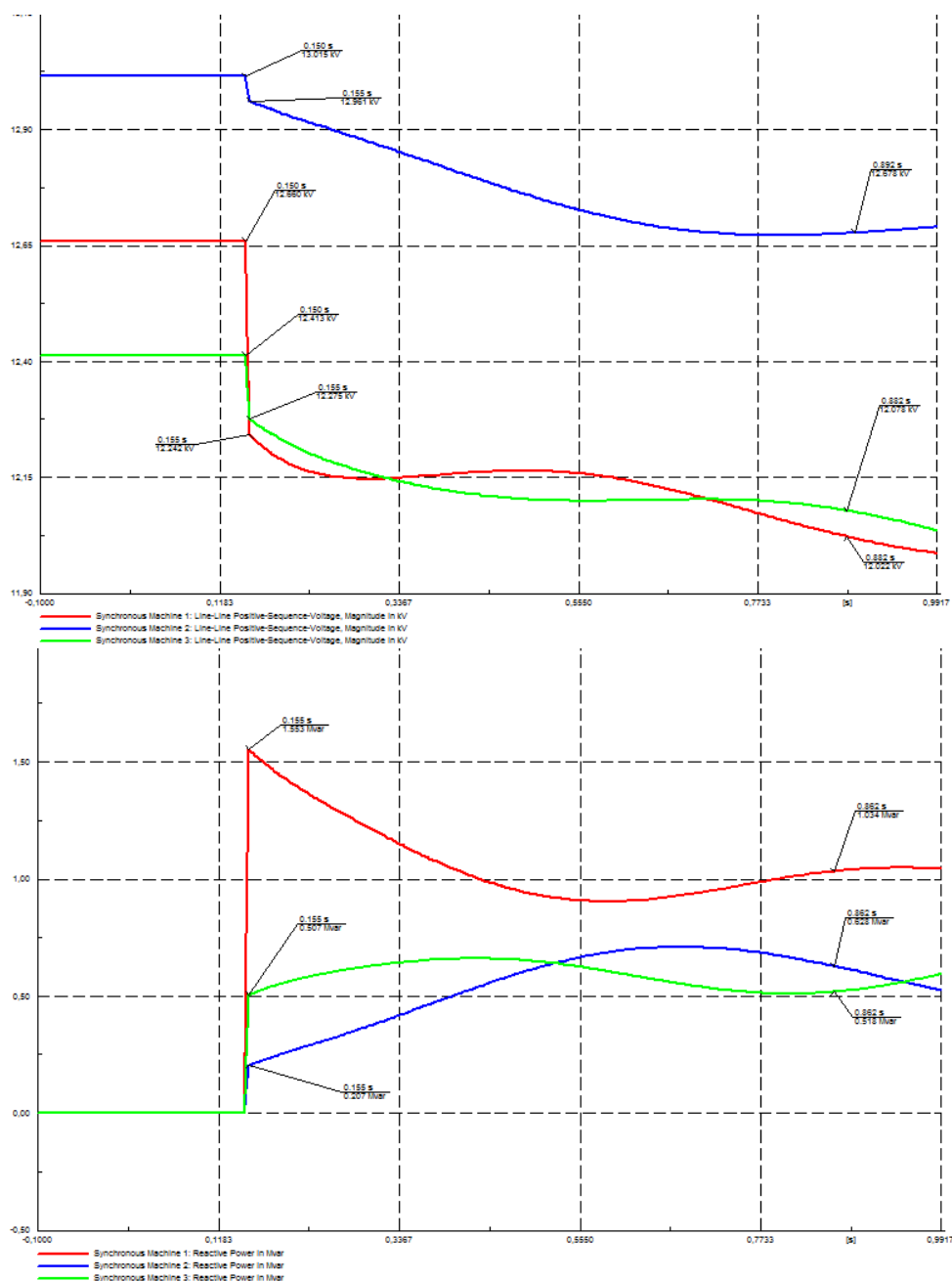
Za 3 generatora na početku, sredini i kraju izvoda može se povući poveznica s 2 generatora na početku i kraju izvoda jer je iz oscilograma vidljiva mala promjena brzine generatora i kuta rotora. Napon svih generatora pada. Najveći napon je na udaljenom generatoru jer nema mogućnost regulacije napona. Skok reaktivne snage je najveći kod generatora na početku izvoda,

a najmanji na kraju izvoda. Ukupno sva 3 generatora daju u mrežu ukupnu vrijednost reaktivne snage potrošača.

#### 8.4. Slučaj 3 generatora na početku, sredini i kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora iznosi 1,2367 MW. Oscilogrami su prikazani slikom 8.7.



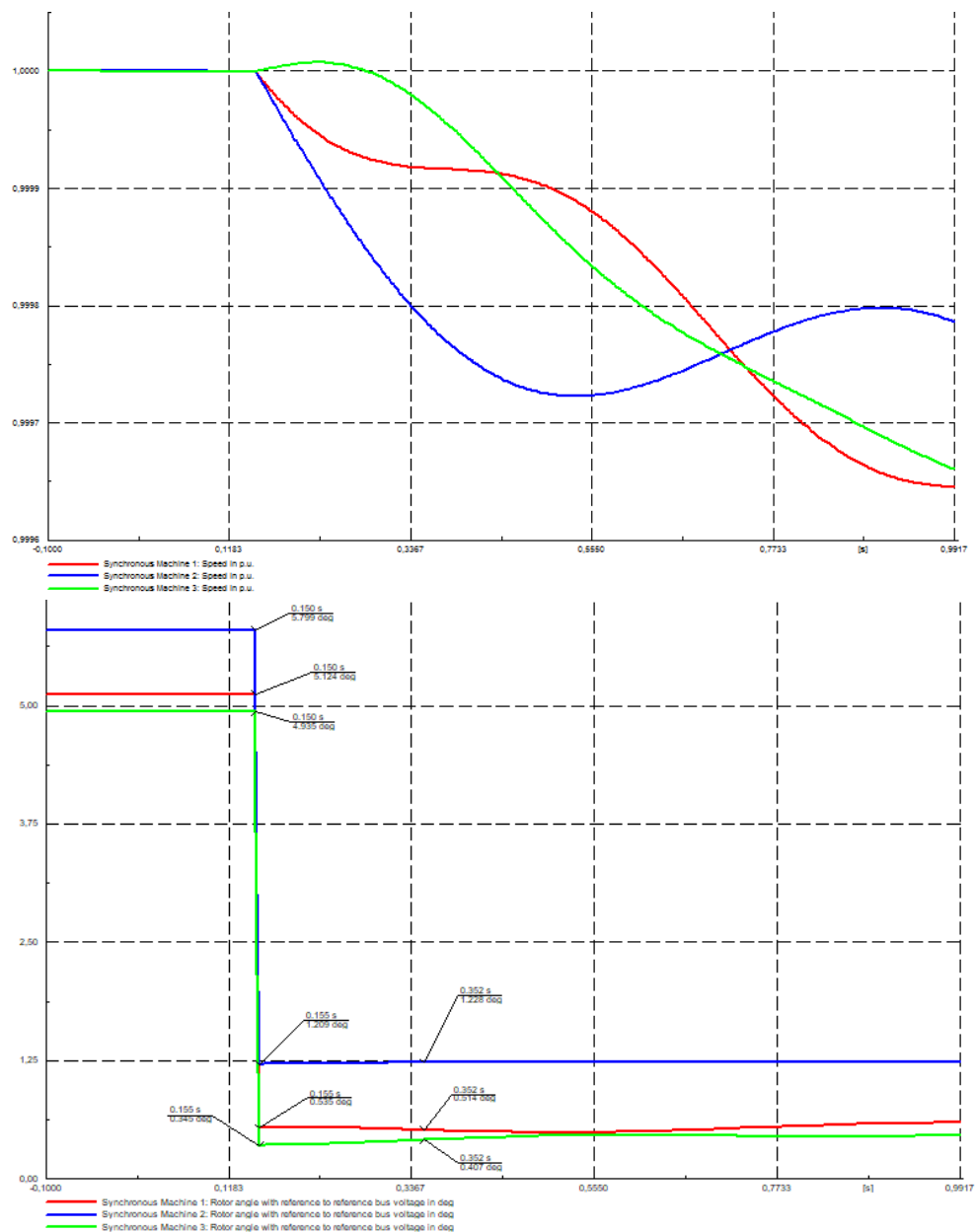


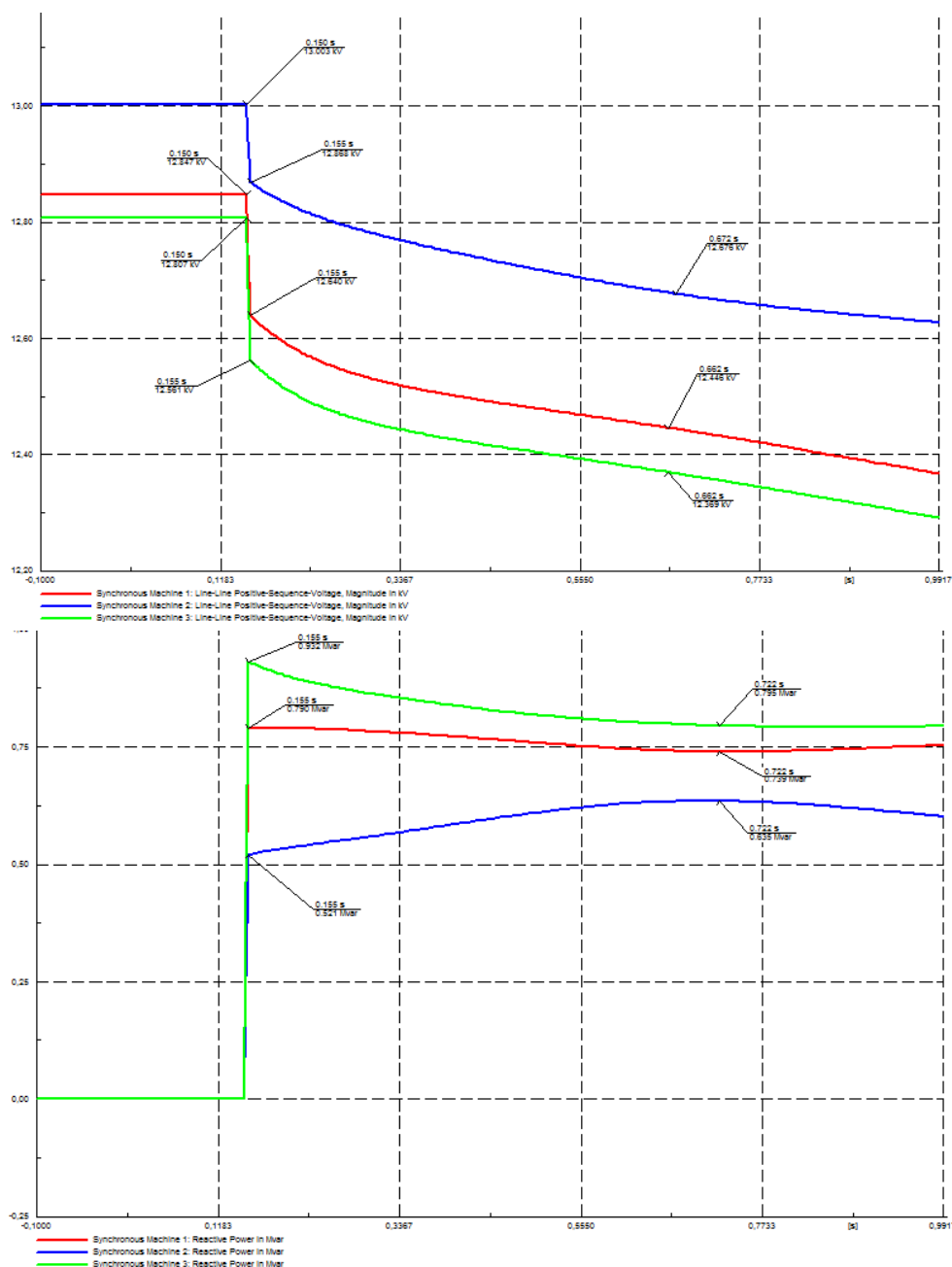
**Slika 8.7.** Brzina, kut rotora, reaktivna snaga i napon pri balansu snage proizvodnje i potrošnje za generatore na početku, sredini i kraju izvoda

Iz grafova se zaključuje da se ponašanje 3 generatora može usporediti s ponašanjem 2 generatora jer se i za 3 generatora kut rotora neznatno mijenja, kao i brzina. Napon se smanjuje, najbliži generator ima najveći skok reaktivne snage nakon otvaranja prekidača na sabirnici 1 jer je najbliži nadomjesnoj mreži. Najmanji skok reaktivne snage ima generator na sabirnici 11 jer je u ovoj prstenastoj konfiguraciji mreže najudaljeniji od mjesta isklopa. Također, generator 2 ima najveći napon koji je veći od nazivnog iz razloga što navedeni čvorovi na kojima su priključeni generatori nemaju mogućnost regulacije napona.

### 8.5. Slučaj 3 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Smatra se da su generatori daleko od mjesta isklopa nadomjesne mreže. Aktivna snaga generatora je 1,113 MW a rezultati su dani slikom 8.8.

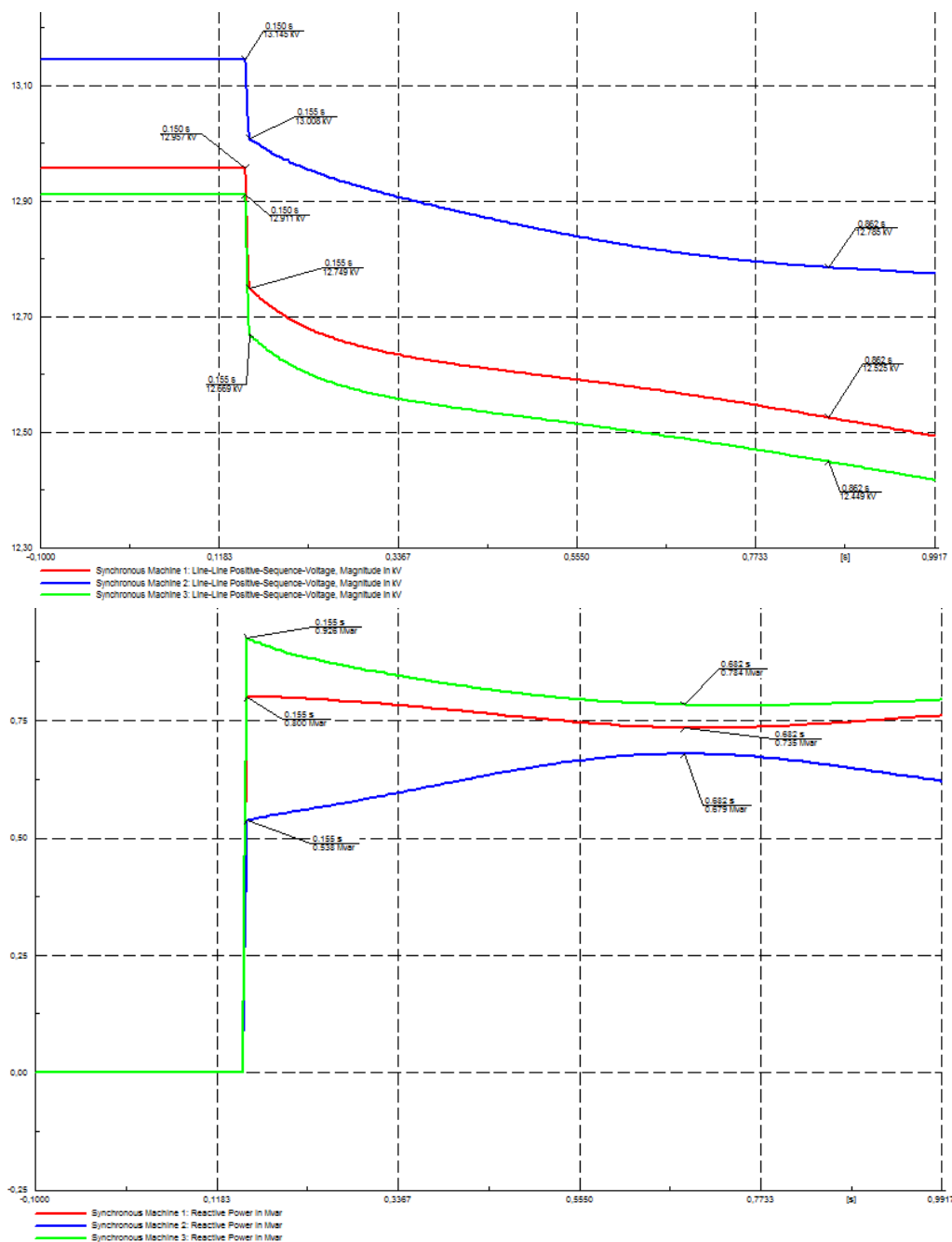




**Slika 8.8.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga za aktivnu snagu od 1,113 MW za 3 generatora na kraju izvoda

Za 3 generatora na kraju izvoda vidljiva je mala promjena brzine sva 3 generatora, kut rotora se smanjuje. Promjena kuta rotora je u ovom slučaju najizraženija, baš kao za slučaj 2 generatora na kraju izvoda. Napon je u padu, a promjena reaktivne snage podjednaka je za 1. i 3. generator, dok je kod drugog generatora manja promjena.





**Slika 8.9.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga pri balansu snage proizvodnje i potrošnje za generatore na kraju izvoda

Iz grafova je vidljivo da nema velike razlike u ponašanju generatora, u odnosu na iznos aktivne snage svakog generatora od 1,113 MW, te u odnosu na balans snage 2 generatora na kraju izvoda. Može se zaključiti da će se generatori jednako odnositi na pojavu otočnog pogona ako su im mjesta priključka dovoljno blizu.

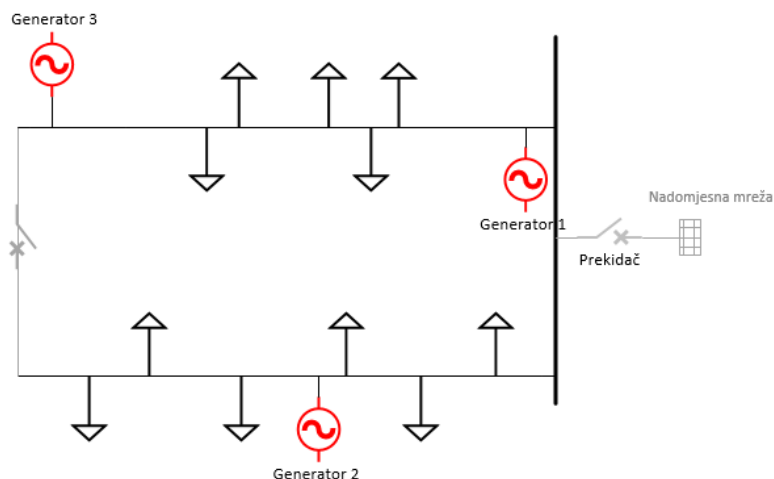
Analizom svih varijacija koje su odrađene za 3 generatora, zaključak je da je promjena brzine generatora u svim slučajevima neznatna, da je u svim slučajevima vidljivo smanjenje

napona te da se kut rotora malo mijenjao, osim za slučaj kada su svi generatori na kraju izvoda. Reaktivna snaga potrošača raspoređuje se na sva 3 generatora ovisno o mjestu gdje se priključuju. Za generatore koji su blizu jedan drugome, neovisno da li se nalazi blizu mjestu isklopa, na kraju izvoda ili na sredini, promatrani parametri će imati približno iste promjene. Reaktivna snaga će se ravnomjerno rasporediti na sva 3 generatora.

Za slučaj kada su generatori međusobno udaljeni najveći skok reaktivne snage ima generator na početku izvoda, a najmanji ima generator na kraju. Promjena kuta rotora ovisit će o broju generatora u mreži na način da, ako postoji generator koji je bliže nadomjesnoj mreži, generator na kraju izvoda će imati vrlo malu promjenu kuta rotora. U slučaju da su svi generatori na kraju izvoda, svi generatori će imati propad kuta za oko  $5^\circ$ .

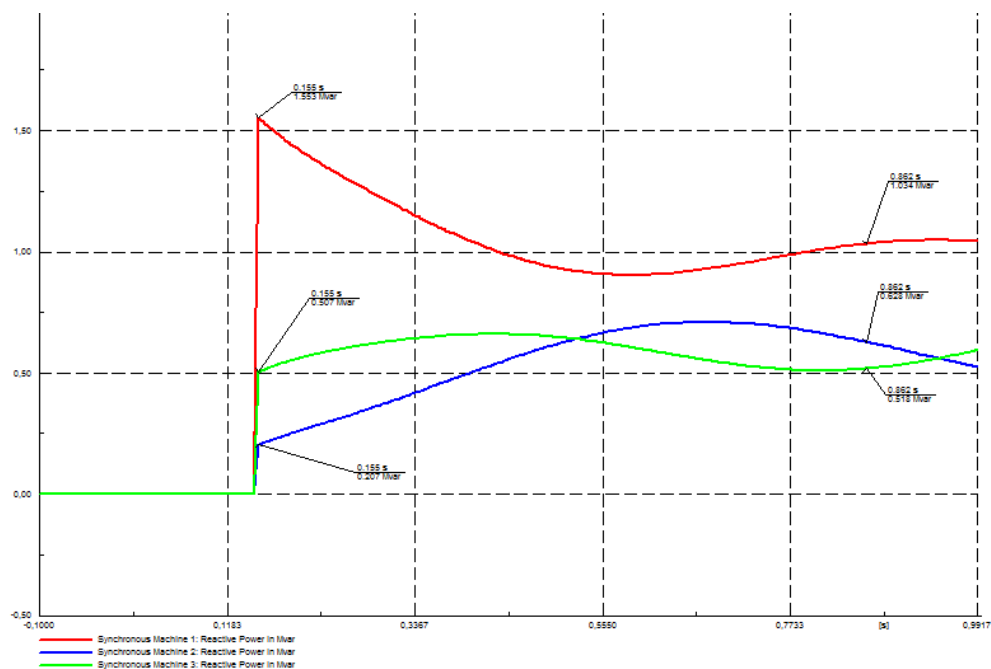
### 8.7. Usporedba utjecaja različite topologije mreže na promjenu reaktivne snage za 3 generatora

Analiziran je utjecaj konfiguracije mreže na promjenu reaktivne snage generatora pri balansu snage. Snaga generatora je 1,2367 MW. Shematski prikaz generatora prikazan je slikom 8.10.

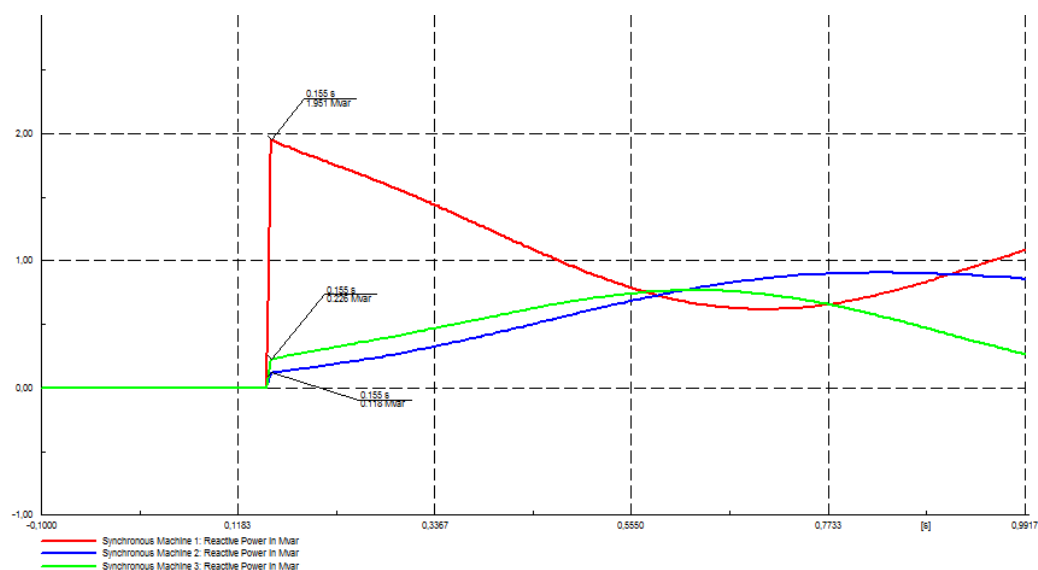


**Slika 8.10.** Radijalna mreža s priključena 3 generatora

Generatori su postavljeni na početak, sredinu i kraj izvoda. Rezultati za prstenastu i radijalnu mrežu prikazani su slikama 8.11 i 8.12.



Slika 8.11. Promjena reaktivne snage za prstenastu konfiguraciju mreže

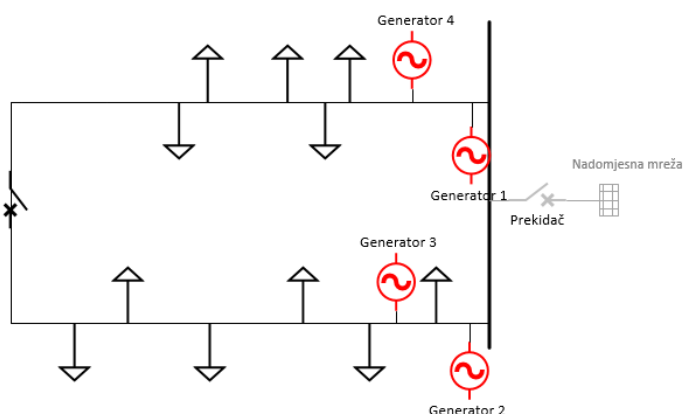


Slika 8.12. Promjena reaktivne snage za radijalnu konfiguraciju mreže

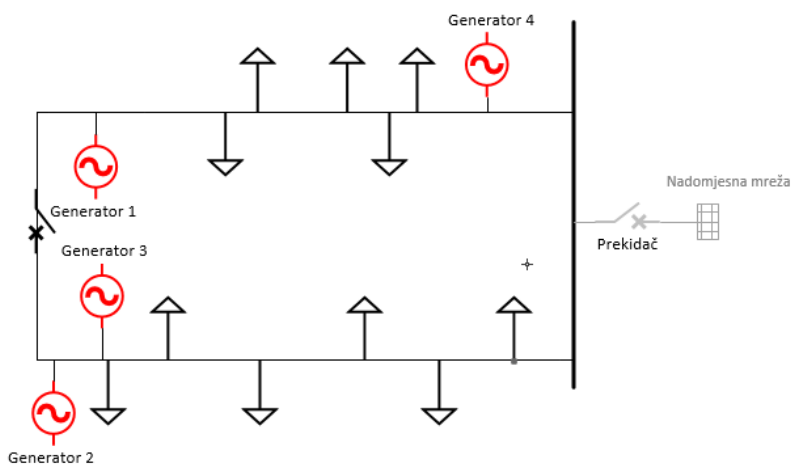
Iz grafova je vidljivo da konfiguracija mreže ima velik utjecaj na promjenu reaktivne snage u mreži nakon isključivanja nadomjesne mreže. Kod prstenaste mreže veću promjenu reaktivne snage imaju generatori na sredini i kraju izvoda zbog toga što dodatni vodovi, kojima se tvori prsten, omogućuju da udaljeniji generator osjeti pojavu otočnog pogona, nego što je to slučaj za radijalnu mrežu kod koje je ta promjena reaktivne snage, kod udaljenih generatora, puno manje izražena. Zbog toga će generatori, koji su bliže mjestu otvaranja prekidača, imati veći skok reaktivne snage za radijalni tip mreže.

## 9. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OTOČNOG POGONA ZA 4 GENERATORA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

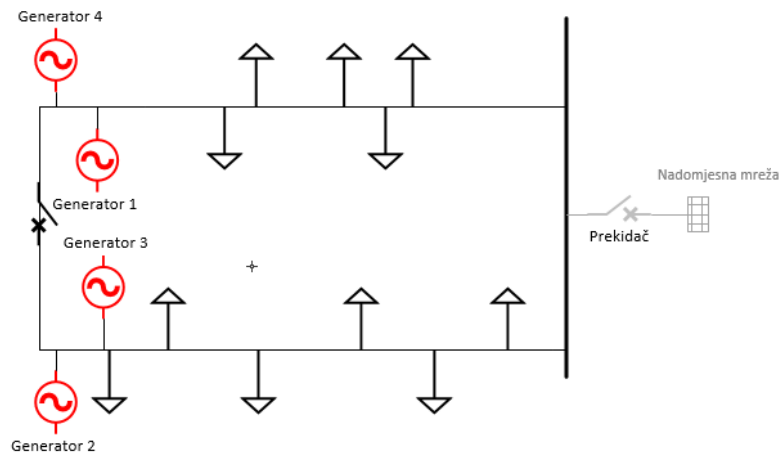
Analiza je provedena sa 4 generatora kojima je mijenjana lokacija priključka na mrežu. U prvom slučaju sva 4 generatora su postavljena blizu mjesta isklopa nadomjesne mreže. 2. slučaj je bio da su 3 generatora udaljena od nadomjesne mreže, a 1 generator je blizu mjesta isklopa. 3. slučaj je bio da su sva 4 generatora udaljena od mjesta otvaranja prekidača. Za sva 3 slučaja dobiveni su oscilogrami za aktivnu snagu svakog generatora od 1,113 MW i za balans snage proizvodnje i potrošnje, odnosno u ovom slučaju 0,9275 MW. Prikazane simulacije su odrađene za prstenastu konfiguraciju mreže. Shematski prikaz priključaka generatora vidljiv je na slikama 9.1 do 9.3.



**Slika 9.1.** Sva 4 generatora na početku izvoda



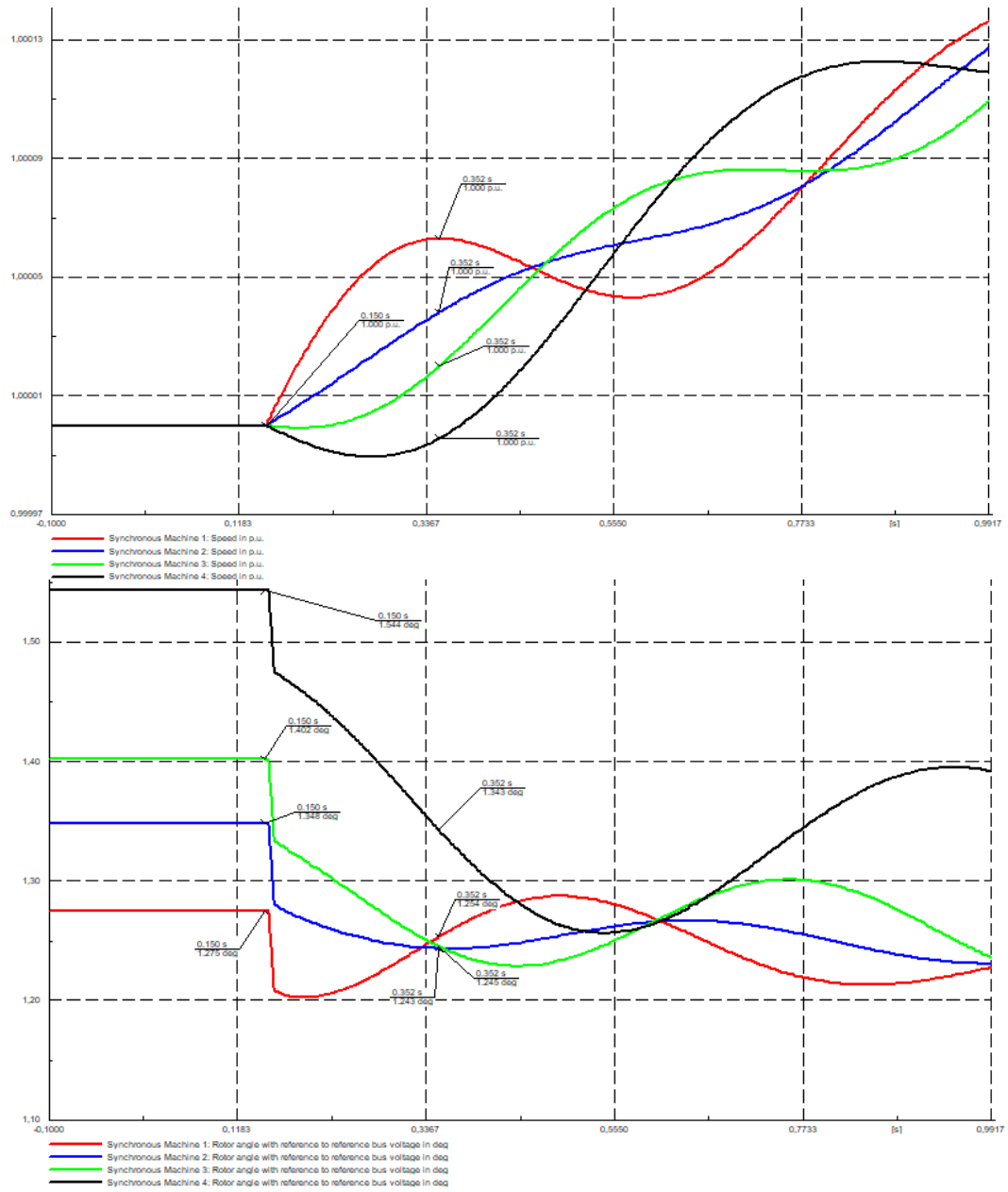
**Slika 9.2.** Generator 4 na početku izvoda, generatori 1, 2, 3 na kraju izvoda

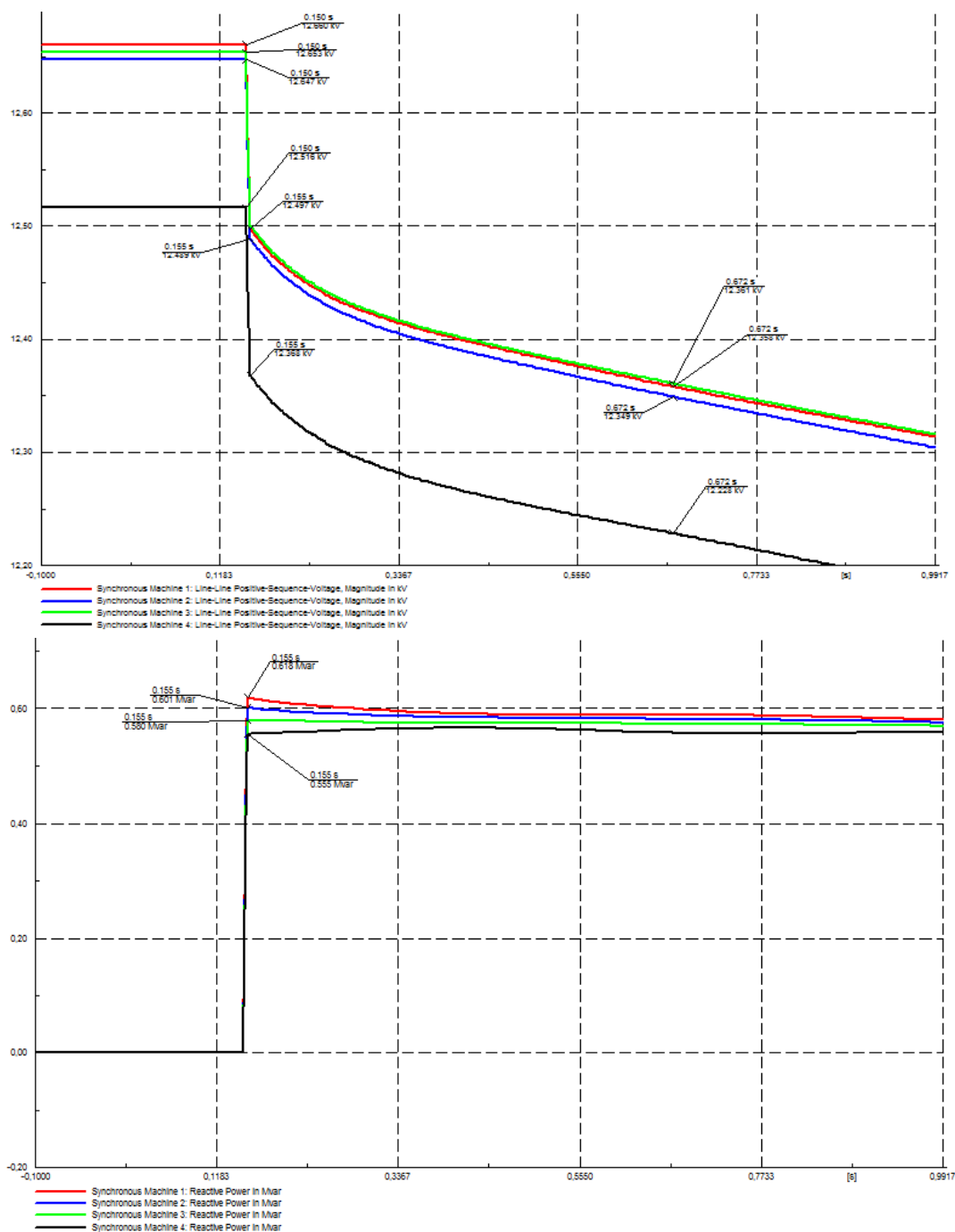


**Slika 9.3.** Sva 4 generatora na kraju izvoda

### 9.1. Slučaj 4 generatora na početku izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Generatori su postavljeni na početak izvoda, blizu mjesta isklopa nadomjesne mreže. Aktivna snaga svakog generatora iznosi 1,113 MW. Rezultati su prikazani na slici 9.4.



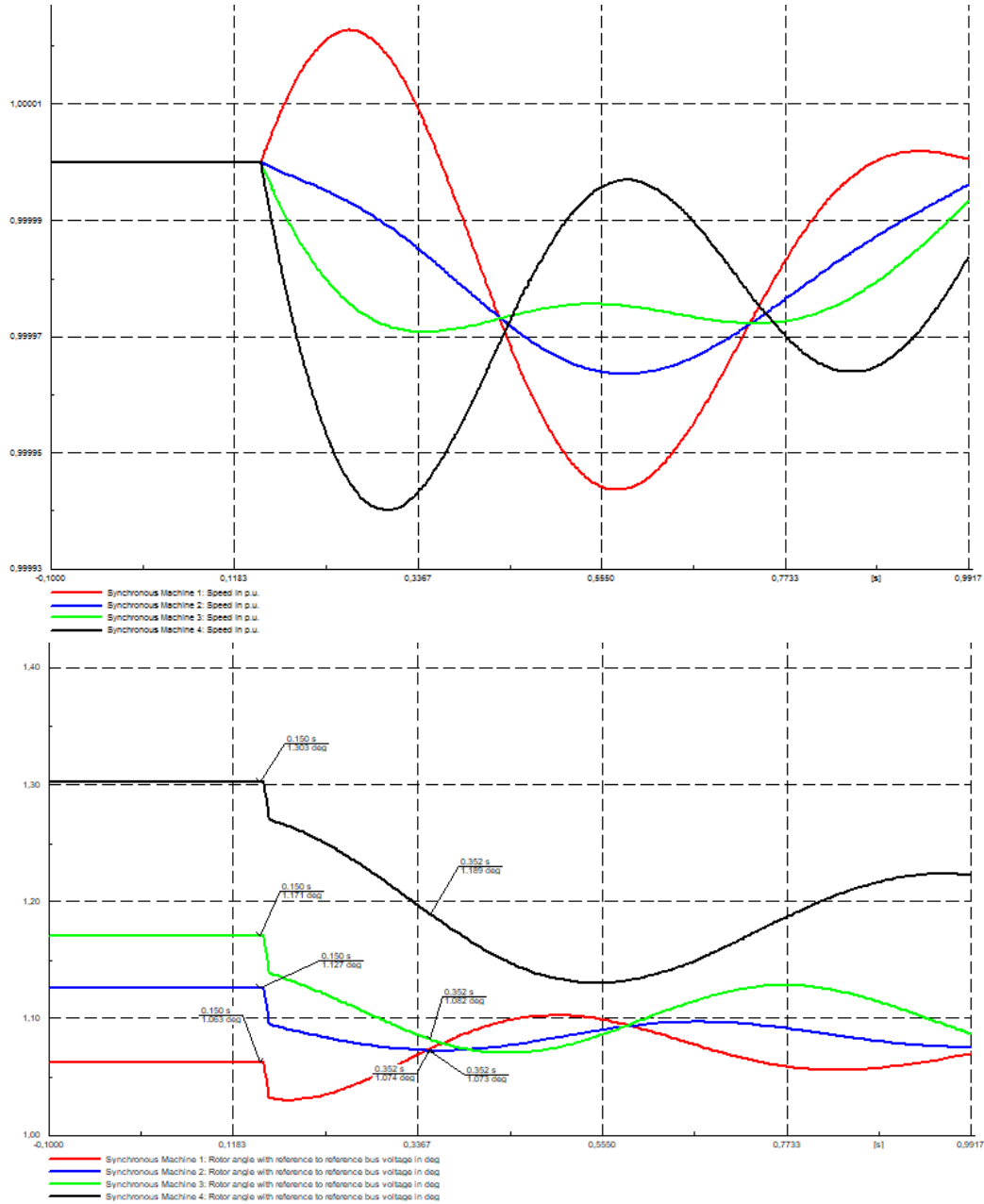


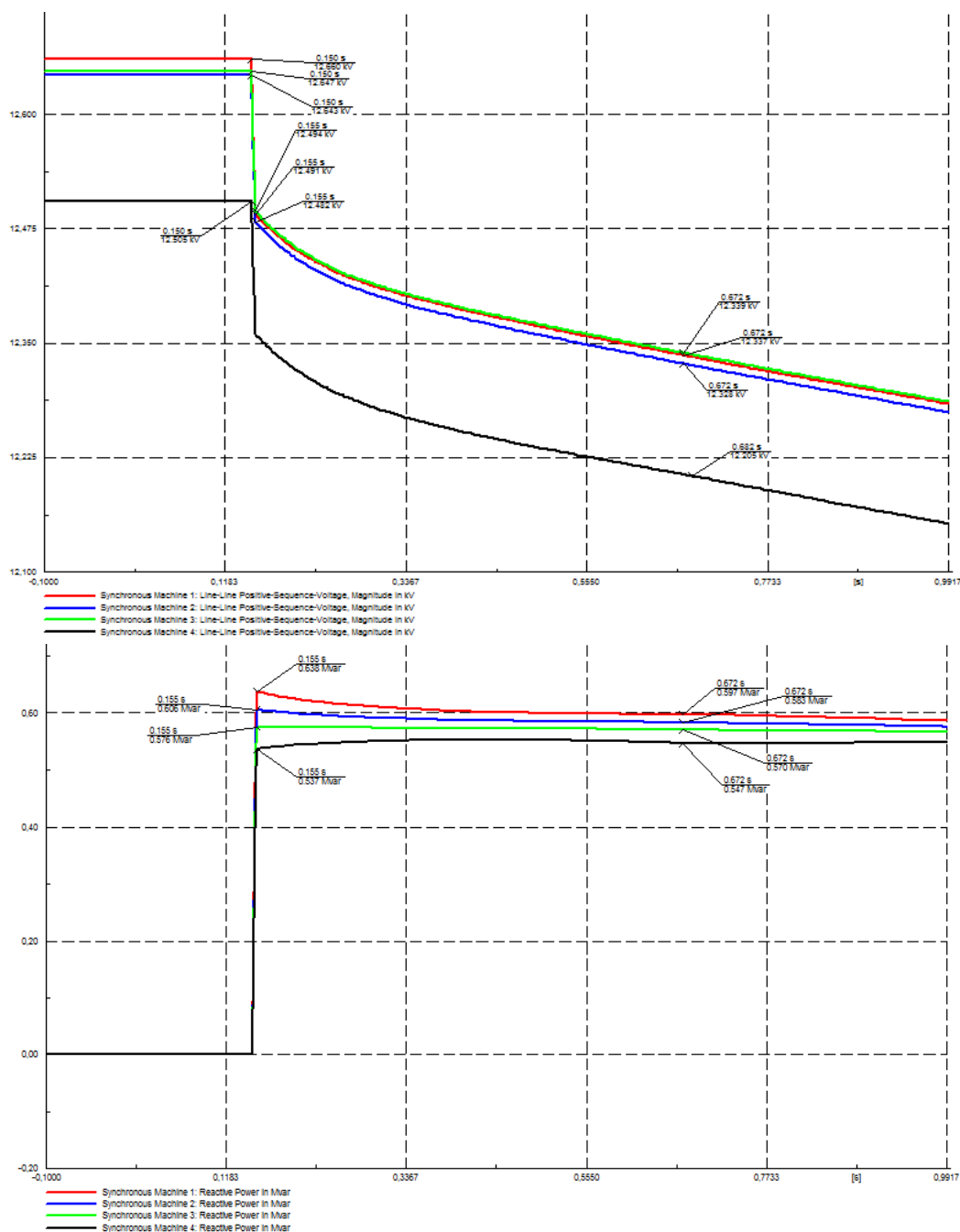
**Slika 9.4.** Generatori na početku izvoda, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora za aktivnu snagu od 1,113 MW

Za slučaj 4 generatora na početku izvoda, pri aktivnoj snazi od 1,113 MW, neznatna je promjena brzine generatora. Isto vrijedi i za kut rotora koji se vrlo malo mijenja za sve generatore. Napon svih generatora je u padu, skok reaktivne snage je podjednak za sve generatore i ukupna reaktivna snaga koju injektiraju u mrežu iznosi oko 2,3 Mvar.

## 9.2. Slučaj 4 generatora na početku izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora je 0,9275 MW. Rezultati su dani na slici 9.5.



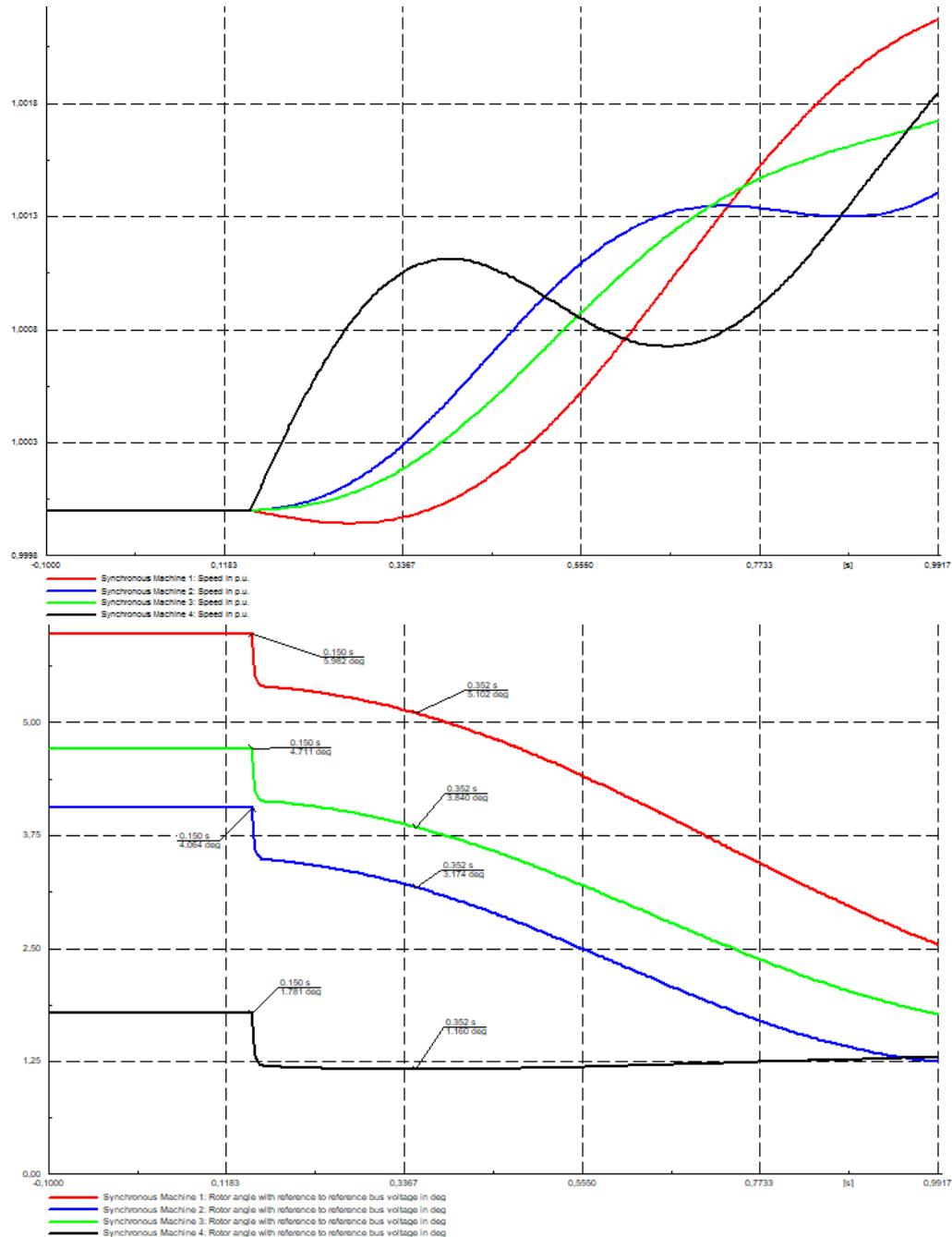


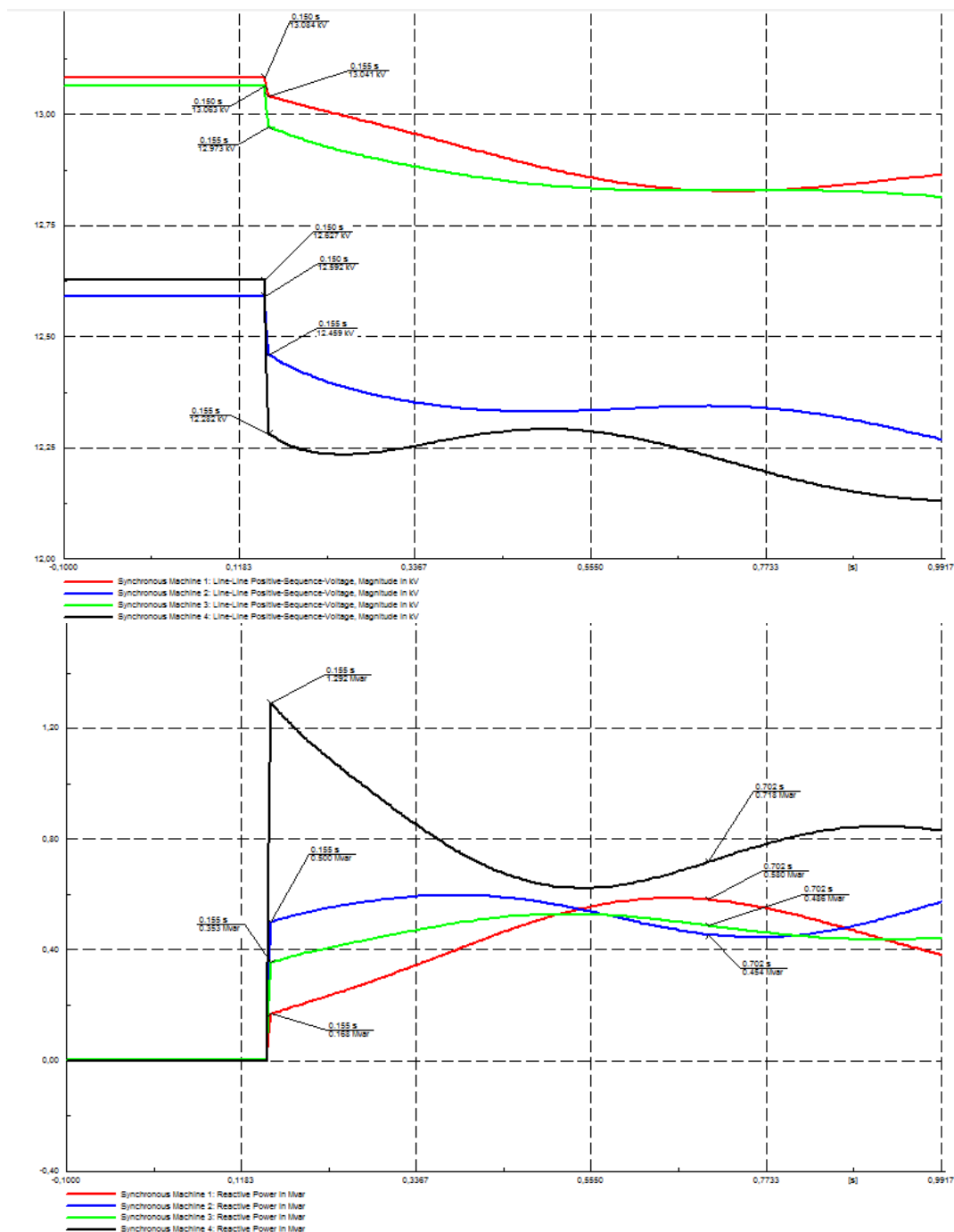
**Slika 9.5.** Generatori na početku izvoda, brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora za aktivnu snagu od 0,9275 MW.

Kod balansa snage proizvodnje i potrošnje za sva 4 generatora vidljivo je podjednako ponašanje sva 4 promatrana parametra. Brzina i kut se vrlo malo mijenjaju, napon svih generatora se smanjuje, a promjena reaktivne snage je podjednaka za sve generatore. Identično ponašanje je i u slučaju 2 i 3 generatora u mreži.

### 9.3. Slučaj jednog generatora na početku, ostala 3 na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Aktivna snaga generatora iznosi 1,113 MW. Generatori su postavljeni na način da su 3 generatora na kraju izvoda, a 1 generator na početku. Rezultati su prikazani slikom 9.6.



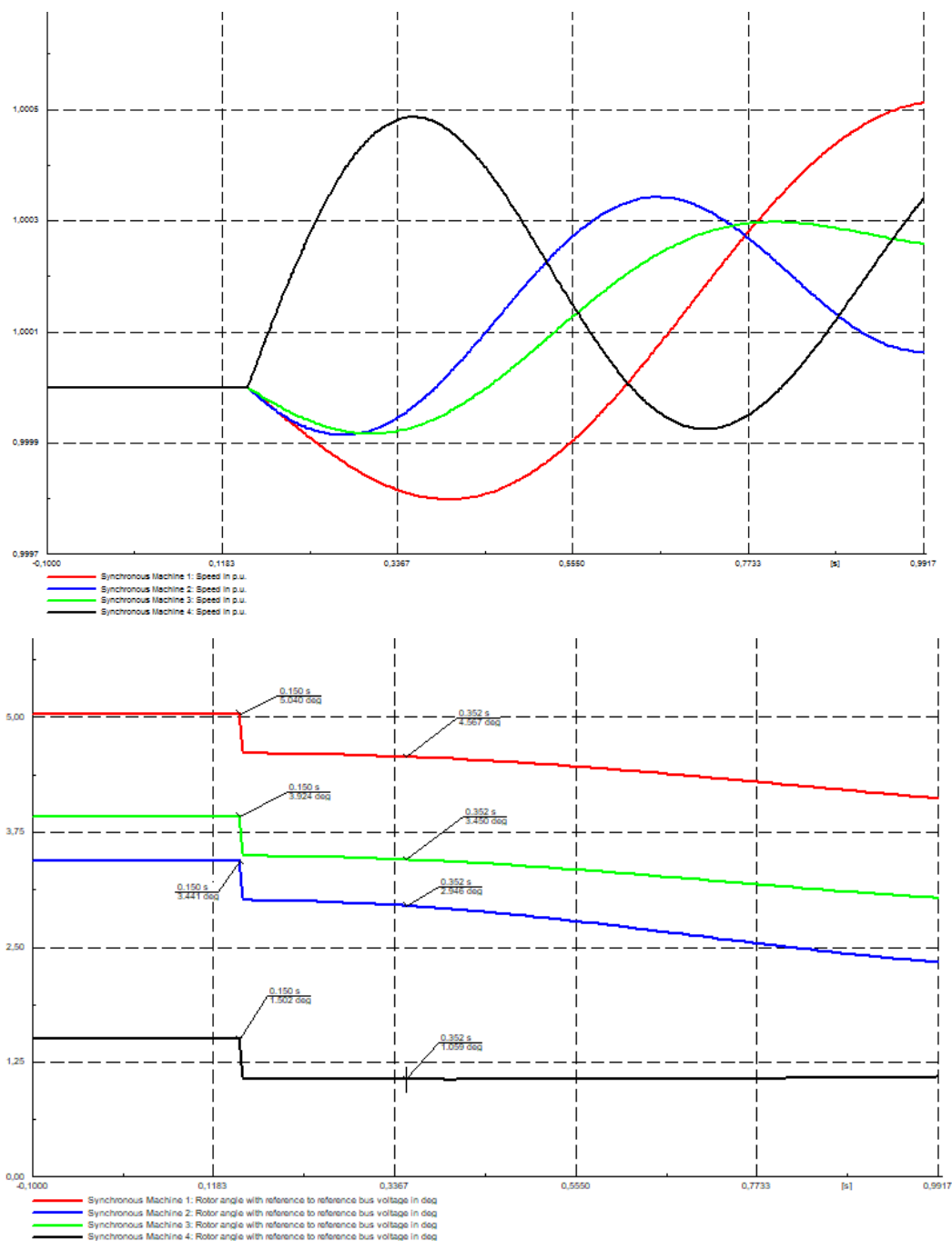


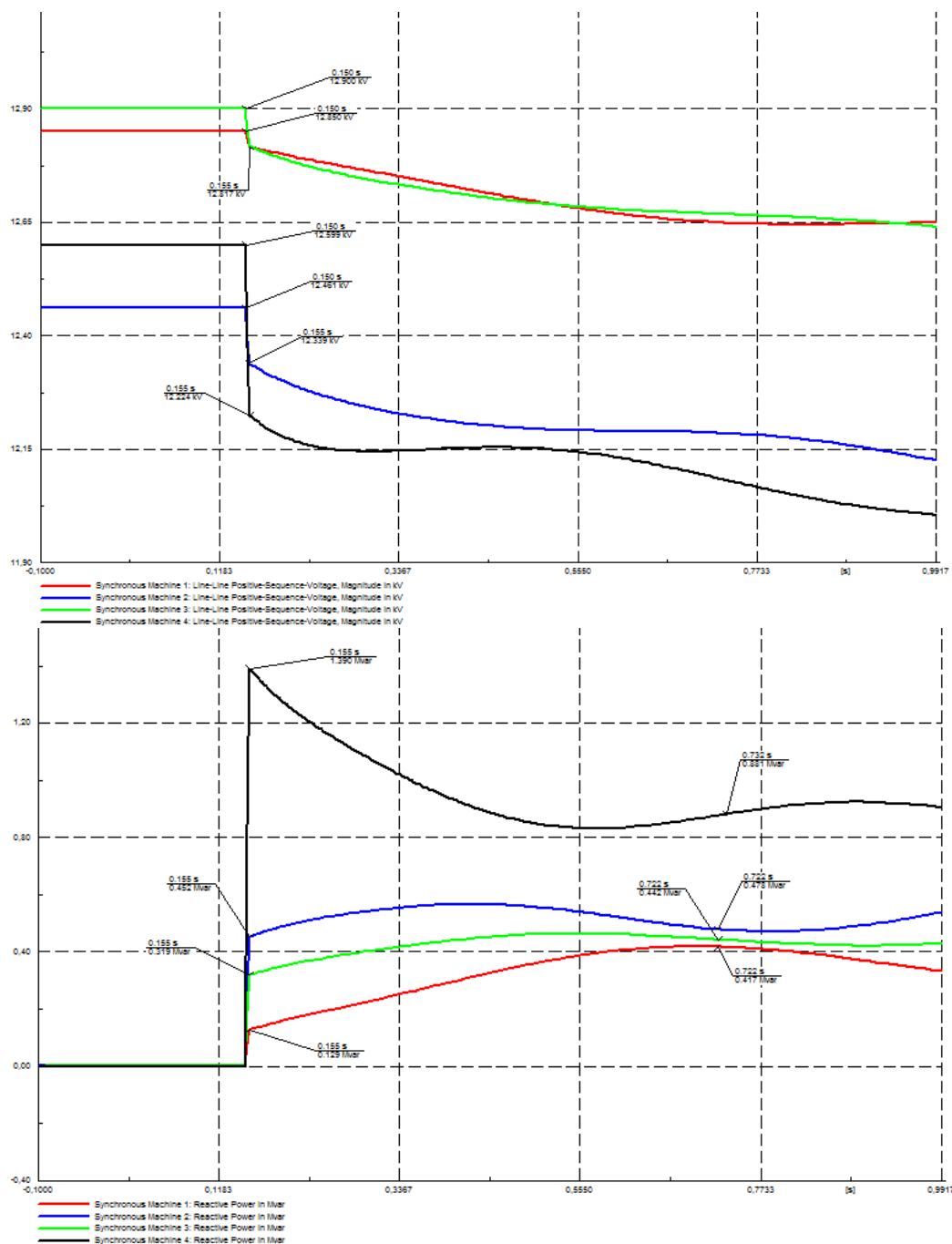
**Slika 9.6.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora na početku i na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Za slučaj jednog generatora na početku izvoda, a ostala 3 na kraju primjetno je ponašanje kao i u prethodnim slučajevima s 2 i 3 generatora, gdje postoji mala promjena brzine, ali i kuta rotora generatora. Napon se smanjuje, a promjena reaktivne snage je najveća na generatoru na početku izvoda. Na ostale generatore se preostali dio reaktivne snage rasporedi te u ukupnom zbroju sva 4 generatora daju oko 2,3 Mvar.

### 9.4. Slučaj jednog generatora na početku, ostala 3 na kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Generatorima je postavljena aktivna snaga na 0,9275 MW, što predstavlja balans snage proizvodnje i potrošnje, te su snimljeni oscilogrami ( Slika 9.7) za navedeni slučaj.





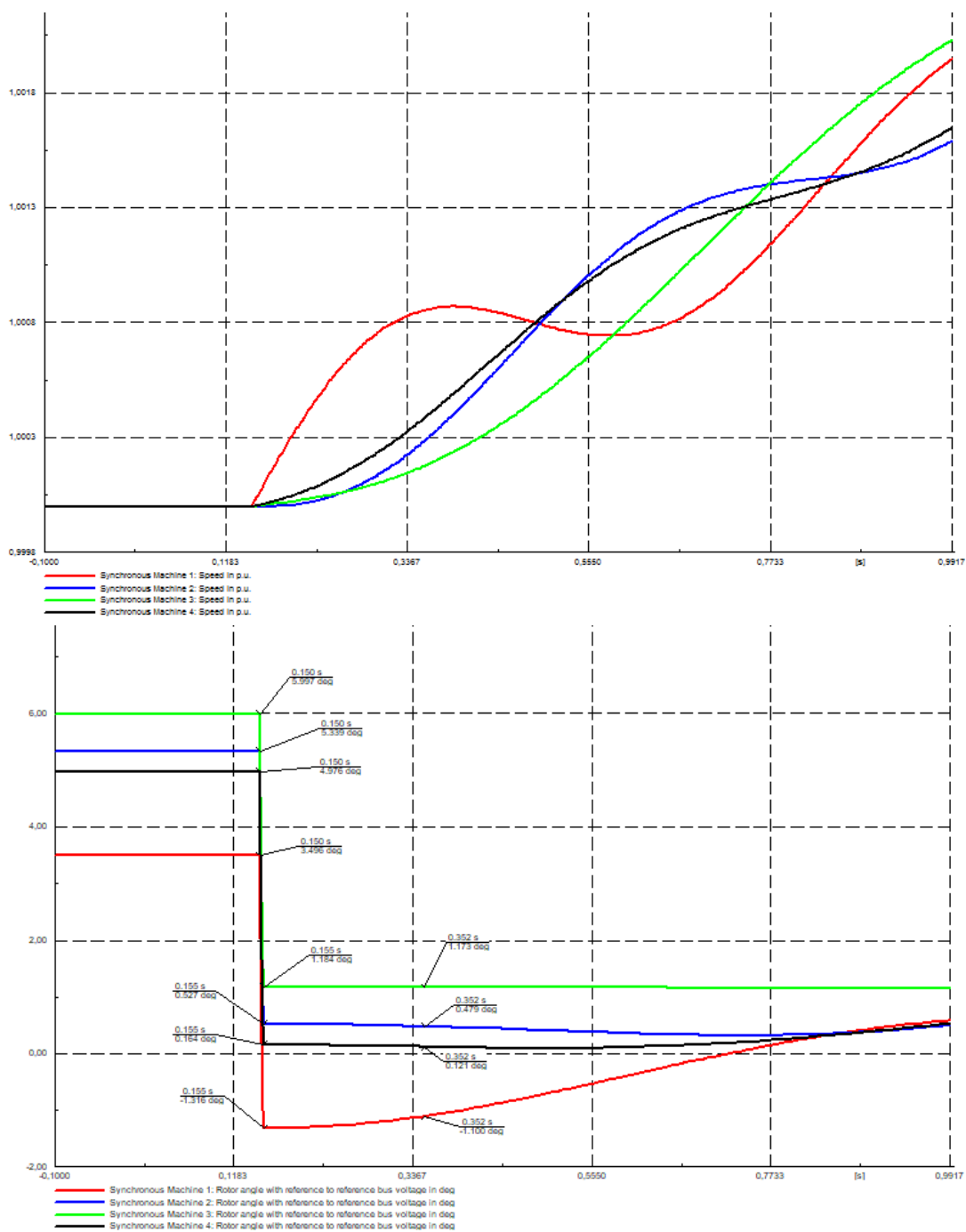
**Slika 9.7.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga pri balansu snage proizvodnje i potrošnje za generatore na početku i na kraju izvoda

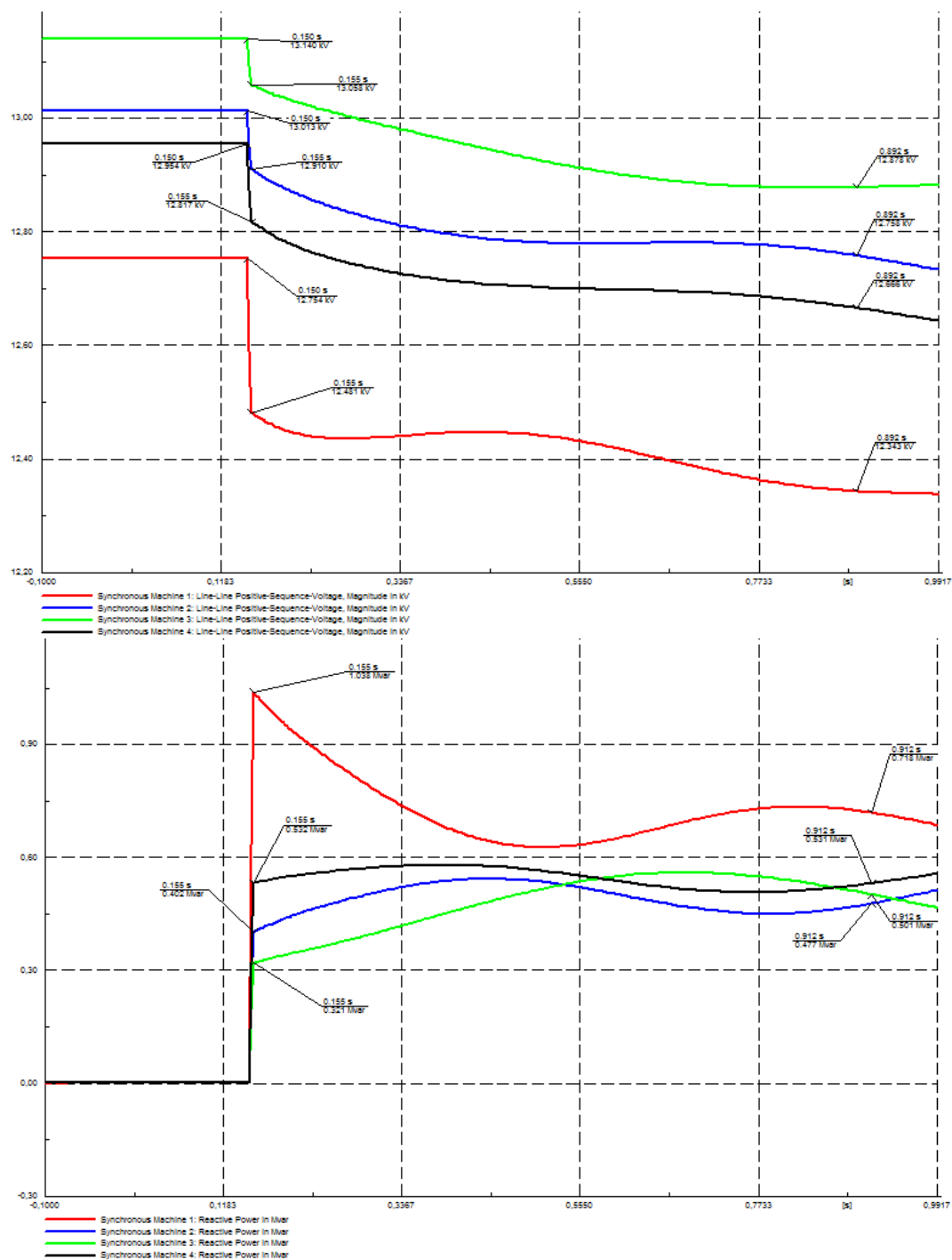
Za slučaj kada je 1 generator na početku izvoda, blizu mjesta isklopa mreže, pri balansu snage postoji neznatna promjena brzine. Također, kut rotora se nije znatno promijenio. Zbog toga se ovaj slučaj može usporediti sa slučajevima s 3 generatora u mreži kod kojih je jedan generator na početku, a ostali na kraju izvoda. Napon svih generatora se smanjuje, dok je promjena reaktivne snage najveća kod najbližeg generatora, što odgovara i prethodnim

slučajevima sa 2 i 3 generatora. Sva 4 generatora daju ukupnu reaktivnu snagu jednaku reaktivnoj snazi potrošača.

### 9.5. Slučaj 4 generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW

Generatori su udaljeni od mjesta isklopa nadomjesne mreže i nalaze se na kraju izvoda. Aktivna snaga generatora iznosi 1,113 MW. Rezultati su dani slikom 9.8.



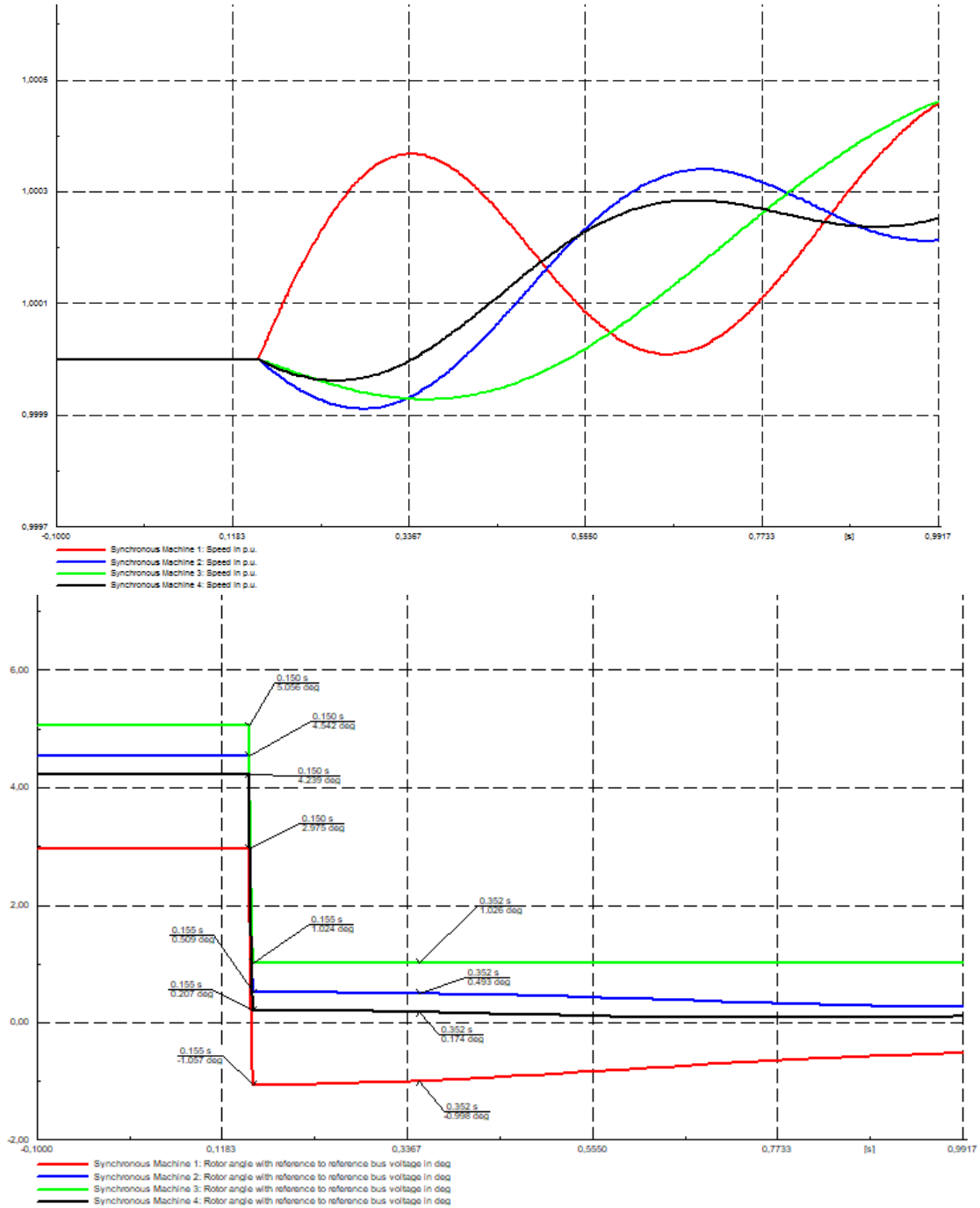


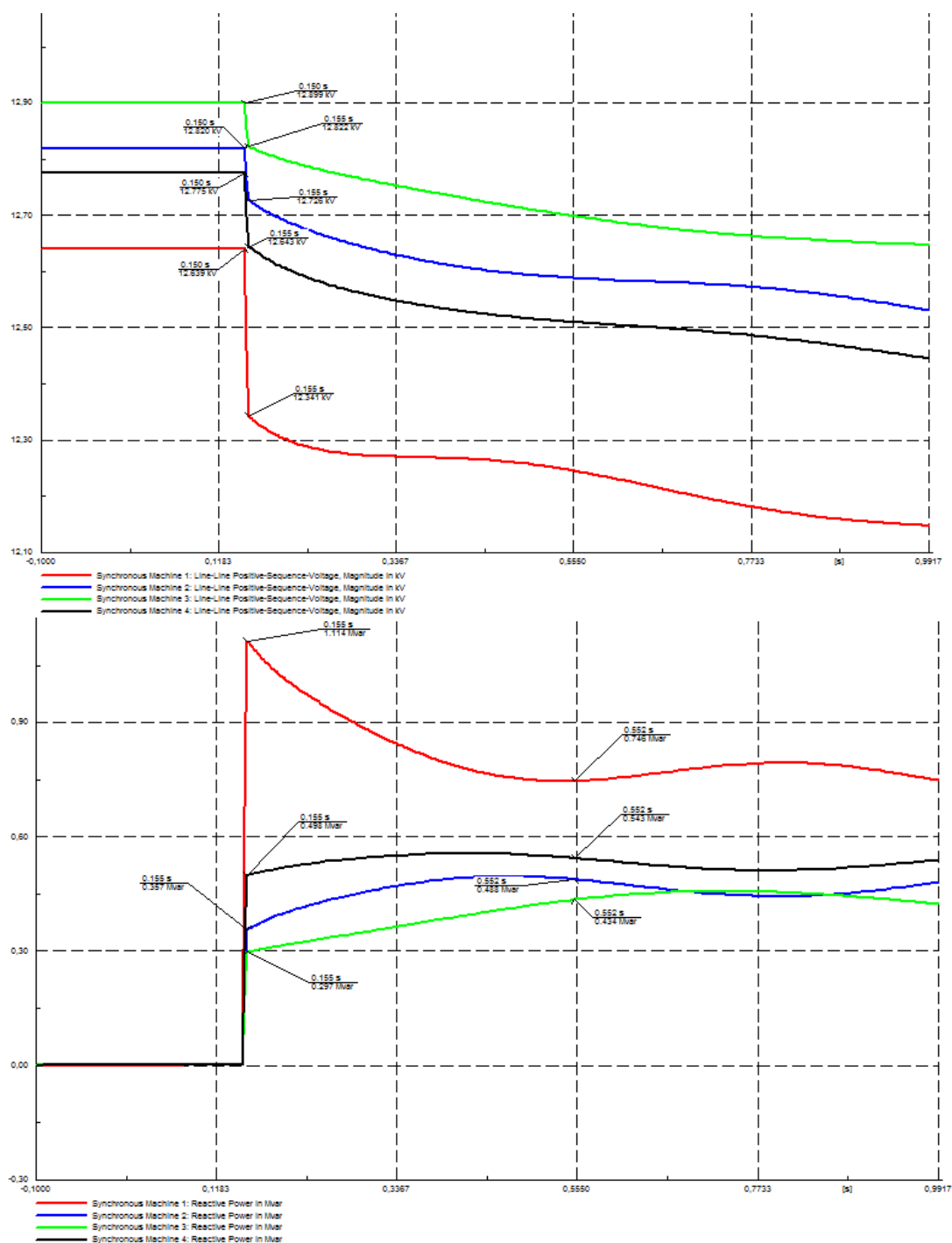
**Slika 9.8.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga generatora na kraju izvoda pri aktivnoj snazi od 1,113 MW.

Za aktivnu snagu od 1,113 MW vidljiva je mala promjena brzine. Također, za razliku od prijašnjih slučajeva, postoji znatnija promjena kuta rotora (oko 4,5 °). Ta promjena kuta je veća i za slučajeve 2 i 3 generatora na kraju izvoda, stoga se može zaključiti da se neovisno o broju generatora oni ponašaju jednako na kraju izvoda.

## 9.6. Slučaj 4 generatora na kraju izvoda pri balansu snage proizvodnje i potrošnje

Aktivna snaga generatora je 0,9275 MW. Oscilogrami su prikazani slikom 9.9.





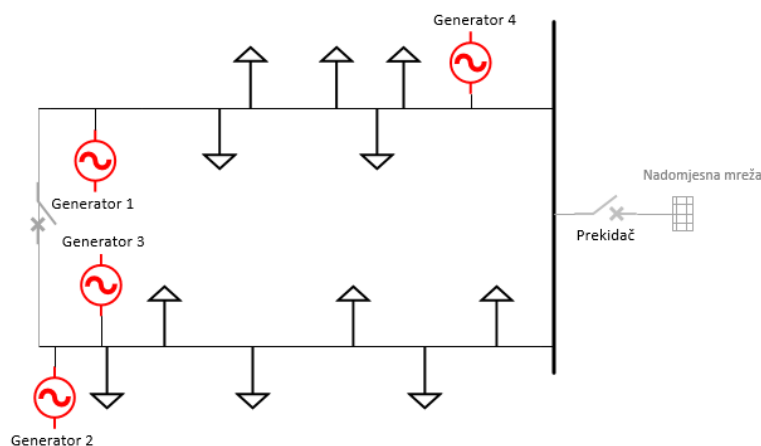
**Slika 9.9.** Brzina, kut rotora, napon i reaktivna snaga pri balansu snage proizvodnje i potrošnje za generatore na kraju izvoda

Pri balansu snage, za slučaj 4 generatora na kraju izvoda, utjecaj isklopa nadomjesne mreže je identičan prijašnjim slučajevima s manjim brojem generatora u mreži. Kod svih generatora neznatna je promjena brzine generatora, smanjen napon, skok reaktivne snage, a propad kuta rotora je oko  $4^\circ$ . Promjena reaktivne snage javlja se kod svih generatora, ovisno o mjestu priključka. Tako, za slučaj kada su generatori jednako udaljeni od mjesta isklopa mreže,

primjećuje se jednako ponašanje sva 4 generatora, reaktivna snaga potrošača se ravnomjerno raspoređuje na sve generatore. U slučaju da su generatori različito udaljeni od mjesta isklopa nadomjesne mreže najveću promjenu reaktivne snage imat će najbliži generator, najmanju će imati onaj najudaljeniji.

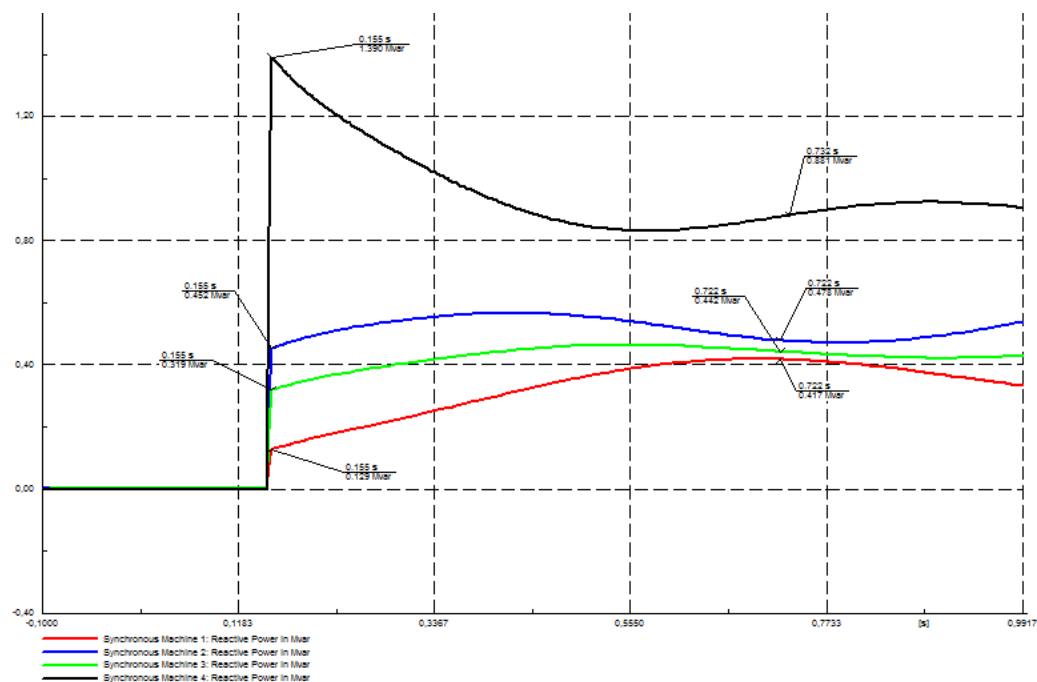
### 9.7. Usporedba različite topologije mreže na promjenu reaktivne snage za 4 generatora u mreži

Usporedba je napravljena pri balansu snage proizvodnje i potrošnje, aktivna snaga generatora je bila 0,9275 MW. Na slici 9.10. vidljiv je raspored generatora u mreži gdje je jedan generator postavljen na početak izvoda, a ostala 3 su postavljena na kraj izvoda.

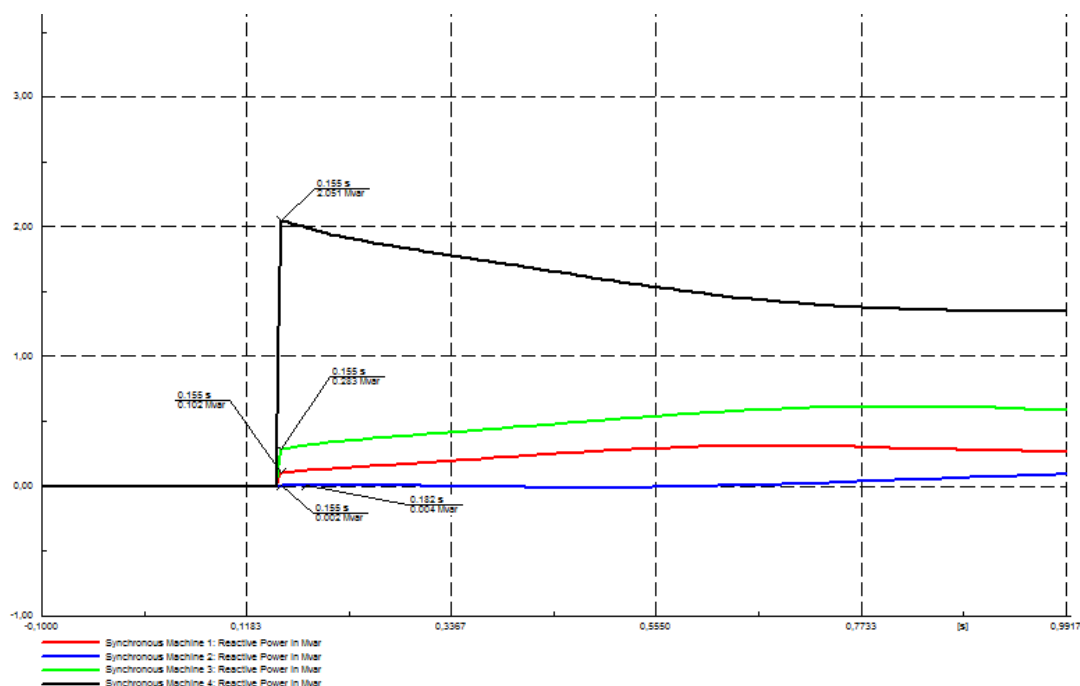


**Slika 9.10.** Radijalna mreža s priključena 4 generatora

Prvi slučaj je prstenasta mreža (Slika 9.11), a drugi slučaj je radijalna mreža (Slika 9.12).



Slika 9.11. Balans snage proizvodnje i potrošnje za prstenastu konfiguraciju mreže



Slika 9.12. Balans snage proizvodnje i potrošnje za radijalnu konfiguraciju mreže

Iz grafova je vidljiv velik utjecaj konfiguracije mreže na promjenu reaktivne snage generatora na način da udaljeni generatori imaju puno manju promjenu reaktivne snage, nego što je to slučaj za prstenastu mrežu. Zbog toga generator koji se nalazi na početku izvoda ima veći skok reaktivne snage, jer na sebe preuzima više reaktivne snage koju nadoknađuje potrošačima nakon isklopa nadomjesne mreže.

## 10. ANALIZA REZULTATA

Diplomski rad je rađen kako bi se iz rezultata vidjelo može li se više generatora iz obnovljivih izvora ponašati kao jedan ekvivalentni generator u distributivnoj mreži. Ukupno radno opterećenje distributivne mreže je bilo 3,71 MW, dok je ukupno jalovo opterećenje iznosilo 2,3 Mvar. Postupak ispitivanja ponašanja generatora vodio se na način da je u distributivnoj mreži bilo od početnog jednog generatora do krajnja 4. Svim generatorima je mijenjana lokacija unutar mreže, kako bi se vidio utjecaj mjesta priključka generatora na promjenu reaktivne snage, koja je poslužila kao indikator isklopa prekidača nadomjesne mreže na sabirnici 1, tj. da se postigne da generatori ostanu u otočnom pogonu s distributivnom mrežom. Isklop prekidača dogodio se nakon 150 ms. Generatori su postavljani na 30 % ukupnog opterećenja mreže, a nakon toga su skalirani na balans proizvodnje i potrošnje što je u ovom slučaju bilo 3,71 MW.

Za slučaj s jednim generatorom odabrana mjesta priključka su, na sabirnici s nadomjesnom mrežom, na kraju izvoda te na sredini izvoda. Rezultat koji je dobiven pokazuje da postoji mala promjena brzine generatora, tj. da isklop nadomjesne mreže nema velik utjecaj u početnom trenutku na brzinu generatora. Isto tako, u svim slučajevima se smanjuje napon. Što se tiče kuta rotora, promjena kuta ovisit će o mjestu priključka generatora na način da će bliže nadomjesnoj mreži kut rotora rasti, dok će udaljavanjem od nadomjesne mreže kut rotora biti manji. Što se reaktivne snage tiče, ne ovisi o mjestu priključka na mrežu i iznosu aktivne snage, nego je vezana uz iznos reaktivne snage potrošača te su svi ti rezultati oko 2,3 Mvar.

Za 2, 3, i 4 generatora postoji jednako ponašanje, kao i za slučaj samo jednog generatora, na način da je mala promjena brzine svih generatora neovisno o mjestu priključka te da napon generatora u svim slučajevima pada. Napon će ovisiti o mjestu priključka zbog toga što čvorovi udaljeni od nadomjesne mreže nemaju mogućnost regulacije napona te je zbog toga na njima priključkom generatora veći napon od nazivnog. Kut rotora se smanjuje u svim slučajevima i za sve generatore. To smanjenje kuta rotora ovisi o mjestu priključka jer je najmanja promjena kada je jedan generator na početku izvoda, a ostali na sredini ili kraju, a najveća je promjena kuta kada su svi generatori na kraju izvoda. U slučaju da su svi generatori blizu jedan drugome, postoji podjednak skok reaktivne snage koji u ukupnom zbroju daje oko 2,3 Mvar, što približno odgovara reaktivnoj snazi potrošača. Ukupni iznos reaktivne snage se pravilno rasporedi na generatore, neovisno o broju generatora, za slučaj kada su svi generatori podjednako udaljeni od mjesta isklopa nadomjesne mreže. U slučaju da je 1 generator blizu mjestu isklopa, a ostali da su

udaljeni najveći skok reaktivne snage imat će najbliži generator, dok će ostatak preuzeti na sebe ostali generatori, na način da će podjednako rasporediti preostali iznos jalove snage uz uvjet da su jednako udaljeni od mjesta isklopa. U slučaju da je jedan generator bliže, nego drugi imat će veći skok reaktivne snage.

Ispitivanjem slučaja sa isključenim vodovima i potpuno radijalnom mrežom, u slučaju više generatora, zaključak je isti kao prethodni slučajevi, uz uvjet da su generatori blizu jedan drugome. Ako su generatori udaljeni, princip je taj da će generator najbliži mjestu isklopa mreže imati najveći skok reaktivne snage. Razlika, u odnosu na prethodni slučaj prstenaste konfiguracije mreže, je ta da će generator najbliži mjestu isklopa nadomjesne mreže imati veći skok u radijalnoj mreži, u odnosu na slučaj prstenaste mreže, dok će udaljeni generatori od mjesta isklopa imati malu promjenu reaktivne snage. U slučaju prstenaste konfiguracije mreže, veća je osjetljivost udaljenih generatora na otočni pogon, ali je manja osjetljivost bližih generatora jer se reaktivna snaga ravnomjernije raspoređuje na generatore.

Zaključak ove analize je da se više generatora u distributivnoj mreži ponaša kao ekvivalentni generator i potrošač, na način da za svaki isklop nadomjesne mreže, odnosno pojave otočnog pogona promatrane mreže na generatorima se javlja mala promjena brzine generatora, za sve slučajeve generatora u mreži kut rotora će ovisiti o mjestu priključka generatora, smanjuje se napon u svim slučajevima i postoji promjena reaktivne snage, koja je do trenutka isklopa prekidača iznosila 0.

Promjena reaktivne snage ovisit će o:

- potrošačima, koji reaktivnu snagu dobivaju iz nadomjesne mreže, a nakon otvaranja prekidača reaktivnu snagu nadomještaju generatori u distributivnoj mreži,
- položaju generatora u mreži - za generatore blizu mjesta isklopa nadomjesne mreže veći je skok reaktivne snage
- broju generatora - reaktivna snaga se raspoređuje na sve generatore u mreži, ovisno o mjestu priključka
- topologiji mreže - za čisto radijalnu mrežu, udaljeni generatori imaju malu promjenu reaktivne snage, u slučaju da postoji generator koji je bliže mjestu isklopa mreže

## 11. ZAKLJUČAK

Tema diplomskog rada bila je analiza osjetljivosti detekcije otočnog pogona u distributivnoj mreži kojoj se mijenja broj priključenih generatora. Promatrane veličine generatora su bile brzina generatora, kut rotora, napon te reaktivna snaga generatora. Najprije se proučavala analiza osjetljivosti jednog generatora u mreži. Nakon toga se mijenjao broj generatora u mreži, te se broj generatora povećavao do konačna 4.

Analiza je provedena tako da se najprije jednom generatoru postavila aktivna snaga u iznosu 1,113 MW, što iznosi 30 % ukupnog opterećenja svih potrošača u mreži. Nakon toga je snaga skalirana na balans snage proizvodnje i potrošnje, u iznosu 3,71 MW. Za navedene slučajeve snage i broja generatora snimljeni su oscilogrami. Također je razmatrano i utjecaj promjene topologije mreže na parametre generatora i na osjetljivost detekcije otočnog pogona. Za 2 generatora u mreži aktivna snaga generatora je podešena na 1,113 MW, a nakon toga na balans snage proizvodnje i potrošnje, što za 2 generatora u mreži iznosi 1,855 MW. Kao i za 1 generator promatran je utjecaj promjene topologije mreže na parametre generatora.

Isti princip je primjenjen za 3 i 4 generatora u mreži. Za slučaj 3 generatora, skaliranjem aktivne snage na balans snage proizvodnje i potrošnje, aktivna snaga generatora je iznosila 1,2367 MW, dok je za 4 generatora aktivna snaga bila 0,9275 MW.

Promatranjem reaktivne snage u svim slučajevima može se zaključiti da generatori iz obnovljivih izvora energije imaju skok reaktivne snage nakon isklopa nadomjesne mreže, odnosno nakon pojave otočnog pogona i taj parametar može poslužiti za detekciju otočnog pogona neovisno o iznosu aktivne snage generatora.

## 12. LITERATURA

- [1] M. Čavlović, Problematika otočnog pogona elektrane s dijelom distribucijske mreže, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO-CIRED, SO3-12, str. 2-4., Osijek, 2016.
- [2] M. Ivas, Probabilistic risk assessment of island operation of grid connected multi-inverter power plant, *Energy and the Environment*, str. 194, 2014.
- [3] DEIF: Power efficiency. Single generator applications: Island operation, DEIF Group, Danska, URL: <https://www.deif.com/land-power/applications/island-operation> [4.7.2018.]
- [4] S. Nikolovski, G. Knežević, Zaštita od otočnog pogona elektrana na biomasu u radu s distribucijskom mrežom, *Mogućnosti primjene obnovljivih izvora energije*, str. 1., Zagreb, veljača, 2016.
- [5] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Mrežna pravila prijenosnog sustava, Narodne novine, NN 67/2017, Zagreb, srpanj 2017.,
- [6] S. Nikolovski, P. Marić, M. Vukobratović, Detekcija i zaštita od otočnog pogona distribuirane proizvodnje, 11. simpozij o sustavu vođenja EES-a- CIGRE, 1-28, str. 1, Opatija, studeni, 2014.
- [7] R. Bugdal, A. Dysko, G.M.Burt, J.R. McDonald, 'Performance analysis of the ROCOF and Vector Shift Methods using a dynamic protection modelling approach, PSP 2006, Effect of distributed generation on power system protection, str 139-140.
- [8] IEEE sustav 33 sabirnice, URL: <https://eGRIDdata.org/dataset/33-bus-radial-distribution-system/resource/602529ca-b81d-4c1e-b4eb-071158f42ebc>, [16.3.2018.]

## SAŽETAK

U radu je obrađena analiza osjetljivosti detekcije otočnog pogona, uz povećanje broja generatora u distributivnoj mreži. Promatran je utjecaj isklopa nadomjesne mreže na generatore koji ostaju u otočnom radu. Analiza je provedena na način da se broj generatora u distributivnoj mreži mijenjao od početnog jednog do krajnja četiri. Za svaki broj generatora u mreži razmatrao se slučaj da je aktivna snaga svakog generatora postavljena na 30 % ukupnog opterećenja potrošača, a nakon toga je aktivna snaga skalirana na balans snage proizvodnje i potrošnje. Za svaki generator promatrani su brzina, kut, napon i reaktivna snaga, te utjecaj različite konfiguracije mreže na promjenu reaktivne snage. Također je odgovoreno na pitanje može li se više generatora u mreži zamijeniti s ekvivalentnim generatorom i potrošačem.

**Ključne riječi:** otočni pogon, distributivna mreža, generator, nadomjesna mreža, aktivna snaga

## ABSTRACT

The paper shows the analysis of the sensitivity for island operations, with increasing the number of generators in distribution network. It is watched the influence of tripping parent network on generators which stays in island operation. The analysis is spent on the way that the number of generators is changed from 1 at the beginning to 4 on the end. For every number of generators in network, it is presented the case in which the active power is set on the 30 % of total consumption. After that active power is scaled on the balance of generation and consumption. For each generator it is watched speed, rotor angle, voltage, reactive power, and it is shown influence of the different types of networks on the reactive power. Also, it is answered to the question if several generators in distribution network can be replaced with equivalent generator and consumer.

**Key words:** island operation, distribution network, generator, parent network, active power

## ŽIVOTOPIS

MARKO TANJIĆ

Rođen je 13. prosinca 1994., u Požegi. Osnovnu školu „Dobriša Cesarić“ završio je 2009. godine, nakon čega upisuje „Tehničku školu Požega“, smjer „tehničar za računalstvo“ koji završava 2013. godine.

Iste godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku koji završava 2016. godine.

Nakon završetka preddiplomskog studija upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika, na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

Napredno se koristi engleskim jezikom, te je informatički pismen. Dobro se služi programskim paketom Microsoft office (Word, Excell, PowerPoint, Visio). U slobodno vrijeme bavi se nogometom.

U Osijeku, 3.9.2018.

Marko Tanjić



---