

Mato Kovačević
HEP ODS d.d Elektra Slavonski Brod
mato.kovacevic@hep.hr

PRIMJENA APU-a U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI S DISTRIBUIRANIM IZVOROM- PRIMJER ISPITIVANJA ELEKTRANE NA BIOMASU BE-TO „SAVA“ STARA GRADIŠKA

SAŽETAK

U ovom radu je opisano ispitivanje povratnog djelovanja elektrane na biomasu BE-TO „Sava“ Stara Gradiška na 35 kV mrežu uslijed prolaska elektrane kroz primarno simulirani ciklus APU-a. Cilj je da se dokaže uspješno odvajanje elektrane s mreže pri kvaru na mreži na koju je elektrana priključena, unutar kratke beznaponske stanke ciklusa APU-a ($t = 400$ ms), kao i ukupno vrijeme potrebno za odvajanje elektrane od mreže (vlastito vrijeme podnaponske ili nadstrujne zaštite, zaštite od otočnog rada te vrijeme isključenja prekidača). Neposredno prije primarnog ispitivanja povratnog djelovanja elektrane na mrežu, provedeno je ispitivanje zaštite od otočnog pogona s neujednačenom predajom snage u mrežu od $5\% \times P_n$ (0,1 MVA) i $30\% \times P_n$ (0,6 MVA). Rezultati provedenih ispitivanja potkrijepiti su snimkama prijelaznih pojava (mjernih veličina: struja, napon i zaštitnih funkcija podnaponske zaštite i APU-a) u ms području. Ispitivanje povratnog djelovanja elektrane s ciklusom APU-a provedeno je sa $\Delta P = 1,1$ MW.

Ključne riječi: povratno djelovanje, elektrana, biomasa, ispitivanja, neujednačenost snage

APPLICATIONS AUTO RECLOSE FUNCTIONS IN DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATION- EXAMPLE TESTS ON BIOMASS POWERPLANT BE-TO“SAVA“ STARA GRADIŠKA

SUMMARY

In this paper is described testing rebound activity in biomass powerplant BE-TO "Sava" Stara Gradiška on 35 kV grid due to the passing of power plant through the primary simulated AR (Auto Reclose) cycle. The aim is to demonstrate the successful disconnection of the power plant from the grid on the grid to which the power plant is connected, within the short AR cycle shortfall ($t = 400$ ms), as well as the total time needed to disconnect the power plant from the grid (own time undercounter or overcurrent protection, Loss of Mains protection and switch off time). Immediately prior to the primary test of the reactor power grid on the grid, an in-house protection test was performed with a power supply imbalance in the grid with $5\% \times P_n$ (0.1 MVA) and $30\% \times P_n$ (0.6 MVA). The results of the tests carried out support the transcriptional phenomena (measuring sizes: current, voltage and protective functions: undercurrent protection and APU) in the ms area. Testing of the reverse effect of the power plant with the AR cycle was carried out with $\Delta P = 1.1$ MVA.

Key words: biomass power plant, AR, Loss of Mains protection, reversal, power imbalance

- VVS-Voltage Vector Shift - zaštitu od pomaka kuta napona $\Delta\theta > \min$. vrijeme prorade 50 ms, podešenje od 0.5 to 15 °el u koracima od 0.1 °el i
- zaštitu od nesimetrije $V_i >$, podešenje od 0.1-50 %, u koracima 0.1 %, vremensko zatezanje 0.0 to 25.0 s u koracima od 0.1s.

2. PREDUVJETI ZA PROVEDBU ISPITIVANJA POVRATNOG DJELOVANJA ELEKTRANE PRILIKOM PROLASKA KROZ CIKLUS APU-a

Prije početka pokusnog rada i neposrednog puštanja elektrane u trajni paralelni pogon s distribucijskom mrežom neophodno je odgovarajućim postupcima utvrditi spremnost elektrane za priključenje na mrežu. Preduvjeti za ispitivanje povratnog djelovanja uslijed prolaska elektrane kroz sekundarno simulirani ciklus APU-a su sljedeći:

- Pregled podešenja relejne zaštite elektrane BE-TO Sava i relejne zaštite u susretnom polju u TS 35/10 kV Stara Gradiška,
- Provjera okretnog polja i istoimenosti faza,
- Ispitivanje ispravnosti daljinske signalizacije Elektrane BE-TO Sava-TS 35/10 kV Stara Gradiška-CDU Elektra Slavonski Brod,
- Ispitivanje djelovanja blokade za uključanje prekidača za odvajanje susretnog polja u TS 35/10 kV Stara Gradiška za slučaj da je zemljospojnik u polju prema mreži elektrane uključen,
- Ispitivanje djelovanja blokade uključanja generatorskog prekidača -QGEN u slučaju kvara u mjernom krugu sinkronizacije,
- Ulazak elektrane u paralelni rad s mrežom,
- Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon sa distribucijskom mrežom-ručna sinkronizacija,
- Ispitivanje generatora u paralelnom radu s mrežom HEP ODS-a,
- Ispitivanje poštivanja uvjeta da skokovitu promjenu snage pri opterećenju/rasterećenju smije biti najviše 10% P_n ,
- Ispitivanje isključenja elektrane iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom pri normalnom isključenju,
- Ispitivanje djelovanja zaštite/isključenja uslijed odstupanja od uvjeta paralelnog rada- ispad mrežnog napona-izolirani pogon,
- Ispitivanje djelovanja relejne zaštite i blokada pri odstupanju od uvjeta paralelnog pogona-provjera zaštite od otočnog rada elektrane i
- Provjera djelotvornosti zaštite od otočnog pogona (očekivani rezultat je efikasna prorada zaštite od otočnog rada odvajanjem elektrane s mreže isključenjem generatorskog prekidača u vremenu ≤ 300 ms).

2.1 Ispitivanje djelovanja relejne zaštite i blokada pri odstupanju od uvjeta paralelnog pogona-provjera zaštite od otočnog pogona

Svrha ovog ispitivanja je dokazivanje da elektrana ima djelotvornu zaštitu od otočnog pogona, provjeru nadzora i upravljanja, te proslijeđivanje informacija o proradi zaštite. Zadatak je simulirati ispad mreže na način da se isključi prekidač u TS 35/10 kV Okučani na VP 35 kV Nova Gradiška 1.

Izvršena su dva pokusa sa razlikom snage između proizvodnje-opterećenja:

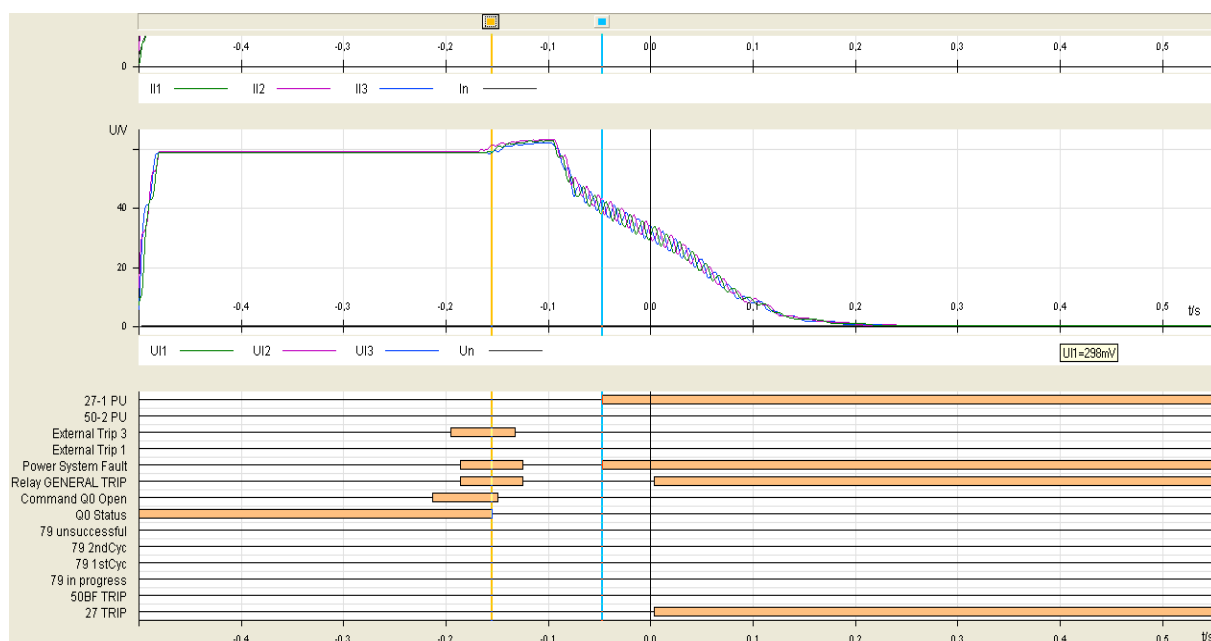
- u prvom slučaju razlika između opterećenja i proizvodnje iznosi 0,1 MW
- u drugom slučaju razlika između opterećenja i proizvodnje iznosi 0,6 MW.

2.1.1 Ispitivanje djelotvornosti zaštite od otočnog pogona uz disbalans snage 0,1 MW

U prvom slučaju se postiže razlika između proizvodnje i opterećenja 0,1 MW, mjerenje snage vrši se na dolaznom VP 35 kV Nova Gradiška 1 u TS 35/10 kV Okučani, te se daje nalog dispečerskom centru Elektre Slavonski Brod za daljinsko isključenje prekidača VP 35 kV Nova Gradiška 1 u TS 35/10 kV Okučani.

Na slici 4 prikazana je promjena valnih oblika faznih napona nakon isključenja prekidača i ostvarivanja stanja elektrane u otočnom pogonu, kursor označen žutom bojom predstavlja trenutak u kojem je prekidač isključen, a kursor plave boje predstavlja trenutak u kojem je fazni napon mjereno na naponskim mjernim transformatorima u TS 35/10 kV Okučani na VP 35 kV Stara Gradiška postigao vrijednost manju od $0,8U_n$.

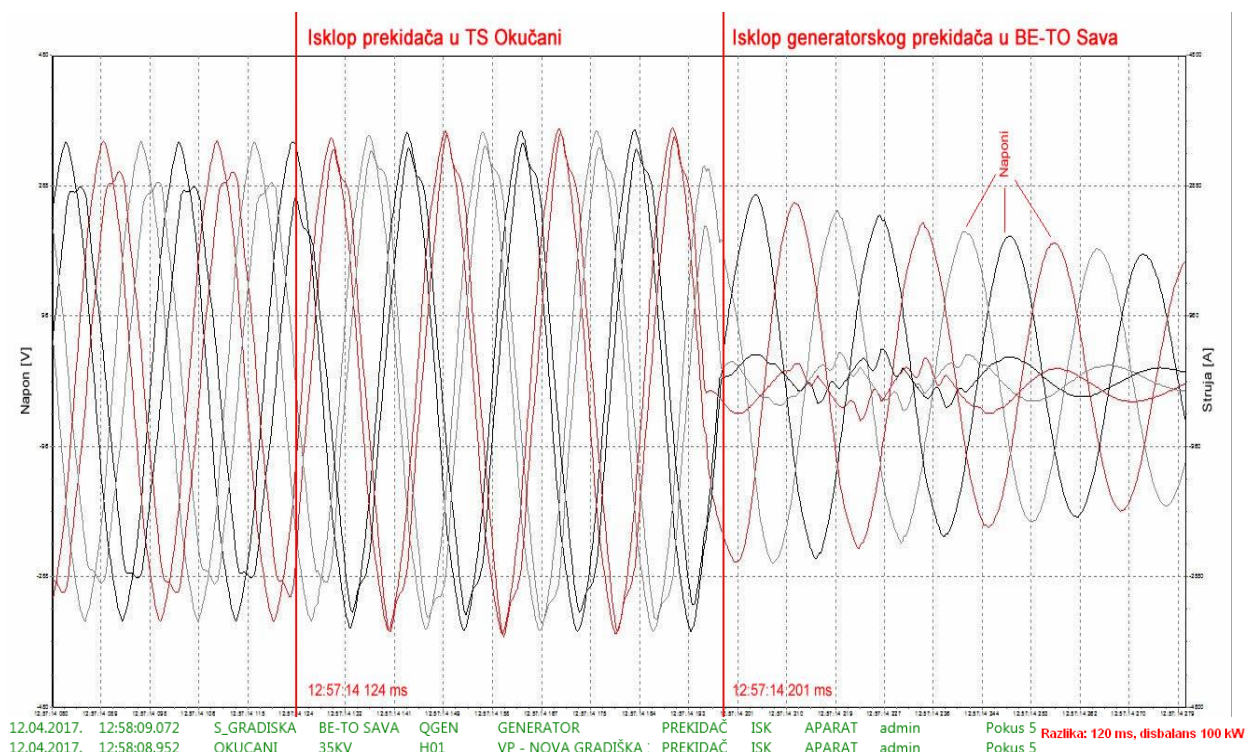
Vrijeme od trenutka isključenja do pada napona na vrijednost manju od $0,8U_n$ iznosi $T=108$ ms, a vrijeme mjereno u SCADA sustavu od isključenja prekidača do prorade zaštite od pomaka kuta napona $\Delta\theta>$, iznosi $T=120$ ms, razlika u mjerenju između SCADA sustava i terminala zaštite iznosi 13 ms, što zadovoljava uvjet da vrijeme isključenja elektrane mora biti ≤ 300 ms



Slika 4. Promjena faznih napona od trenutka isključenja prekidača na VP Nova Gradiška 1 u TS Okučani

	t in ms
Cursor 1:	-155,0
Cursor 2:	-47,0
C2 - C1	-108,000

Slika 5. Prikaz vremena od stanja prekidač isključen do pada faznog napona ispod $0,8 U_n$



Slika 6. Valni oblik napona i struje na 0,4 kV strani blok transformatora +BT u ormaru =NE+KTR BE-TO Sava (odvod prema distributivnoj mreži)

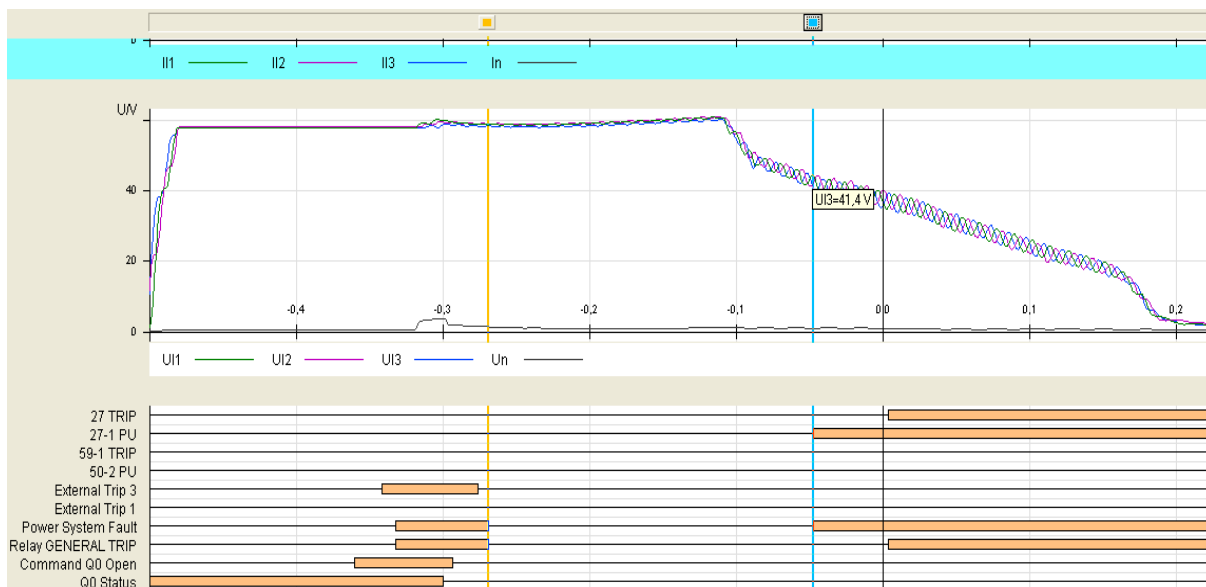
Na slici 6. prikazana je razlika vremena od trenutka isključenja prekidača u TS Okučani VP Stara Gradiška, do prorade zaštite od otočnog pogona u trajanju od $T=77$ ms, a vremenska razlika zabilježena u SCADA sustavu između isključenja prekidača VP Nova Gradiška 1 u TS 35/10 kV Okučanima i generatorskog prekidača elektrane, iznosi $T=120$ ms.

2.1.2 Ispitivanje djelotvornosti zaštite od otočnog pogona uz neujednačenost snaga 0,6 MW

U drugom slučaju se postiže razlika između proizvodnje i opterećenja 0,6 MW, mjerenje snage vrši se na dolaznom VP 35 kV Stara Gradiška u TS 35/10 kV Okučani, te se daje nalog dispečerskom centru Elektre Slavonski Brod za daljinsko isključenje prekidača VP 35 kV Stara Gradiška u TS 35/10 kV Okučani.

Na slici 7. prikazana je promjena valnih oblika faznih napona nakon isključenja prekidača i ostvarivanja stanja elektrane u otočnom pogonu, cursor označen žutom bojom predstavlja trenutak u kojem je prekidač isključen, a cursor plave boje predstavlja trenutak u kojem je fazni napon mjereno na naponskim mjernim transformatorima u TS Okučani na VP 35 kV Stara Gradiška postigao vrijednost manju od $0,8U_n$.

Vrijeme od trenutka isključenja do pada napona na vrijednost manju od $0,8U_n$ iznosi $T=222$ ms, a vrijeme mjereno u SCADA sustavu od isključenja prekidača do prorade zaštite od pomaka kuta napona $\Delta\theta >$ iznosi $T=238$ ms, razlika u mjerenju između SCADA sustava i terminala zaštite iznosi 16 ms, što zadovoljava uvjet da vrijeme isključenja elektrane mora biti ≤ 300 ms.



Slika 7. Promjena faznih napona od trenutka isključenja prekidača na VP Stara Gradiška u TS Okučani

	t in ms
Cursor 1:	-269,0
Cursor 2:	-47,0
C2 - C1	-222,000
C2 + C1	
C2 / C1	

Slika 8. Prikaz vremena od stanja prekidač isključen do pada faznog napona ispod 0,8Un

12.04.2017. 11:32:30.079 OKUCANI 35KV H06 VP - STARA GRADIŠKA PREKIDAČ ISK APARAT admin Pokus 3
 12.04.2017. 10:52:05.907 S_GRADIŠKA BE-TO SAVA QGEN GENERATOR PREKIDAČ ISK APARAT admin Pokus 2 Razlika: 238 ms, disbalans 600kW

Slika 9. Vremenska razlika između isključenja VP 35 kV Stara Gradiška u TS 35/10 kV Okučani i generatorskog prekidača elektrane

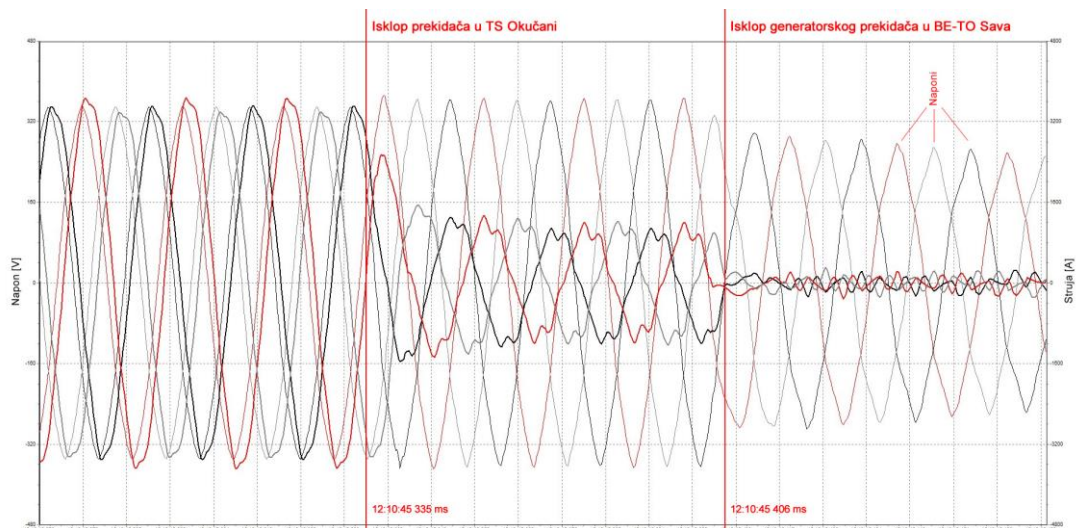
3. ISPITIVANJE POVRATNOG DJELOVANJA NA MREŽU USLIJED PROLASKA ELEKTRANE KROZ SEKUNDARNO SIMULIRANI CIKLUS APU-a

Nakon što se izvršilo testiranje djelotvornosti zaštite od otočnog pogona, te je potvrđeno vrijeme isključenja elektrane ispunjavalo uvjet $T \leq 300$ ms, pristupilo se ispitivanju povratnog djelovanja na mrežu usred prolaska elektrane kroz ciklus APU-a čije vrijeme iznosi 400 ms.

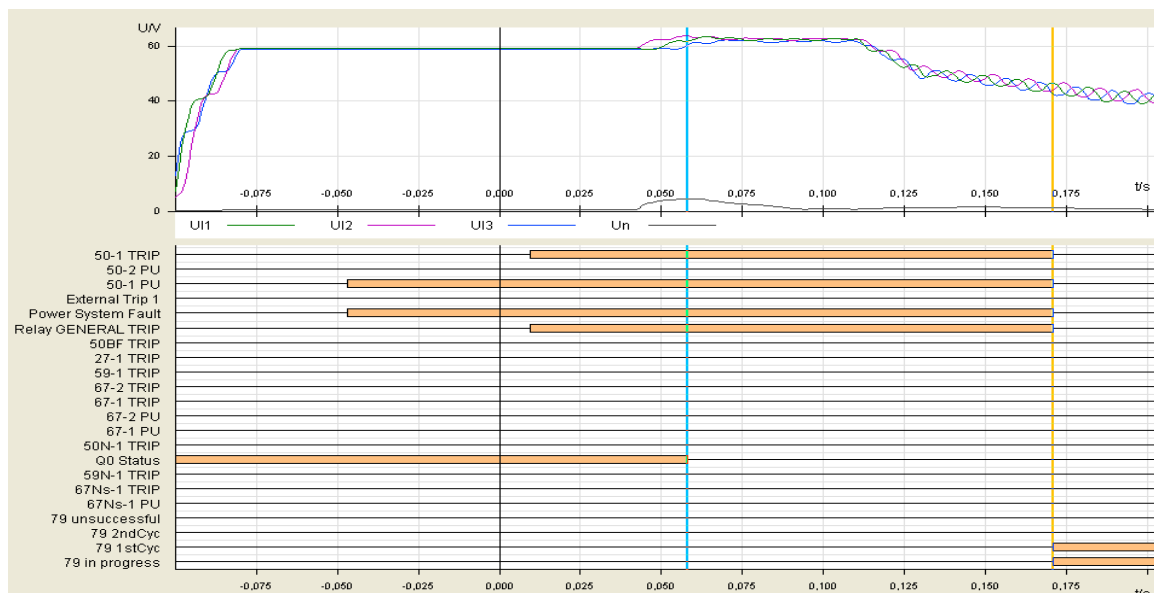
Simulirani ciklus APU-a izvršen je u TS 35/10 kV Okučani na VP 35 kV Stara Gradiška na način da se na VP 35 kV Stara Gradiška sekundarno injektira struja koja bi aktivirala jednu od podešenih zaštita, u ovom slučaju je to bila nadstrujna (50-1). Na terminalu zaštite aktivirana je kao pomoćna funkcija podnaponska zaštita koja je podešena s vremenskim zatezanjem 50 ms, a proračnom vrijednosti 0,8Un. Njezina zadaća je bila pratiti brzinu trajanja pada faznih napona, koji su upućivali na odvajanje elektrane od mreže.

Injektiranjem sekundarne struje na VP 35 kV Stara Gradiška došlo je do isključenja prekidača VP uz trajanje ciklusa kratkog APU-a od 400 ms uz uvjet neujednačenosti snage 1,1 MW. Uređaj koji injektira sekundarnu struju (ISO T-1000) prekida injektiranje sekundarne struje nalogom trip funkcije terminala polja, funkcija APU-a (79) uključuje prekidač te se vraća potrošnja TS 35/10 kV Okučani i TS 35/10 kV Stara Gradiška, a zaštita od otočnog pogona odvaja elektranu od mreže te se pokus smatra uspješnim.

Na slici 10. vidljivo je da vrijeme odvajanja elektrane od trenutka isključenja prekidača u TS 35/10 kV Okučani na VP 35 kV Stara Gradiška, do trenutka isključenja generatorskog prekidača iznosi $T=71$ ms, te je jasno vidljiv pad struje generatora.



Slika 10. Valni oblik napona i struje na 0,4 kV strani blok transformatora +BT u ormaru =NE+KTR BE-TO Sava (odvod prema distributivnoj mreži)



Slika 11 Vremenski prikaz stanja prekidača i promjene faznih napona na =H6 VP Stara Gradiška u TS Okučani prilikom prolaska elektrane kroz kratki ciklus APU-a ($t=400$ ms)

Na slici 11. prikazano je isključenje prekidača nadstrujnom zaštitom (50-1), gdje je stanje prekidača označeno s plavim kursorom. Žuti kursor prikazuje aktivan kratki ciklus APU-a i odbrojavanje vremena 400 ms, gdje je vidljivo da su fazni naponi pali na vrijednost manju od $0,8U_n$, što ukazuje da je elektrana odvojena od mreže za vrijeme $T=113$ ms (slika 11.). Vrijeme mjereno na SCADA sustavu je izmjereno 121 ms, razlika u mjeranju vremena iznosi 8 ms. Pokus potvrđuje da elektrana zadovoljava uvjet vremena isključenja ≤ 300 ms.

	t in ms
Cursor 1:	171,0
Cursor 2:	58,0
C2 - C1	113,000

12.04.2017. 12:11:40.292 S_GRADIŠKA BE-TO SAVA QGEN GENERATOR PREKIDAC ISK APARAT admin Pokus 4 Razlika: 121 ms, disbalans 1,1MW
12.04.2017. 12:11:40.171 OKUCANI 35KV H06 VP - STARA GRADIŠKA PREKIDAC ISK APARAT admin Pokus 4

Slika 12. Prikaz vremena od stanja prekidač isključen do pada faznog napona ispod $0,8 U_n$ iz terminala zaštite i iz SCAD-e u CDU Elektre Slavonski Brod

4. ZAKLJUČAK

Kod priključenja distribuiranih izvora energije na SN mreže izazov predstavljaju one mreže koje u zaštitnim funkcijama koriste funkciju automatskog ponovnog uključanja za otklanjanje prolaznih kvarova (oko 80%).

Rizik predstavlja mogućnost asinkronog uključanja generatora na mrežu što može za posljedicu uzrokovati velike štete. Iz toga razloga je veoma bitna djelotvorna zaštita od otočnog pogona elektrane s dijelom distribucijske mreže, a koja ima zadaću odvajanje elektrana od mreže kod svakog nastanka otočnog pogona.

Provedena su tri ispitivanja koja su uvjetovala puštanje elektrane u trajni pogon paralelno sa distribucijskom mrežom.

Prva dva ispitivanja provedena su sa isključenom funkcijom APU-a uz neujednačenost stanja snaga od 0,1 i 0,6 MW, a kojim se dokazala djelotvornost djelovanja zaštite od otočnog pogona. Rezultati tih ispitivanja su bili preduvjet za ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu usred prolaska elektrane kroz ciklus APU-a čije vrijeme iznosi 400 ms. Simulirani ciklus APU-a izvršen je s neujednačenosti snage od 1,1 MW, te je dokazano da je zaštita od pomaka kuta napona $\Delta\theta$ uspješno prepoznala otočni pogon te odvojila elektranu od mreže.

Sva ispitivanja su vršena putem terminala polja u TS 35/10 kV Okučani, vremenske karakteristike su snimane funkcijom *Disturbance recorder* i obrađivane su u *SIGRA 4 Fault Record Evaluation*, uspoređivane i praćene u SCADA sustavu CDU-a Elektre Slavonski Brod.

5. LITERATURA

- [1] Tehničkim uvjetima za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede, Bilten HEP-a, broj 50 od 18. kolovoza 1995.
- [2] Institut za Elektroprivredu i energetiku i FER Zagreb „Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja elektrane na distribucijsku mrežu-Elektrana na drvnu biomasu SAVA d.o.o Stara gradiška (2000 kW), Elaborat, 2015.
- [3] Inem Končar elektronika i informatika KONPRO „Koncar terminal polja RFX 632“
- [4] KCG598E-LOSS OF MAINS PROTECTION RELAY-SINGLE/THREE PHASE SYSTEM, Datasheet REV: 1.06/10.2015.
- [5] S. Nikolovski, P. Marić “Elaborat podešenja zaštite elektrane na biomasu Slavonija DI na mrežu HEP-a Osijek”, Elaborat ETF Osijek, 2014.
- [6] Smjernice za izradu Elaborata podešenja zaštite, Tim za elektrane HEP ODS Zagreb , 2016.