

Srete Nikolovski  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[srete.nikolovski@etfos.hr](mailto:srete.nikolovski@etfos.hr)

Goran Knežević  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[goran.knezevic@etfos.hr](mailto:goran.knezevic@etfos.hr)

Darko Takač  
Slavonija DI  
[darko.takac@slavonija-di.hr](mailto:darko.takac@slavonija-di.hr)

## KRITIČKA ANALIZA POKUSA PROVJERE ZAŠTITE OD OTOČNOG POGONA ELEKTRANA NA BIOMASU PRI PARALELNOG RADU S DISTRIBUCIJSKOM MREŽOM

### SAŽETAK

Za zaštitu od otočnog pogona elektrane kojima nije dopušten paralelan rad s distribucijskom mrežom koriste se pasivne i aktivne metode zaštite. U radu je matematičkim modelom, eksperimentalnim mjerenjima i simulacijama pokazano da uvjet testiranja elektrane kod APU-a na pojnom vodu elektrane pri debalansu snage  $\Delta P = 0.00$  kW kojeg postavlja HEP ODS u Planu i protokolu ispitivanja pred elektrane na biomasu, nije moguće tehnički realizirati. Zahtjev da se obavi APU na pojnom vodu elektrane s mrežom tako da se otvori prekidač na pojnom vodu s beznaponskom pauzom od 300-400 ms, pri jednakom opterećenju voda i proizvodnje elektrane, to jest pri  $\Delta P = 0.00$  kW i pri zahtjevu da to generatorska zaštita prepozna i odradi isključ elektrane u vremenu manjem od beznaponske pauze brzog APU-a je upitan. Gotovo nikada ne dolazi do prorade niti jedne od pasivnih zaštita naponskih  $U_{<}, U_{<<}, U_{>}, U_{>>}$ , frekvencijskih  $f_{<}, f_{<<}, f_{>}, f_{>>}$ ,  $\Delta\theta$ ,  $df/dt$ , mada iste budu podešene na vrlo brza vremena prorade i time elektrana ne zadovoljava taj pokus. Rad pokazuje da je vjerojatnost zemljospojava i prorade brzih APU-a s koincidencijom debalansa snage od 0,00 kW koju traži HEP ODS, vrlo mala. Stoga rad predlaže da se takav pokus koji nije predviđen Mrežnim pravilima već predstavlja interni postupak HEP- ODS-a treba raditi u realnim pogonskim stanjima elektrane.

**Ključne riječi:** Otočni pogon elektrane, zaštita od otočnog pogona, pokus otočnog pogona, APU, distribucijska mreža

## CRITICAL ANALYSIS OF EXPERIMENTS FOR CHECKING BIOMASS POWER PLANT ISLAND OPERATION PROTECTION IN PARALLEL OPERATION WITH THE DISTRIBUTION SYSTEM

### SUMMARY

For the protection from the island operation of the power plant that is not allowed in parallel operation with the distribution system, passive and active protection methods are used. In this paper, mathematical model, experimental measurements and simulations are provided in order to show that testing condition of the power plant at APU in the feeder by power imbalance  $\Delta P = 0.00$  kW which is determined by HEP ODS in Test plan and protocol cannot be technically realized. The requirement to perform the APU on the feeder where power plant is connected in order to open the circuit breaker on the

feeder with no-load time of 300-400 ms, with an equivalent load in feeder and power plant production, i.e.  $\Delta P=0.00\text{kW}$ , and by requirement of generator protection to recognize this event and switch off power plant in time less than no-load time of rapid APU is rather questionable. Almost never has tripped any of the passive protection of voltage  $U <, U <<, U >, U >>$ , the frequency  $f <, f << f, f >> \Delta\theta >, df / dt >$  although they are set up in a very fast time tripping and thus plants do not meet this test. However, the paper will show that the probability of ground faults and tripping fast APU coincidence with imbalances of the power from 0.00 kW required by HEP ODS is very small. Therefore, the paper proposes that such an experiment which is not provided by Grid Code but represents an internal procedure of HEP ODS, should be done in real operating condition.

**Key words:** island operation, island operation protection, island operation test, APU, distribution network

## 1. UVOD

### 1.1. Detekcija otočnog pogona

Sposobnost detekcije otočnog pogona je jedan od važnijih zahtjeva koji se postavlja pred sustav zaštite distribuiranih generatora prije početka njegovog rada. Pod otočnim pogonom podrazumijeva se stanje sustava kada je dio distributivne mreže isključen od ostatka sustava, ali ostaje napajan od strane distribuiranih generatora spojenih na taj isti dio. Ovakvo stanje je nepoželjno budući da ono povećava sigurnosne rizike za ljude i opremu. Prema mrežnim pravilima HEP-a ono nije dopušteno.

Stoga je poželjno prepoznati otočni pogon i isključiti distribuirani generator čim do njega dođe. Releji bazirani na frekvenciji, brzini promjene frekvencije, pod/nad frekvencijski releji, releji kuta napona, pod / nad naponski releji su pasivni uređaji koji se često koriste u svrhu detekcije otočnog pogona. Preporučeno vrijeme detekcije otočnog pogona je otprilike 300-500 milisekundi. Tri glavna razloga brzog isključenja su: sprječavanje automatskog ponovnog uključanja vodova koji su u kvaru, izbjegavanje mogućnosti pojavljivanja novih kvarova ili drugih opasnih električnih događaja u otočnom sustavu dok su u takvom pogonu od ostatka sustava i smanjenje perioda unutar kojeg je otočni pogon pod naponom, a razmjerno tomu i smanjenje rizika za osoblje koje je zaduženo za održavanje. Međutim, što se zahtjeva kraće vrijeme detekcije otočnog pogona, teža je detekcija za releje bazirane na frekvenciji, a samim time i podešavanje releja za zaštitu od otočnog pogona postaje težak zadatak.

### 1.2. Otočni pogon

Sustav zaštite distribuiranih sinkronih generatora mora biti u mogućnosti pratiti zahtjeve koji se pred njih postavljaju, a jedan od njih je detekcija otočnog pogona unutar preporučenog vremenskog intervala. Prema definiciji, do otočnog pogona dolazi kada dio distributivnog dijela mreže postane električki izoliran od ostatka elektroenergetskog sustava, ali ostaje napajan od strane distribuiranih generatora. Napajanje otočnog dijela sustava može uzrokovati niz problema kako za sam distribuirani generator tako i za priključena opterećenja. Također može ugroziti osoblje zaduženo za održavanje sustava budući da se smatra kako je sustav nakon ispada u beznaponskom stanju nakon isključenja prekidača. Stoga, sve mreže moraju sadržavati zaštitu od otočnog pogona. U tu svrhu obično se koristi relej za detekciju pomaka kuta napona. Svi sinkroni distribuirani generatori su također opremljeni sa pod/nad frekvencijskim relejima [1],[2].

U slučaju otočnog pogona frekvencija i napon se kontroliraju pomoću turbinskih i regulatora uzbude čiju je dinamiku teško modelirati kod izrade EUZ (Elaborata Udešenja Zaštite). Manji generatori često nisu opremljeni s uređajima za kontrolu napona, stoga iznos napona unutar otočne mreže može poprimiti vrijednosti veće ili manje od dopuštenih. Frekvencijska nestabilnost također može biti posljedica otočnog rada. Vremena prorade kratkospojnih zaštita su reda nekoliko stotina milisekundi. Ako postoji APU (automatski ponovni uklop) prekidača na zračnom vodu kojim se napaja elektrana, automatski ponovni uklop generatora može uzrokovati probleme ako generator nema zaštitu od povratne snage [2].

Također, prilikom razdvajanja mreže na otoke dolazi do debalansa aktivne snage, a samim time i promjene frekvencije. Automatsko zatvaranje prekidača značilo bi spajanje dva asinkrona sustava. Kako bi se omogućilo uklanjanje kvara, između razdvajanja generatora i ponovnog uklapanja mora postojati

određena vremenska odgoda. Uobičajeno vrijeme odgode kod releja sa APU-om ponovnog zatvaranja je između 100ms i 1000ms (u HEP ODS-u je ono 300 ms ili 400 ms). Brzina promjene frekvencije izražena je kao funkcija debalansa aktivne snage (1) te inercijske konstante generatora  $H$ , prividne snage generatora  $S_n$  i frekvencije prije otočnog rada  $f_s$  (2).

$$\Delta P = \sum P_{dg} - P_i \quad (1)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P \cdot f_s}{2 \cdot S_n \cdot H} \quad (2)$$

gdje je:

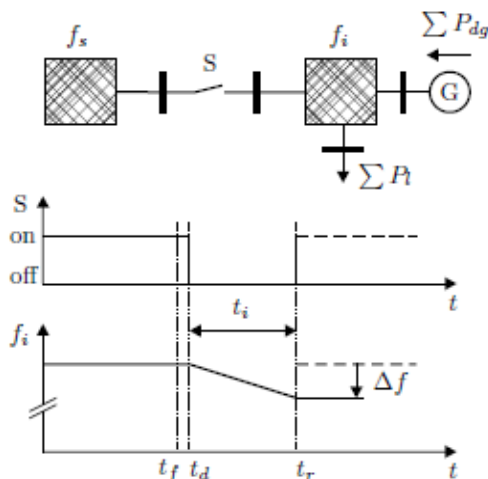
- $\Delta P$  - debalans aktivne snage
- $P_{dg}$  - izlazna snaga generatora
- $P_i$  - snaga potrošnje u otočnom dijelu mreže
- $f_s$  - frekvencija prije otočnog rada
- $H$  - inercijska konstanta generatora
- $S_n$  - prividna snaga generatora.

Iz toga računamo promjenu frekvencije (3):

$$\Delta f = \frac{\Delta P \cdot f_s}{2 \cdot S_n \cdot H} \cdot t_i \quad (3)$$

Ovakav pristup u obzir uzima samo promjenu frekvencije zbog otočnog rada, ali ne i kvar. Iz jednadžbe se vidi da ukoliko se pokus otočnog pogona prema PIPI (Plan i Program Ispitivanja) koji zahtjeva HEP ODS radi s debalansom snage  $\Delta P=0,00$  kW ili malim debalansom snage, neće postojati promjena frekvencije u tako kratkom vremenskom intervalu, posebice jer se dinamika regulatora turbine i regulatora uzbude ne uzimaju u obzir kod proračuna.

Slika 1. prikazuje postupak automatskog ponovnog uklopa kada generator nije isključen, iako je u otočnom radu zajedno s lokalnom mrežom.



Slika 1. Postupak automatskog ponovnog uklopa [3]

Kvar nastaje u trenutku  $t_f$ , isključenje nastupa u trenutku  $t_d$ , ponovni uklop u trenutku  $t_r$  dok  $t_i$  predstavlja vrijeme ponovnog uklopa. S je stanje prekidača, sinkrona frekvencija  $f_s$ , frekvencija otoka  $f_i$ , pad frekvencije  $\Delta f$ . Pretpostavka je da u tom slučaju postoji nedostatak aktivne snage u odvojenom dijelu mreže, stoga dolazi do smanjenja frekvencije.

Otočni rad i ponovni uklop predstavljaju velike izazove u zaštiti distribucijskih mreža. Jedino rješenje ovih problema je isključivanje generatora u trenutku nastanka otočnog rada. Stoga je neophodna brza i pouzdana detekcija tog stanja [3].

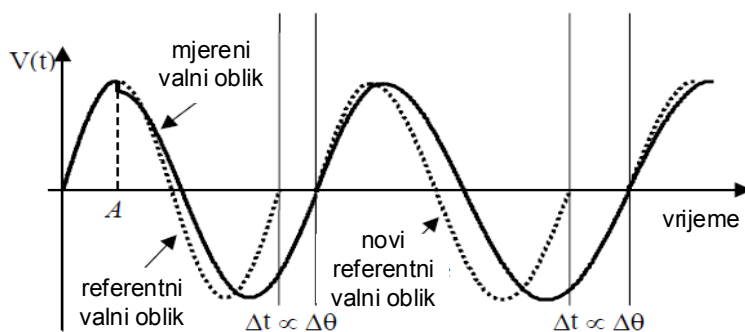
Načini detekcije otočnog rada dijele se na:

- Pasivne metode,
- Aktivne metode,
- Komunikacijske metode.

### 1.3. Detekcija otočnog rada – pasivne metode

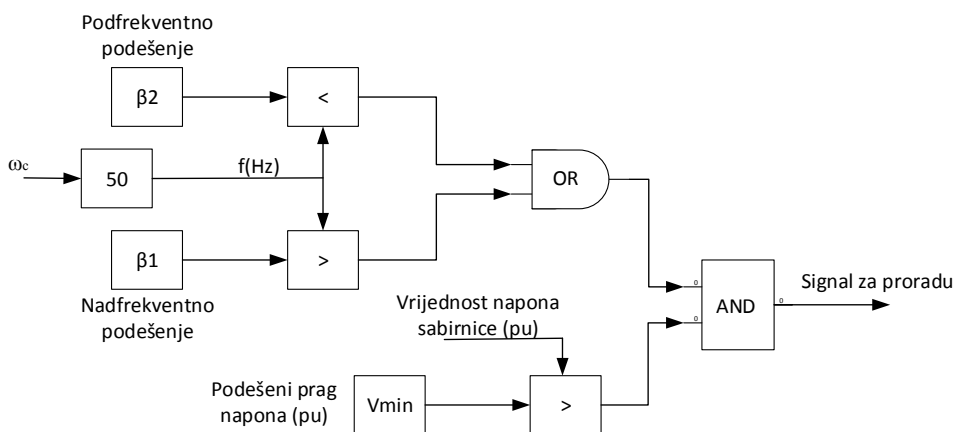
Jasan pokazatelj nedostatka snage u sustavu je nizak napon. Napon također može porasti i prijeći gornju dozvoljenu vrijednost ako uzbudni sustav ne radi dobro. Stoga, **pod/nad-naponski releji**  $U_{<}, U_{<=}, U_{>}, U_{>=}$ , su dovoljni kao jednostavna metoda zaštite od otočnog rada. U većim „otocima“ sniženje napona ispod dopuštenih granica može potrajati, stoga je ovakva vrsta zaštite nerijetko prespora.

Kriterij može biti i **kut pomaka vektora napona generatora i napona u točki priključka distribucijske mreže  $\Delta\theta$** , kako je prikazana na slici 2. Releji pomaka vektora napona mjere vrijeme trajanja električne periode (ciklusa) i počinju novo mjerenje prilikom svakog prolaska napona kroz nulu. Trenutna izmjerena vrijednost (mjereni valni oblik) se uspoređuje sa posljednjim mjerenjem (referentni valni oblik). U slučaju otočnog rada, trajanje periode je ili kraće ili duže, ovisno o tome postoji li manjak ili višak snage u otočnom pogonu. Proporcionalno s duljinom trajanja periode mijenja se i kut napona sabirnice  $\Delta\theta$ , koji je ulazni parametar zaštite od pomaka kuta napona VSR-a (Vector Surge ili Shift Relay). Ako promjena kuta napona sabirnice premaši unaprijed definirani prag  $\Delta\theta$ , prekidaču se šalje signal za isklup. Prag prorade se uobičajeno može podesiti u rasponu od 2 do 20°. Još jedna važna karakteristika ovog releja je mogućnost blokiranja djelovanja releja ukoliko je napon na sabirnici manji od podešenog. Ukoliko dođe do pojave napona koji je manji od podešivog praga  $V_{min}$ , signal iz releja će se blokirati. Ovo se koristi kako bi se izbjeglo djelovanje releja npr. prilikom pokretanja generatora ili kratkih spojeva.



Slika 2. Pomak vektora napona nakon nastupanja otočnog rada

**Pod/nad-frekvencijska zaštita**,  $f_{<}, f_{<=}, f_{>}, f_{>=}$ , koristi se kao jedan od kriterija detekcije otočnog pogona elektrane. Na slici 3 prikazan je model pod/nad frekvencijskog releja.

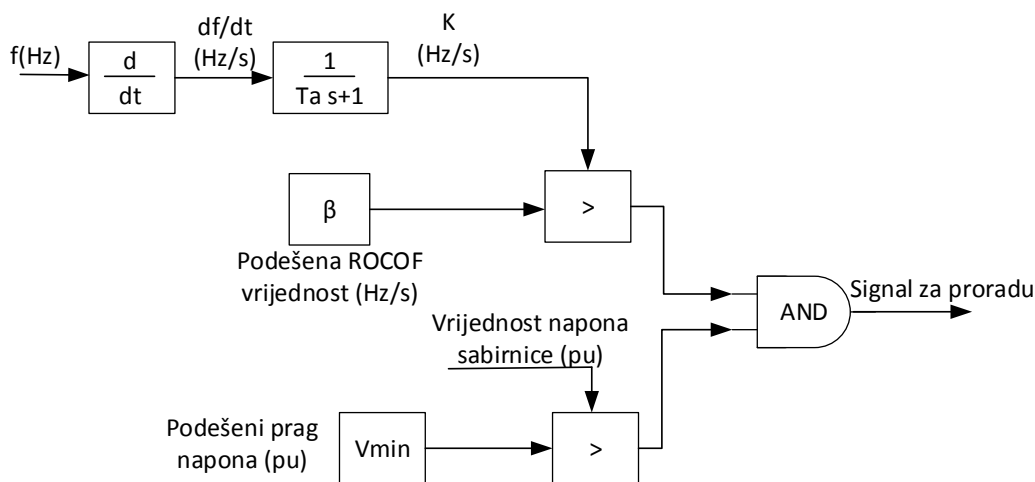


Slika 3. Računalni model pod/nad frekvencijskog releja

Frekvencijski releji mjere trajanje periode napona sabirnice koristeći tehniku detekcije prolaska napona kroz nulu i obrade signala. Frekvencija sustava određena je iz električne brzine generatora  $\omega_c$ . Ako je taj signal veći (ili manji) od unaprijed podešene vrijednosti za nadfrekvenciju (podfrekvenciju) i ako je iznos napona sabirnice veći od minimalnog napona  $V_{min}$ , tada frekvencijski relej šalje signal za isključivanje prekidača generatora (slika 3.). Frekvencijski releji mogu raditi i s vremenskom odgodom. U tom slučaju postoji određeno vrijeme kašnjenje izlaznog signala do prekidača. Tipično, frekvencijski releji se podešavaju u više stupnjeva, stoga se postavke za trenutni isključivanje i isključivanje s vremenskom odgodom mogu koristiti istodobno. Obično, frekvencijski relej se može blokirati ako napon sabirnice padne ispod podešivog praga  $V_{min}$ . To se npr. koristi kako bi se izbjeglo aktiviranje releja prilikom pokretanja generatora.

Promjene napona u distributivnim sustavima su uglavnom spore. Ako dođe do odvajanja generatora s distributivne mreže, brzina promjene napona može biti veća nego što je u slučaju normalnog pogona. Stoga se **brzina promjene napona ROCOV** (Rate of Change of Voltage) može koristiti kao metoda detekcije otočnog rada. Glavni nedostatak ove metode je da je osim na otočni rad, osjetljiva i na poremećaje u mreži,

Releji koji prate **brzinu promjene frekvencije ROCOF** (Rate of Change of Frequency) ili  $\Delta f/\Delta t$  računaju brzinu promjene frekvencije u vremenu uzimajući u obzir nekoliko perioda (ciklusa), obično između 2 i 50. Signal se obrađuje pomoću filtera i tako dobiveni signal K se koristi za detekciju otočnog rada. Ako je vrijednost brzine promjene frekvencije veća od podešene vrijednosti praga na samom releju  $\beta$ , signal za isključivanje se istovremeno šalje prekidaču na generatoru. Uobičajene postavke ROCOF releja korištenih u sustavima od 50Hz su između 0.1 Hz/s i 2.0 Hz/s. Još jedna važna karakteristika ovih releja je funkcija blokiranja releja ovisno o naponu. Ako mjereni napon padne ispod podešivog nivoa  $V_{min}$ , djelovanje releja će biti blokirano. To se koristi npr. kako bi se izbjeglo djelovanje releja prilikom pokretanja generatora ili kratkih spojeva. Princip rada ROCOF releja je prikazana na slici 4. Na slici, K je brzina promjene frekvencije nakon obrade signala u filteru [2].



Slika 4. Računalni model ROCOF releja

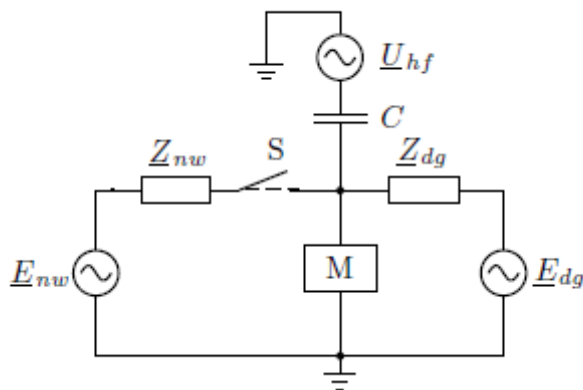
#### 1.4. Detekcija otočnog rada – aktivne metode

Osim pasivnih metoda zaštite od otočnog pogona, postoje aktivne metode za detekciju otočnog pogona generatora gdje je sustav detekcije (releji) u stalnoj komunikaciji s distribucijskom mrežom kako bi dobio informaciju u slučaju pojave otočnog pogona. Aktivne metode temelje se slanju malih smetnji u mrežu te praćenju povratnih informacija utjecaja tih smetnji na električne veličine koje se mjere u točki priključenja elektrane na mrežu [2].

**Promjena reaktivne izlazne snage** - Kod ovakve metode detekcije, na generatoru se prati količina reaktivne snage koju on proizvodi. Kada god dođe do otočnog pogona, pretpostavlja se da tu određenu količinu reaktivne snage generator neće moći isporučiti mreži, budući da je odvojen od mreže i koja je to mogla nadoknaditi. U tom slučaju će doći promjene reaktivne snage generatora što će indicirati stanje otočnog rada.

**Pomak napona** - Ova metoda koristi pozitivnu povratnu vezu prema amplitudi napona u točki priključenja uglavnom za FN sustave. Izmjenjivač konstantno mjeri napon u točki priključenja. Ako dođe do smanjenja napona, izmjenjivač smanjuje izlaznu struju, a time i snagu. Kad je izmjenjivač spojen na krutu mrežu, ova promjena snage ne utječe znatno na električne prilike u mreži. Međutim, nestankom mrežnog napajanja dolazi do smanjenja napona u točki priključenja, izmjenjivač smanjuje izlaznu struju što dovodi do smanjenja napona. To se ponavlja dok napon ne dosegne vrijednost prorade podnaponske zaštite. U praksi se preporuča smanjenje izlazne struje zbog smanjene mogućnosti oštećenja električnih uređaja i opreme. Prednost ove metode je laka i jeftina primjena u izmjenjivačima s mikro kontrolerima.

**Nadziranje impedancije sustava** - Detekcija otočnog rada može se izvršiti i promatranjem impedancije sustava. Visokofrekvencijski izvor (napona nekoliko volti s frekvencijom od nekoliko kHz) je spojen preko kondenzatora na točku spoja generatora i mreže.



Slika 5. Nadziranje impedancije sustava [3]

Kondenzator je spojen u seriju s ekvivalentnom impedancijom mreže. Kada su sustavi sinkronizirani, impedancija  $Z_{dg} || Z_{nw}$  je mala, stoga je amplituda visokofrekvencijskih valova u točki spoja zanemariva. Nakon pojave otočnog rada, impedancija se drastično poveća do  $Z_{dg}$  i tada je visokofrekvencijski signal lako detektirati.

**Pomak frekvencije** - Izmjenjivač pomoću ugrađenih mikrokontrolera izobličava valni oblik izlazne struje povećavanjem frekvencije polovice valnog oblika izlazne struje, a zatim drži struju na nuli dok ne dostigne frekvenciju vala mrežnog napona. Isto se ponavlja i u drugoj polovici sinusnog vala.

U normalnom pogonu ta promjena frekvencije ne utječe na frekvenciju krute mreže na koju je elektrana priključena. U slučaju nastanka otočnog rada, frekvencija napona će se povećati jer napon prati izlaznu struju izmjenjivača te nastoji presjeći x-os u istoj vremenskoj točki kao i izlazna struja izmjenjivača. S obzirom da je valni oblik struje narušen, nastaje greška u fazi zbog razlike u vremenu početka druge polovice vala  $t_0$ . Izmjenjivač registrira tu faznu razliku i povećava frekvenciju izlazne struje kako bi eliminirao grešku u fazi. To opet uzrokuje povećanje frekvencije napona mreže. Ovaj ciklus se ponavlja sve dok frekvencija ne prijeđe granice frekvencijske zaštite izmjenjivača koja će potom odvojiti elektranu od mreže.

Prednosti ove metode su laka implementacija i relativno jeftina izvedba što je bitno za izmjenjivače manjih elektrana. Također, ova metoda je vrlo učinkovita u detekciji otočnog rada te je zona u kojoj se otočni rad ne može detektirati gotovo zanemariva.

Nedostatak ove metode je, kao i kod svih aktivnih metoda, to što narušava kvalitetu električne energije zbog slanja smetnji u mrežu. Smetnje pojedinog izmjenjivača ne predstavljaju veliki problem za krutu mrežu, ali veliki broj takvih izmjenjivača može narušiti postojeće električne prilike u mreži. Ovakva zaštita često se koristi za fotonaponske sustave.

## 2. VJEROJATNOST KOINCIDENCIJE APU-a I IZJEDNAČENJA SNAGE GENERATORA I POTROŠNJE

Vjerojatnost pojave izjednačenja snage generatora i potrošnje u dijelu mreže u kojem postoji mogućnost ostvarivanja otočnog pogona ( $\Delta P = 0,00$  kW) može se izračunati iz nagiba karakteristike

promjene snage u vremenu prilikom pokretanja generatora i dostizanja nazivne izlazne snage te broja pokretanja generatora u godini. Vjerojatnost istovremenog događaja izjednačenja snage te prorade APU ( $p_{B,APU}$ ) jednaka je:

$$p_{B,APU} = \lambda_B \cdot p_B \cdot \lambda_{APU} \cdot p_{APU} \quad (4)$$

pri čemu su :

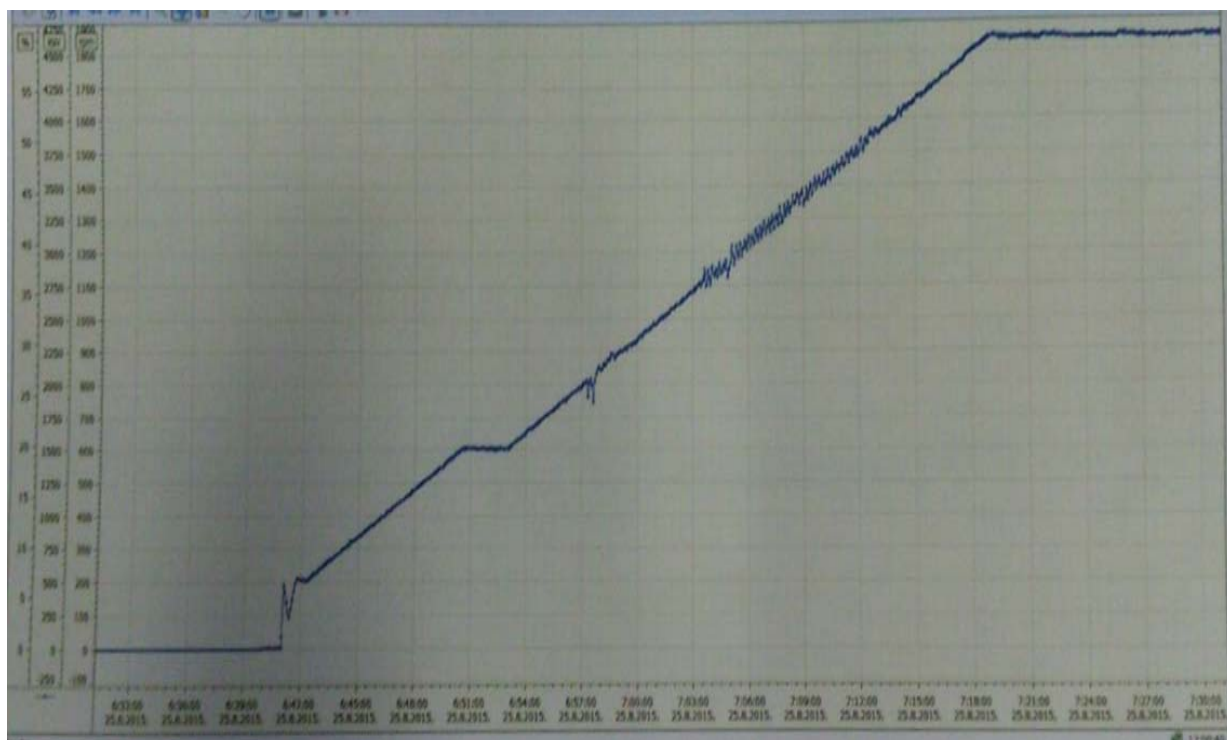
- $\lambda_B$  - učestalost pokretanja generatora,
- $p_B$  - vjerojatnost izjednačenja snage,
- $p_{APU}$  - vjerojatnost APU
- $\lambda_{APU}$  - učestalost prorade APU.

### 3. PRIMJER ZAŠTITE OD OTOČNOG POGONA

Kao primjer problema kod pokusa otočnog pogona prikazat će se elektrana na biomasu Slavonija DI snage 4,66 MW. U elektrani je detektiran problem prilikom provođenja ispitivanja zaštite od otočnog pogona jer kod APU u mreži 10 kV nije došlo do isklapanja prekidača za odvajanje u zahtijevanom vremenu manjem od 300 ms koliko je podešen brzi ponovni uklop kod APU-a.

#### 3.1. Vjerojatnost koincidencije APU-a i izjednačenja snage generatora i potrošnje za promatranu elektranu

Izlazna snaga promatrane elektrane u normalnom je pogonu uvijek veća od snage potrošnje dijela mreže u kojem postoji mogućnost ostvarivanja otočnog pogona. Ukoliko dođe do pojave APU-a u 10 kV mreži gdje je spojena elektrana, proradit će zaštita od otočnog rada budući da dolazi do debalansa snage. Slučaj kada je izlazna snaga elektrane jednaka snazi potrošnje promatranog područja može se ostvariti jedino prilikom pokretanja elektrane kada se pri postepenom povećavanju izlazne snage upravo u jednom trenutku izjednači izlazna snaga elektrane i potrošnja promatranog područja. Pretpostavimo da će u slučaju debalansa snage od  $\pm 10\%$  sasvim sigurno proraditi pod/nad frekvencijska zaštita. Dakle, problem nedjelovanja zaštite ostaje u trenucima kada je debalans snage unutar 10% [5]. Trajanje ovog stanja može se izračunati prema nagibu karakteristike promjene snage u ovisnosti o vremenu prilikom pokretanja generatora i dostizanja nazivne izlazne snage (slika 6.) Nagib karakteristike iznosi 100kW/50s.



Slika 6. Karakteristike promjene izlazne snage u ovisnosti o vremenu prilikom pokretanja generatora [8]

Ukoliko se pretpostavi vlastita potrošnja promatranog područja u iznosu 1500 kW, interval izlazne snage u kojemu prema pretpostavci neće dovoljno pouzdano odraditi pod/nad frekvencijska zaštita iznosi od 1350 kW do 1650 kW izlazne snage generatora. Duljina trajanja ovog stanja te pripadno relativno trajanje u odnosu na vrijeme od godinu dana:

$$\tau_B = (1650kW - 1350kW) \cdot \frac{50s}{100kW} = 300kW \cdot \frac{50s}{100kW} = 150s \quad (5)$$

$$p_B = \frac{\tau_b}{8760 \cdot 3600} = \frac{150}{31536000} = 4,75647 \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

Duljina trajanja APU iznosi 300 ms. Relativno trajanje APU u odnosu na vrijeme od godinu dana iznosi:

$$p_{APU} = \frac{0,3}{8760 \cdot 3600} = \frac{0,3}{31536000} = 9,51294 \cdot 10^{-9} \quad (7)$$

Prema prikupljenim podacima za promatrani slučaj, u 10 kV mreži putem koje se odvija evakuacija proizvedene električne energije iz elektrane u posljednje 3 godine zabilježeno je 4 prorade APU, čime je učestalost prorade na godišnjoj razini jednaka:

$$\lambda_{APU} = \frac{4}{3} = 1,333 \quad (8)$$

Budući da se pokretanje elektrane odvija prosječno 2 puta tjedno, prosječna učestalost pokretanja elektrane na godišnjoj razini iznosi:

$$\lambda_B = 2 \cdot 54 = 108 \quad (9)$$

Ukupna vjerojatnost istodobnosti pojavljivanja izjednačenja snage manjeg od 10% izlazne snage elektrane te APU u promatranoj 10 kV mreži iznosi:

$$p_{B,APU} = \lambda_B \cdot p_B \cdot \lambda_{APU} \cdot p_{APU} = 6,499 \cdot 10^{-12} \quad (10)$$

Iz ovoga se rezultata vidi da je koincidencija događaja da APU na 35 kV vodu nastane kada nastaje i debalans snage na vodu od 0,00 kW iznimno rijedak događaj s vrlo malom vjerojatnošću iznosa  $6,5 \cdot 10^{-12}$  nastanka te se predlaže da se u HEP ODS- u ne ispituje u pokusu PPI takav događaj, već događaj s debalansima snage od 10% do 20%, što je puno vjerojatnije pogonsko stanje.

### 3.2 Podešenja zaštite za odvajanje u elektrani Slavonija DI

Podešenja zaštite za odvajanje u elektrani Slavonija DI prikazana su u tablici I. Na slici 7. prikazana su podešenja zaštite elektrane i okolne mreže.

Tablica I. Podešenja zaštite za odvajanje u elektrani Slavonija DI

OPIS	PODEŠENJE	PRIMARNA VRIJEDNOST	VRIJEME ZATEZANJA	DJELOVANJE
Podnaponska U<<	85%	8,5 kV	0,15 s	Isklop
Nadnaponska U>>	115 %	11,5 kV	0,10 s	Isklop
Podfrekvencijska f<<	49	49,0 Hz	0,10 s	isklop
Nadfrekvencijska f>>	51,0	51,0 Hz	0,10 s	Isklop
Pomak kuta napona $\Delta\theta$		7 °	0,00 s	isklop
ROCOF ili df/dt zaštita		0,2 Hz/s	0,20 s	isklop

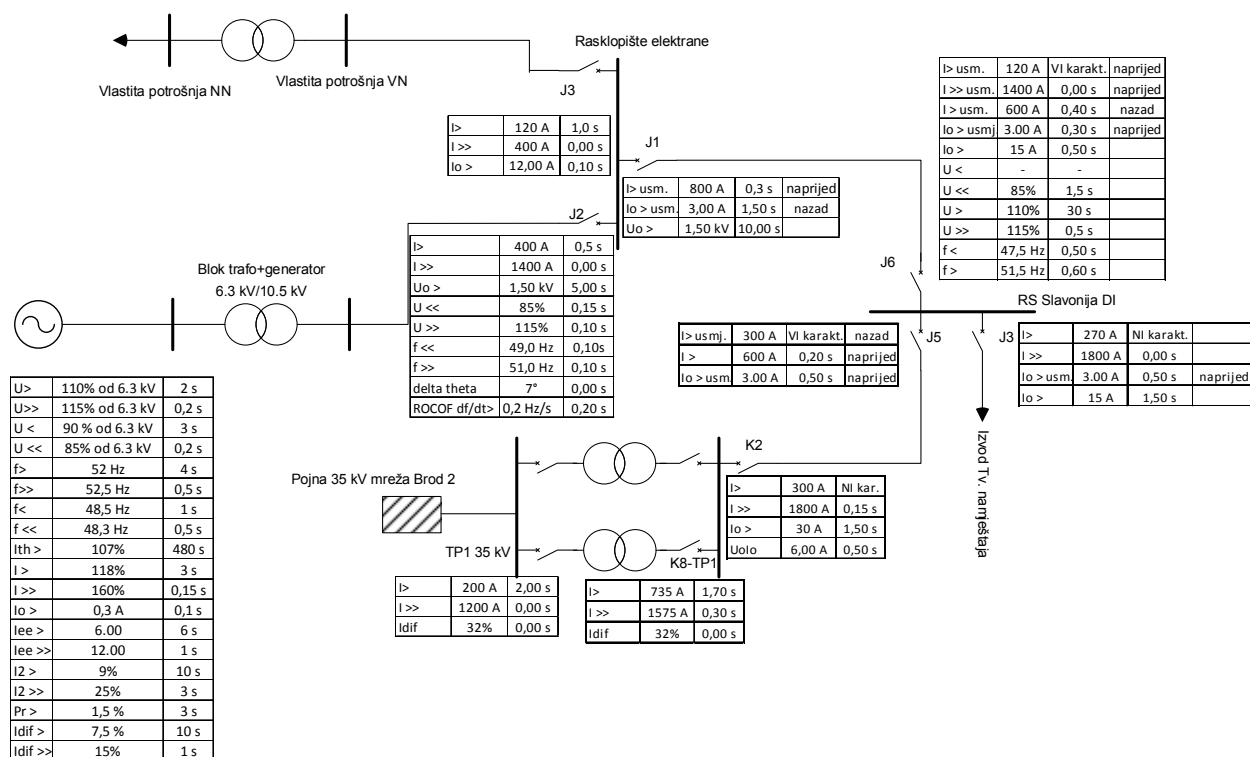
Relej odvaja generator od mreže pri proradi sljedećih zaštita : U<<; U>>; f<<; f>>, df/dt i  $\Delta\theta$  i djeluje na polje J2.

Testiranje je u elektrani izvedeno u dva pokušaja prema PPI tvrtke Telenerg d.o.o. [8]. Oba pokušaja pokazala su neuspješno djelovanje pasivne zaštite. U prvom pokušaju odradila je



podfrekvencijska zaštita u polju J6 u vremenu od 0,5s, te su polja J1 i J2 također isključena. U drugom pokušaju odradila je nadfrekvencijska zaštita polju J2 nakon 3,8s.

Problem odvajanja elektrane od mreže pri pokusu APU-a je na insistiranje HEP ODS na debalansu snage  $\Delta P=0,00$  kW riješeno dodatnom ugradnjom komunikacijskog sustava i korištenjem optike te je time otklonjena mogućnost asinkronog uklopa u slučaju prorade APU. S navedenim sustavom ostvaren je isklon kod APU-a u vremenu od  $t = 270$  ms.



Slika 7. Podešenja zaštite elektrane i okolne mreže

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane metode pasivne zaštite elektrane na biomasu koje se standardno primjenjuju kod svih elektrana s klasičnim sinkronima generatorima u EU, pa tako i u Hrvatskoj. Standardne zaštite koje se koriste za odvajanje elektrane od mreže su: pod/nad naponske  $U<$ ,  $U<<$ ,  $U>$ ,  $U>>$ , pod/nad frekvencijske  $f<$ ,  $f<<$ ,  $f>$ ,  $f>>$ , zaštita od pomaka kuta napona  $\Delta\theta>$ , i zaštita brzine promjene frekvencije  $df/dt>$ . Kako HEP ODS traži isklon generatora u vremenu manjem od vremena ponovnog uklopa kod APU-a na priključnom vodu elektrane (300 ms-400 ms), niti jedna pasivna zaštita ne može detektirati otočni pogon u slučaju izjednačenja snage generatora i konzuma u odvojenom otočnom dijelu mreže, sukladno jednadžbi njihovanja sinkronih generatora. Kako je vjerojatnost koincidencije nastanka APU-a na zračnom vodu uz pojavu debalansa snage generatora i konzuma  $\Delta P=0.00$  kW u tada otočnom dijelu mreže iznimno mala, tj. predstavlja vrlo malo vjerojatan događaj, preporučuje se sukladno međunarodnoj znanstvenoj i stručnoj literaturi da se pokus izvodi pri debalansima snage od 10% do 20% što bi uzrokovalo proradu neke od pasivnih zaštita. Svakako je potrebno da svaki suvremeni generator ima i zaštitu od povratne snage s nisko podešenim vrijednostima koja bi proradila ukoliko nastane asinkroni uklop generatora na mrežu.

#### 5. LITERATURA

- [1] A. M. Tayebi, M. Akhbari, "A Comparison between Frequency Relays and Vector Surge Relays for Synchronous DG antiislanding Protection", EuroCon, Zagreb, Croatia 2013

- [2] S. Maršić, "Uređaj za sinkronizaciju i zaštitu od otočnog rada elektrane na biomasu snage 9,5 MW" diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2015.
- [3] Martin Geidl, "Protection of Power Systems with Distributed Generation, State of the Art", 2005 dostupno na: <https://e-collection.library.ethz.ch/eserv.php?pid=eth:27990&dsID=eth-27990-01.pdf> , pristup ostvaren: 10.12.2015
- [4] A. Dysko "Risk Assessment Analysis to Find Optimum ROCOF Protection Settings" University of Strathclyde, Glasgow, 2013.
- [5] A. Dysko, I. Abdulhadi, X. Li and C. Booth, "Assessment of Risk Resulting from the Adjustment of ROCOF Based Loss of Mains Protection Settings, Phase I " University of Strathclyde, Glasgow 2013.
- [6] S. Nikolovski, "Zaštita u elektroenergetskom sustavu", Grafika d.o.o., Osijek, 2007.
- [7] S. Nikolovski, P. Marić, M. Vukobratović, „Detekcija i zaštita od otočnog pogona distribuiranih elektrana priključenih na distribucijsku elektroenergetsku mrežu“, međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje ENERGETSKA I PROCESNA POSTROJENJA i 6. međunarodni FORUM O OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE, Rovinj, Croatia, 2014
- [8] Plan i program ispitivanja elektrane Slavonija DI, TEENERG d.o.o., Zagreb, 2015.
- [9] S. Nikolovski, P. Marić. K. Fekete, M. Vukobratović, „Elaborat podešenje zaštite elektrane na biomasu SLAVONIJA DI na mrežu HEP-a", ETF Osijek, 2015.