

Marijan Lukač
HEP ODS d.o.o. Elektra Zagreb
marijan.lukac@hep.hr

Zdravko Matišić
HEP ODS d.o.o. Elektra Koprivnica
zdravko.maticic@hep.hr

ZAŠTITA OD OTOČNOG POGONA DISTRIBUIRANIH IZVORA OBZIROM NA OSJETLJIVOST U BALANSU I STABILNOST ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

SAŽETAK

Članak analizira problematiku otočnog pogona distribuiranih izvora u mreži obzirom na našu praksu da distribuirani izvori ne smiju raditi u otočnom pogon. Općenito je poznato da uobičajene pasivne zaštite od otočnog pogona kod približnog balansa aktivne i jalove snage svih tereta i izvora otočne mreže ne mogu sigurno otkriti otočni pogon distribuiranog izvora te uvijek postoji ne-detektirajuća zona (NDZ). Aktivne zaštite su nešto pouzdanije u otkrivanju otočnog pogona ali su kompliciranije, sporije te unose dodatne smetnje u mrežu. Treća opcija su zaštite bazirane na komunikacijskom povezivanju uređaja, ali za takva rješenja mora postojati zahtjevena i skupa komunikacijska infrastruktura.

Također članak obrađuje neke nove inačice adaptivnih pasivnih zaštita od otočnog pogona, a poseban osvrt daje se na utjecaj novih propisa za mreže s distribuiranim izvorima koji zahtijevaju regulaciju radne i jalove snage na izvorima te pogoršavaju uvjete rada zaštitama od otočnog pogona.

Ključne riječi: distribuirani izvori, otočni pogon, zaštita, balans, NDZ, stabilnost

ANTI-ISLANDING PROTECTION OF DISTRIBUTED GENERATORS WITH REGARD TO SENSITIVITY IN A BALANCE AND POWER SYSTEM STABILITY

SUMMARY

This article analyses the problem of distributed generation island operation in network considering the fact that island operation is not allowed. Generally the common anti-island protection of distributed generation is not always reliable due to the existence of non-detected zone (NDZ) when active and reactive power of all loads and sources in the grid are near the balance. Active protection methods are more reliable in grid connection detection, but those methods are more complicated, slower and enter additional interference to the grid. Third option are protection methods based on communications, but those methods require complex and expensive communication infrastructure.

In addition article deals with some instances of adaptive passive protection methods for island detection, and special review is made on influence of new grid regulations in European distributed grids which require regulation of active and reactive power of distributed generation and has negative effect on island operation detection and protection function.

Key words: distributed generators, islanding, protection, balance, NDZ, stability

1. UVOD

1.1. Nastanak otočnog pogona distribuiranih izvora i problemi koje izaziva

Otočni pogon dijela distribucijske mreže nastaje u slučaju zahtjeva za promjenom pogonskog stanja mreže prilikom čega se vrši izdvajanje dijela radialne mreže koja ostaje izolirana od glavne mreže u otočnom pogonu sa distribuiranim izvorima. Također otočni pogon nastaje odvajanjem djela mreže u slučaju kvara kada se kvarni dio mreže zaštitnim relejom odvaja od glavnog mrežnog izvora. U oba slučaja potrebno je odvojiti izvor od mreže na mjestu kontrole sinkronizma u elektrani kako bi ponovno uključenje izvora nakon uspostave mrežnog napona bilo u potpunosti kontrolirano. Inače uz štete koje može prouzrokovati mogući asinkroni uklop postoji opasnost od ugroze osoblja koje opslužuje neočekivano napajanu distribucijsku mrežu. Nekontrolirani otočni pogon mreže u kvarnom ili poremećenom stanju može prouzrokovati oštećenje ugrađene opreme. Prije same analize ponašanja distribuiranih izvora kod nastanka otočne mreže potrebno je točno odrediti moguće zone razdvajanja mreže kako bi se mogle analizirati strujno naponske prilike događaja nastanka otoka primjenom adekvatnih softvera sa parametrima točno određene mreže.

U otočnom pogonu mreže kao osnovna zaštita oduvijek se koristila pasivna metoda prepoznavanja i isključenja nadzorom frekvencije i napona čime ograničavamo duži otočni pogon sa nezadovoljavajućom kvalitetom električne energije. Zbog planiranja da distribuirani izvori postanu bitni čimbenici elektroenergetskog sustava te mogućnosti da utječu na stabilnost mreže ne smijemo koristiti samo zaštitu baziranu na mjerenju iznosa frekvencije i napona na izvoru kao osnovnu brzu zaštitu od otočnog pogona jer ne može razlikovati otočni pogon od prolaznih poremećaja u mreži. Kako bi nakon isključenja glavnog mrežnog napajanja otočna mreža ostala u beznaponskom stanju u jednom razumno kratkom vremenu počele su se razvijati nove zaštitne metode za otkrivanje otočnog pogona djela mreže s distribuiranim izvorima.

1.2. Problemi u otkrivanju otočnog pogona

Potrebno vrijeme isključenja DI u otoku određeno je stupnjem upotrebe automatike u mreži. Obzirom da se u našoj mreži planira uvesti veći stupanj automatizacije već sada moramo razmišljati kako da skratimo vrijeme isključenja izvora koji ulazi u nedozvoljeni otočni pogon.

Trenutno se u našoj mreži najviše koristi funkcija brzog automatskog ponovnog uključanja kod prolaznog kvara kao funkcija koja dolazi uz relejnu zaštitu. Događaj brzog APU-a najteži je uvjet isključenja izvora, jer u slučaju da izvor nije isključen za vrijeme kvara nastaje kratkotrajni otočni pogon u beznaponskoj pauzi. Za našu mrežu vrijeme ponovnog uključanja (beznaponske pauze) iznosi 0,4 s, pa se izvor mora isključiti u vremenu 0,2-0,3 s nakon nastanka otoka kako bi se ispunili uvjeti za uspješan APU. Potreba tako brzog isključenja izvora u slučaju nastanka otočnog pogona stvara probleme kod odabira metode. Planirana daljnja automatizacija mreže uključuje lociranje kvara i automatsko preklapanje dijela mreže na drugi izvod, a poželjno je da vrijeme beznaponske pauze bude što kraće. Stoga je potrebno da vrijeme isključenje izvora sa otočne mreže bude što je moguće kraće i u mrežama koje ne koriste brzi APU.

Najveći problem za sigurno otkrivanje otočnog pogona je slučaj balansa snaga koje daju distribuirani izvori i potrošnje u otočnoj mreži. U slučaju potpunog balansa snaga otočni pogon moguće je prepoznati samo aktivnim i komunikacijskim metodama. Obzirom na karakteristike pogona distribucijske mreže balans snaga je samo teoretska vrijednost koju je u stvarnosti gotovo nemoguće dostići, ali i stanja približna balansu nisu selektivno prepoznatljiva upotrebom zaštitnih pasivnih metoda direktno iz izmjerenih električnih signala. Stoga su se razvile aktivne metode na ideji da se injektiraju dodatni električni signali u mrežu kako bi se otkrio otočni pogon. Takve metode su pouzdanije od pasivnih metoda ali zbog potrebe periodičkog utiskivanja dodatnog signala u mrežu najčešće su sporije i negativno utječu na kvalitetu električne energije dok istodobno može doći do interferencije između utisnutih signala sa više izvora. Kako bi se postojeće metode poboljšale razvijaju se adaptivne metode sa složenim algoritmima te se upotrebljavaju kombinacije aktivnih metode sa pasivnima. Razvojem komunikacijskih mreža sve više su dostupne i komunikacijske metode koje zaključak o nastanku otočnog pogona donose tek nakon razmjene informacija između mjesta priključka izvora i drugih čvorova mreže.

2. NAJČEŠĆE ZAŠTITNE METODE OD OTOČNOG POGONA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

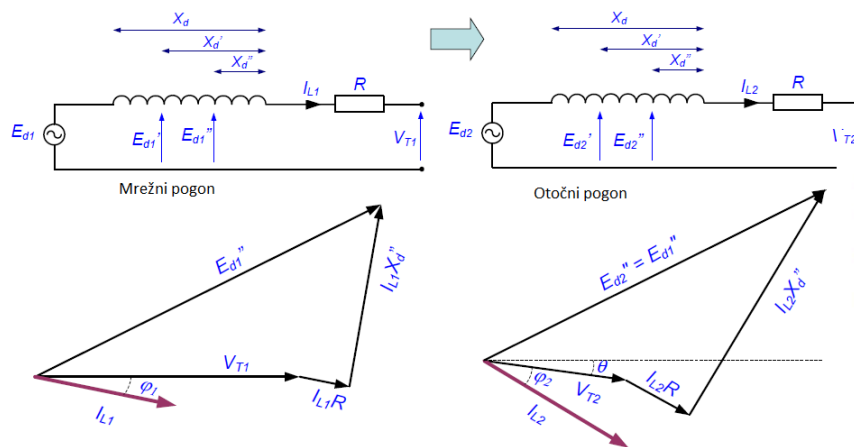
2.1. Osnovna podjela distribuiranih izvora i njihova osjetljivost na otočni pogon

Distribuirani izvori se obzirom na način izvedbe dijele na dva osnovna tipa, pretvaračke (elektroničke) i rotirajuće (mehaničke). Dok izvori koji predaju energiju u mrežu preko pretvarača složenim elektroničkim sklopovljem pretvaraju istosmjerni napon izvora na ulazu u izmjenični prema mreži, kod rotirajućih izvora na izlazu izvora direktno dobivamo izmjenični napon. Rotirajući izvori također se mogu na mrežu priključiti preko elektroničkih pretvarača. Izvori temeljeni na novijoj pretvaračkoj tehnologiji imaju u sebi ugrađene kombinirane aktivne i pasivne metode otkrivanja otočnog pogona koje uspješno i brzo otkrivaju otočni pogon. Tehnologija izvora sa pretvaračima ubrzano napreduje pa je teško doći do detaljnih informacija o korištenim metodama. Istodobno praksa je pokazala da je puno veći problem kod događaja otočnog pogona u mrežama koje imaju ugrađene rotirajuće izvore u izvedbi asinkronih i sinkronih generatora. Kod izvora sa sinkronih generatorima još više je naglašen problem asinkronog uklopa na mrežu.

Zbog inercije rotirajućih izvora i postojanja razlike u proizvodnji i potrošnji u slučaju nastanka otočnog pogona dolazi do titranja napona i frekvencije. Međutim takve dinamičke pojave izazivaju i neki drugi događaji u mreži kao npr. događaj kvara na vanjskoj mreži, preklopi velikih tereta na mreži, veći ispadi proizvodnje. Pasivne metode koje su najjednostavnije i najjeftinije nisu u potpunosti pogodne za sigurno i brzo prepoznavanje otočnog pogona jer ne mogu selektivno razlikovati otočni pogon od ostalih spomenutih događaja, a selektivnost je teže postići u slučaju otočnog pogona sa malom razlikom između proizvodnje i potrošnje. Za uspješnije korištenje pasivnih metoda potrebno je poznavanje svih parametara izvora i karakteristika mreže. Ipak postavljanje releja u položaj veće osjetljivosti za prepoznavanje otočnog pogona povećava vjerojatnost neselektivnih ispada izvora uslijed prolaznih dinamičkih događaja na mreži [11].

2.2. Pasivne zaštitne metode

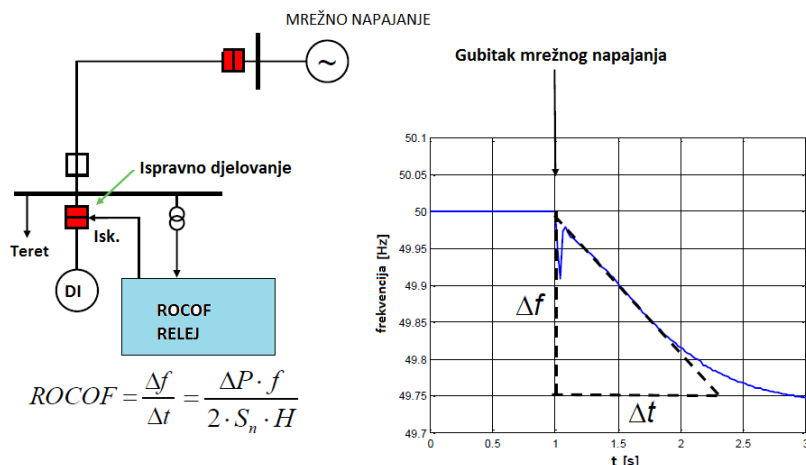
Osim pasivnih metoda po iznosu napona i frekvencije najčešće se koriste metode koje mjere brze promjene izmjerenih fizikalnih veličina, kao što su metode brze promjene frekvencije (ROCOF) i pomaka vektora napona (vector shift) koje nastaju u trenutku kada dio mreže s izvorima ulazi u otočni pogon. Slijedeće dvije slike ukazat će na fizikalni princip njihova korištenja.



Slika 1. Metoda pomaka vektora napona (vector shift) [10]

Na slici 1 se vrlo jasno vidi fizikalna pozadina metode pomaka vektora napona kada se zbog promjene napajanja tereta kod nastanka otočnog pogona mijenja kut napona iz vrijednosti φ_1 u φ_2 . Releji mjere uzastopno kut napona i kada se u dvije periode dogodi promjena veća od predviđene relej prorađuje. Na slici 2. vidi se grafički primjer brze promjene frekvencije kod ulaska izvora u otočni pogon. Releji mjeri frekvenciju iz napona i računa promjenu frekvencije koja se dešava prema upisanoj formuli gdje su ključna dva parametra inercija agregata (H) i razlika u snazi proizvodnje i potrošnje (ΔP) [10]. Kod obaju metoda moramo imati razliku u potrošnji i proizvodnji da bi releji bili dovoljno osjetljivi i sigurno prepoznali otočni pogon. Područje neosjetljivosti releja naziva se ne-detektirajuća zona (NDZ), a određuje ga minimalna razlika u proizvodnji i potrošnji kod koje releji sigurno i brzo prepoznaju otočni pogon. U odnosu na same početke algoritmi metoda su se poboljšali ali metode još uvijek nisu dovoljno dobre kako bi se pouzdano mogle koristiti u mrežama sa automatskim ponovnim uklopom i preklopom, a ista tako i

mrežama gdje se ispadom izvora ugrožava stabilnost sustava. U slučaju namjernog izazivanja potrebne neravnoteže snaga metode bi se mogle uspješno primjenjivati.



Slika 2. Metoda brze promjene frekvencije (ROCOF) [10]

Postoje istraživanja koja pokazuju kako ove metode rade u određenoj mreži tj. kakva bi trebala biti podešenja releja za određenu mrežu za najbolji rad metoda, a upravo to i je problem da podešenja releja dosta ovise o mreži u koju se ugrađuju pa je često potrebno napraviti i probna mjerenja za procjenu uspjeha metode.

Sve ostale pasivne metode koriste upravo naglu promjenu u snazi ΔP (uzrokuje promjenu frekvencije) ili ΔQ (uzrokuje promjenu napona) da bi se moglo zaključiti o nastanku otočnog pogona. Manje su ili više uspješne, a koriste se i kao triger nekim aktivnim metodama. Primjenjiva je i upotreba metoda koje koriste mjerenja na mehanizmima samih agregata ali je upitna njihova brzina.

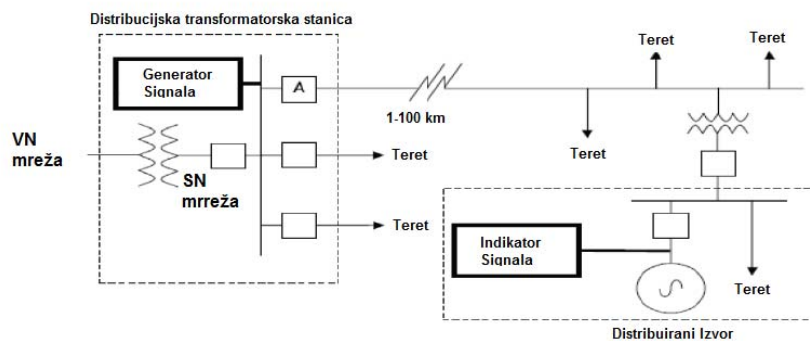
2.3. Aktivne metode

Najčešće se koriste u izvorima pretvaračkog tipa. Starije aktivne metode koriste periodičko utiskivanje signala i primjenjive su u mrežama sa malim brojem izvora. Neke od njih s povećanjem broja izvora u mreži postaju neučinkovite u svojoj prvotnoj namjeni brzog i efikasnog prepoznavanja otočnog pogona. U novije vrijeme razvijaju se eskalirajuće aktivne metode [6] koje u otočnom pogonu izazivaju naglu promjenu praćenog parametra napona ili frekvencije do vrijednosti podešene za okidanje, a primjenjive su u mrežama sa većim brojem izvora.

2.4. Komunikacijske metode

Zbog problema u korištenju pasivnih i aktivnih metoda u novije vrijeme forsira se razvoj i upotreba metoda koje uspoređuju izmjerene veličine u različitim čvorovima mreže, ali u tom slučaju relejni uređaji moraju komunikacijski biti povezani što izaziva dodatne troškove u stvaranju komunikacijskog sučelja te korištenju naprednih tehnologija programiranja njihovog rada. Razlikujemo dvije osnovne vrste razmjene podataka: slanje signalnih podataka koji se koriste za proradu ili blokadu metode i slanje mjernih veličina koje se uspoređuju. Metoda uspoređivanja kuta napona u različitim čvorovima mreže već se koristi u očuvanju stabilnosti prijenosnog sustava, a učinkovita je i u zaštiti od otočnog pogona distribuiranih izvora. Njenu masovnu primjenu omogućiti će tehnološki razvoj PMU mjernih jedinica za zahtjevnju primjenu u distribucijskoj mreži.

Također postoje razvijene metode otkrivanja otočnog pogona slanjem signala direktno po energetske mreži (PLC, slika 3). Metoda koristi kontinuirano utiskivanje signala iz glavnog mrežnog izvora, a signal se rasprostire SN mrežom do mjesta njegova prijema na sabirnicama distribuiranog izvora [9]. Upotreba ove metode iziskuje dodatne troškove izgradnje postrojenja za utiskivanje signala, a probleme stvara gušenje signala na SN/NN transformatorima. PLC metoda više se razvija i koristi van Europe, a u razvoju je i njena adaptivna primjena utiskivanja signala po pojedinim zonama u dubini mreže



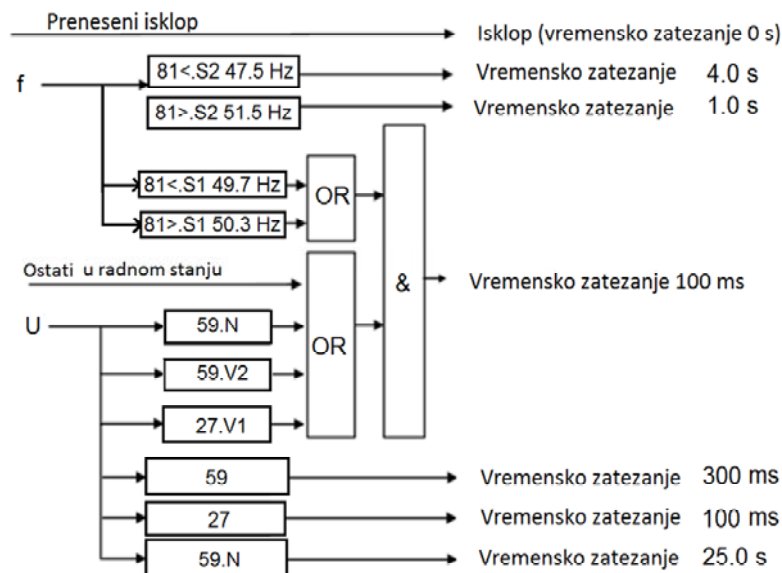
Slika 3. Primjena PLC komunikacijske metode za otkrivanje otočnog pogona [9]

Komunikacijske metode su potpuno učinkovite dok komunikacija ispravno radi, a obzirom na mogućnost gubitka komunikacije moramo imati predviđenu i dopunsku zaštitu u tom slučaju.

3. RAZVOJ METODA ZA OTKRIVANJE OTOČNOG POGONA

Obzirom da su se pasivne metode pokazale kao najbrže i najpraktičnije u uporabi ali i nedovoljno učinkovite za sigurno prepoznavanje otočnog pogona razne distribucije koje imaju povećan udio distribuirane proizvodnje u svojim mrežama pribjegle su proučavanju metoda koje bi mogle pomoći kod brzog i sigurnog otkrivanja otočnog pogona. Stoga su se dosadašnje metode počele usavršavati, a novi principi razvijati. U nastavku će biti opisani neki novi algoritmi metoda koje uspješnije i brže otkrivaju otočni pogon, ali njihova je praktična primjena tek nedavna započela.

Pokušaji unapređenja zaštite pasivnim metodama izvršeni su u talijanskom ENEL-u, uvođenjem IPS (Interface Protection System) zaštitne sheme [3] sa uvjetnom frekvencijskom zaštitom za otočni pogon (slika 4).



Slika 4. IPS zaštitna shema za aktivne distribucijske mreže [3]

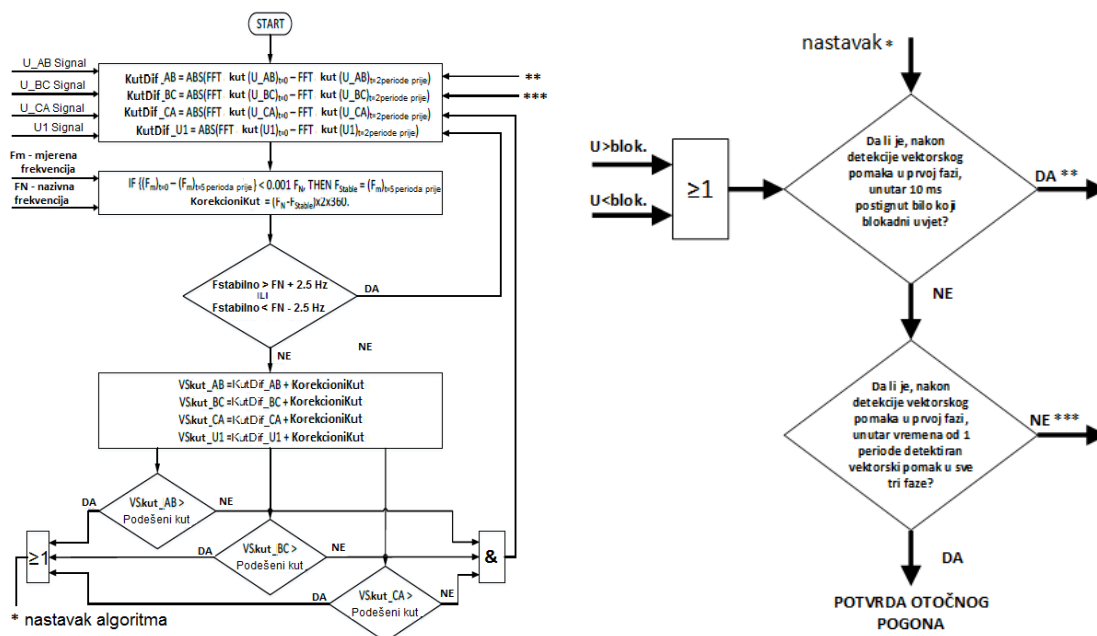
Proradom jedne od zaštitnih funkcija 59.N (rezidualna nadnaponska zaštita – otkriva zemljospoj), 59.V2 (inverzna nadnaponska zaštita – otkriva dvopolne kvarove) ili 27.V1 (direktna nadnaponska zaštita – otkriva trolne i dvopolne kvarove) dopušta se rad osjetljive frekvencijske zaštite od otočnog pogona podešene na vrijednost $\pm 0,3$ Hz od nazivne frekvencije 50 Hz. Najvažnijih funkcija IPS zaštitne sheme je sprječavanje neselektivnih ispada izvora frekvencijskom zaštitom od otočnog pogona kod vanjskih kvarova i poremećaja frekvencije u prijenosnoj mreži. Ovakvim sustavom zaštite također se postiže brzo otkrivanje otočnog pogona u slučaju APU-a. Podnaponskom funkcijom 27 izvršava se brzo isklapanje

izvora za bliske kvarove kada su propadi napona veliki. IPS zaštitna shema donosi znatna poboljšanja u odnosu na običnu frekvencijsku zaštitu ali još uvijek ne rješava probleme otkrivanja otočnog pogona u potpunom balansu snaga i pogona mreže kada su naponi u normalnim granicama. Za uspješno djelovanje metode potrebno je pravilno podesiti naponske funkcije releja, ali je nemoguće izbjeći krive prorade za bliske kvarove na susjednom vodu distribucijske mreže na koju je priključen izvor. Ipak takvi rjeđi lažni ispadi izvora ne mogu dovesti do nestabilnosti sustava.

IPS zaštitna shema postaje cjelovito rješenje tek kada joj se pridruži isklup prenesen komunikacijskim putem, tada bi opisana lokalna IPS zaštita zasnovana na mjerenju napona i frekvencije izvora bila tek u ulozi rezervne zaštite za slučaj kvara na komunikaciji.

3.1. Napredni algoritam pomaka vektora napona

Osnovni algoritam metode pomaka vektora napona snima signale napona u svakoj od tri faze i čeka pomak kuta koji se detektira promjenom duljine trajanja signala napona u sljedećoj periodu. Napredni algoritam uspoređuje osim kuta napona također i iznose napona i frekvenciju prema dijagramu toka sa slike 5. Praćenjem napon i frekvencija algoritam vrši prilagodbu mjerenja kuta napona uzimajući u obzir varijacije frekvencije u normalnom pogonu. Kada se točno i brzo izračuna razlika u kutu i metoda otkrije pomak kuta u jednoj fazi provjeravaju se naponske blokade. Ako blokade $U < U_0$ i $U > U_0$ nisu aktivne, u narednoj periodu provjeravaju se ponovo razlike u kutu sve tri faze i ako postoje metoda potvrđuje otočni pogon.



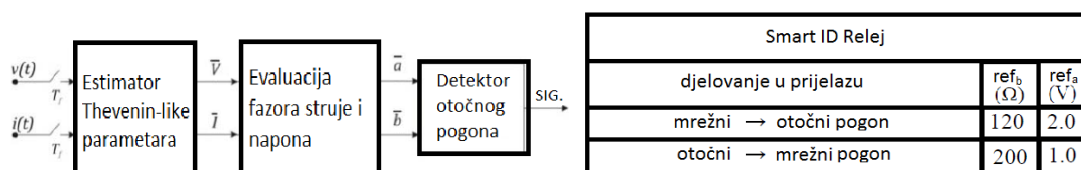
Slika 5. Dijagram toka naprednog algoritma pomaka vektora napona [1]

Za naprednu metodu pomaka vektora napona izvršena su ispitivanja na simulacijskom modelu realne 21 kV mreže sa miješanim distribuiranim izvorima pretvaračkog tipa i rotirajućih generatora [1]. Pogonski događaji sa snimljenim linijskim naponima u COMTRADE zapisu naknadno su korišteni za provjeru uspješnosti metode. Podešenja na releju su bila sa kutom pomaka od 5 stupnjeva, podnaponska blokada 0,8 pu i nadnaponska blokada 1,2 pu. Metoda je pokazala dobre rezultate i relej je prorađivao s vremenom od približno 250 ms kod manjih disbalansa snaga i vremenom 50 ms kod većih disbalansa snaga, a nisu zabilježene prorade releja kod kvarova i poremećaja u vanjskoj mreži. Metodom se uspjela smanjiti zona ne-detektiranja (NDZ) ali ipak relej ne može otkriti otočni pogon u slučaju balansa odnosno jako male razlike snaga.

3.2. Smart ID uređaj za otkrivanje otočnog pogona

Smart ID su uređaji koji koriste pasivnu metodu zasnovanu na lokalnom mjerenju signala $i(t)$ i $v(t)$ iz kojih se izlučuju osnovni harmonici vektora napona i struje. Nadalje se Thevenin metodom računaju parametri \tilde{a} i \tilde{b} koji opisuju napon i impedanciju mreže položene iznad mjesta ugradnje releja. Na temelju apsolutnih iznosa parametara \tilde{a} , \tilde{b} i uz pomoć postavki ref_a i ref_b relej zaključuje da li se radi o

otočnom pogonu mreže. Na slici 6 vidi se dijagram toka te karakteristična podešenja parametara ref_a i ref_b Smart ID uređaja za otkrivanje otočnog pogona.

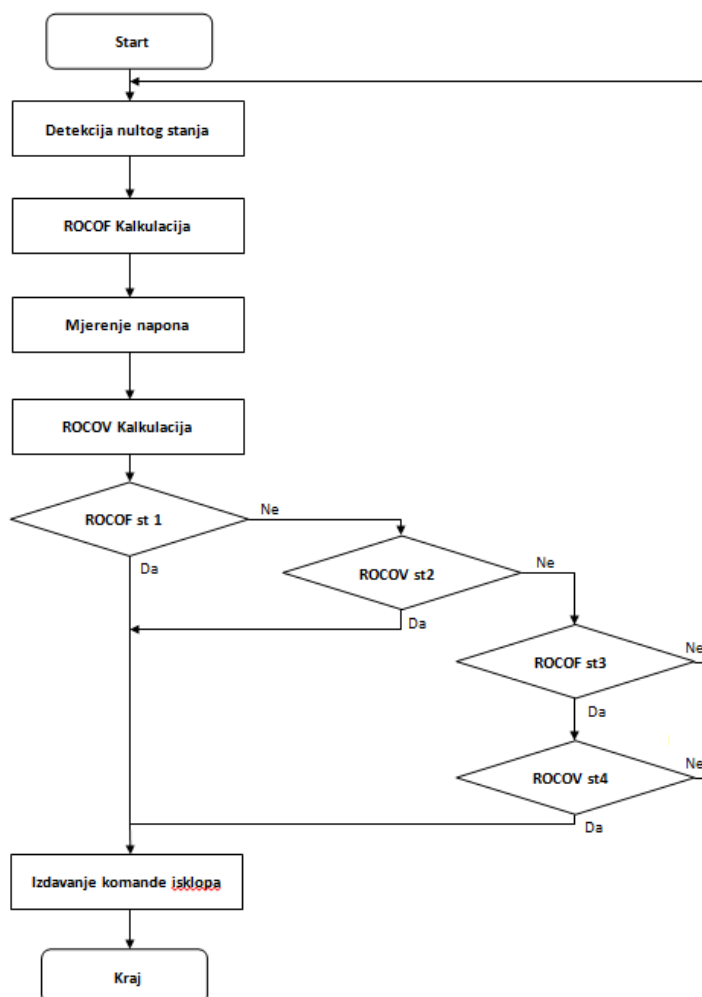


Slika 6. Dijagram toka metode i podešenja za relej Smart ID [2]

Smart ID jednostavni su i jeftini relejni uređaji, a predviđeni su za rad u NN mreži na kojoj je realan događaj balansa snaga. Releji su ispitani u realnoj mreži uz pomoć regulacijskog izvora koji održava balans u otočnom pogonu. Prilikom probnog ispitivanja tri releja ugrađena u NN mreži otkrili su otočni pogon u balansu snaga s vremenskom odgodom do 4 s [2]. Inače metoda je predviđena za otkrivanje otočnog pogona u balansiranoj NN mreži, a očekivano vrijeme djelovanja metode u otkrivanju otočnog pogona je do 10 s.

3.3. Zaštita od otočnog pogona bazirana na algoritmu kombinacije ROCOV i ROCOF

ROCOV metoda detekcije otočnog pogona bazira se na promjeni toka jalove komponente snage kod pojave otočnog pogona tj. gubitka aktivne mreže. Promjena toka jalovine posljedično mijenja napon u preostalom dijelu mreže s integriranom proizvodnjom.



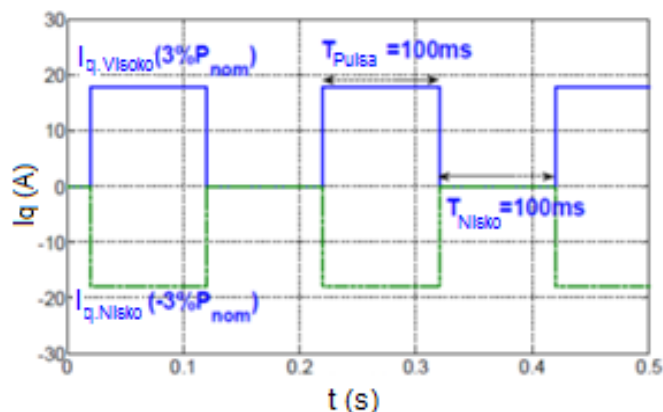
Slika 7. Algoritam hibridne ROCOF+ROCOV zaštite [7]

ROCOF metoda detekcije otočnog pogona bazira se na promjeni toka radne komponente snage kod pojave otočnog pogona tj. gubitka aktivne mreže. Promjena toka radne snage posljedično mijenja frekvenciju u preostalom dijelu mreže s integriranom proizvodnjom.

Pregledom algoritma kombinacije ovih dviju metoda (slika 7.) da se zaključiti da je došlo do poboljšanja detekcije otočnog pogona tj. smanjenja NDZ-a, te su analize pokazale da dolazi do detekcije otočnog pogona između 125 i 300 ms pri približnom balansu snaga proizvodnje i potrošnje za otočni rad [7].

3.4. RPV Metoda (Reactive Power Variation)

RPV je metoda koja podjelom spada u „Aktivne“ metode, a djeluje tako da injektira u periodu od 100 ms podešenu vrijednost jalove snage i prati odaziv. Vrijednost injektirane jalovine se prikazuje kao postotak vrijednosti radne komponente snage. Karakteristična je za elektrane pretvaračkog tipa.



Slika 8. Vrijeme trajanja impulsa injektije jalove snage [8]

Magnituda injektirane jalovine odgovara 3% radne komponente snage, kako se vidi na slici 8 puls može biti pozitivnog i negativnog smjera ovisno o vrijednosti frekvencije (>50 Hz -> negativan puls, <50 Hz -> pozitivan puls). Ako je elektrana spojena na aktivnu mrežu utjecaj injektiranog pulsa jalove snage nema neki značajan utjecaj na promjenu napona i frekvencije, no pojavom otočnog pogona elektrane sa teretom u „balansu“ pasivne zaštite nisu u mogućnosti detektirati otočni pogon zbog stabiliziranog napona i frekvencije.

Dalje se analizira prorada spomenute zaštite u balansu snage preostalog dijela mreže s elektranom [8]. Konstantnim injektiranjem RPV pulsa dolazi do prorade zaštite od otočnog pogona u vremenu od $t=195$ ms za najgori slučaj kada je proizvodnja elektrane jednaka potrošnji ostatka mreže na koji je priključena.

3.4. Eskalirajući pomak frekvencije (Escalating frequency shift)

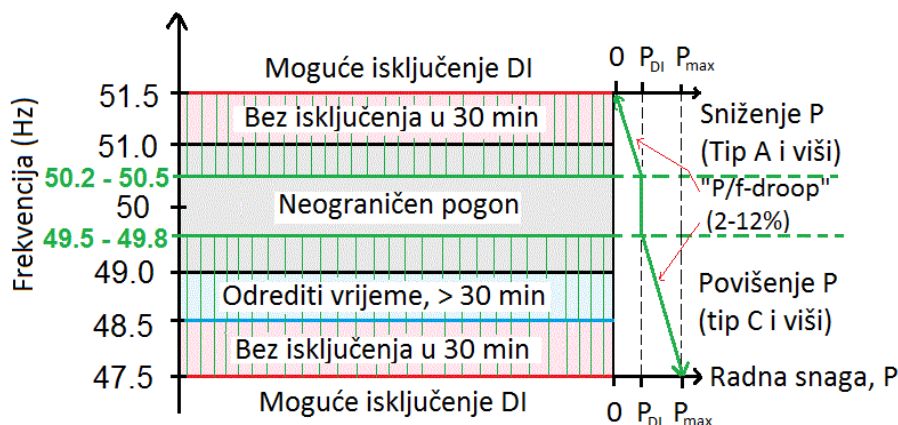
Aktivna eskalirajuća metoda pomaka frekvencije najčešće se koristi također u izvorima pretvaračkog tipa. Metoda je eskalirajuća tako da kad minimalnog odstupanja od nazivne frekvencije izvor vrši dodatno injektiranje jalovine kako bi se frekvencija izvora u otočnom pogonu destabilizirala. Za uspjeh metode potrebno je odrediti koeficijent k' koji je ovisan o parametrima mreže. Nadalje on određuje potrebnu injekciju jalovine prema formuli $Q_{injected} = k' (f_n - f)$ [6], gdje je f_n nazivna frekvencija i f vrijednost frekvencije za otkrivanje otočnog pogona. Iznos koeficijenta $k'=1$ znači da za promjenu frekvencije od 1% izvor mora injektirati 1% jalove snage (u odnosu na ukupnu snagu izvora). Pozitivni učinak ima povećanje broja izvora koji koriste metodu. Metoda je brza i učinkovita čak i u balansu snaga, ali nije dovoljno učinkovita kod mreža sa industrijskim potrošačima jer imaju nepovoljan koeficijent k' pa je potrebna puno veća promjena jalove snage izvora za istu promjenu frekvencije [6].

4. POSLJEDICE POVEĆANOG UDJELA IZVORA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

4.1. Nove promjene u Europskoj regulativi za distribucijske mreže s izvorima

Razvijene Europske države koje imaju instalirani veći udio distribuirane proizvodnje u elektroenergetskom sustavu potiču razvoj nove Europske regulative za aktivne distribucijske mreže. Naime zaštite postavljene na distribuiranim izvorima bazirane na mjerenjima napona i frekvencije kod pojave poremećaja u prijenosnoj mreži mogu izazvati nestabilnost koja može prouzročiti masovan ispad distribuiranih izvora opasan za urušavanja elektroenergetskog sustava. Primjeri ispada velikih mreža već su zabilježeni u Njemačkoj, Italiji itd. Stoga se novim propisima pokušava povećati stabilnost elektroenergetskog sustava.

Novi Europski propisi već su prihvaćeni u nekim zemljama, a jedna od važniji stavki je frekvencijski prolazak kroz kvar (FRT). Tako prema novoj regulativi zbog stabilnosti elektroenergetskog sustava distribuirani izvori ne bi se smjeli isključivati frekvencijskom zaštitom u vremenu manjem od 30 min dok je frekvencija između 47,5 i 51,5 Hz (slika 9 preuzeta je iz mrežnih pravila ENTSO-E, 2013). Također sastavni dio nove regulative je P(f) regulacija (P/f droop) prema kojoj se mora aktivirati regulacija radne snage na izvoru kada frekvencija dosegne vrijednost između 50,2 i 50,5 Hz. Regulacija će se odvijati prema krivulji P(f) s nagibom krivulje od 2% / Hz do 12 % / Hz (slika 9), a točne vrijednosti spomenutih podešenja trebale bi biti određene sa strane OPS-a. Za veće izvore definirane su i naponsko-vremenske krivulje prolaska kroz kvar (low-voltage-ride-through, LVRT, krivulja).



Slika 9. Frekvencijski prolazak kroz kvar i P(f) regulacija [4]

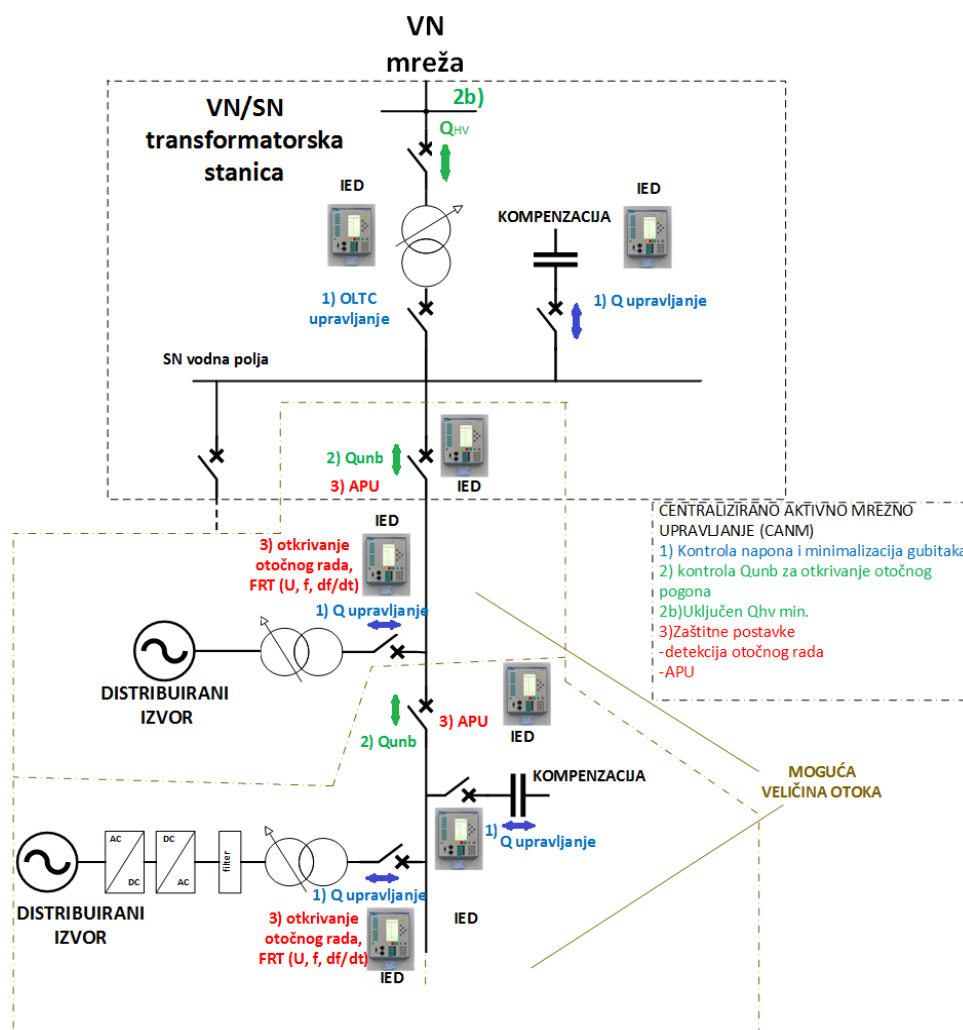
Regulacijom snage na distribuiranim izvorima pokušava se ugraditi njihov doprinos stabilnom elektroenergetskom sustavu po pitanju napona i frekvencije, ali istovremeno se povećava vjerojatnost balansa kod nastanka otočnog pogona. Stoga autori članka [5] razmatraju utjecaja P(f) regulacije na postojeće zaštite od otočnog pogona distribuiranih izvora. Za analiziranu aktivnu mrežu sa primjenom P(f) regulacijom uočeno je povećanje NDZ-a primijenjenih zaštita od otočnog pogona na izvoru za relativno malih 1%. Daljnjim dodavanjem Q(U) regulacije značajno bi se povećala vjerojatnost balansa u otočnom pogonu, i otežala primjena nekih aktivnih metoda koje se primjenjuju na izvorima pretvaračkog tipa uz pomoć regulacije jalove snage na izvoru.

Sasvim je razvidno da s jedne strane pokušavamo regulacijom jalove i radne snage očuvati stabilnost sustava a s druge strane si otežavamo prepoznavanje otočnog pogona u sustavu. Nažalost otkrivanje otočnog pogona će ostati problem jer upravo metode koje su najučinkovitije u balansu mogu uzrokovati pogoršanje nekih poremećaja u elektroenergetskom sustavu ako se masovno koriste. Tako je člankom [6] pokazano da aktivna metoda eskalirajućeg pomaka frekvencije u slučaju njenog masovnog korištenja u djelu sustava može uzrokovati dodatni pad frekvencije u slučaju ispada djela proizvodnje, a na taj način povećava vjerojatnost daljnjeg urušavanja sustava.

4.2 Upotreba novih tehnologija za detektiranje otočnog pogona

Jedna od ključnih zaštitnih funkcija u pametnim mrežama bit će otkrivanje otočnog pogona. Iako se trendom novih europskih mrežnih pravila zahtjeva funkcionalnost prolaska kroz kvar distribuiranog izvora, a omogućava se i otočni pogon, ipak postoji potreba pouzdanog otkrivanja otočnog pogona kako bi se mogle izvršiti funkcije kao promjena grupe podešenja zaštite ili promjena upravljačkih principa i parametara izvora.

Osmišljavanje novih zaštitnih sustava za otkrivanje otočnog pogona unutar pametnih mreža dovelo je do CANM inovativne sheme aktivnog mrežnog upravljanja [4] koja koristi IED jedinice koje međusobno razmjenjuju podatke. CANM shema uključuje 3 bitne funkcionalnosti: minimalizacija gubitaka i troškova jalove snage, pouzdano otkrivanje otočnog pogona pasivnom metodom te adaptivno podešavanje vremena APU-a 150-600 ms. Istraživanja iskoristivosti CANM centralnog aktivnog mrežnog upravljanja su pokazala da se sve funkcionalnosti najbolje mogu ostvariti aktivnim upravljanjem tokova jalove snage u mreži. Primjer aktivne SN mreže sa primjenom funkcionalnosti otkrivanja otočnog pogona prikazan je na slici 10.



Slika 10. Integriranje novog algoritma za otkrivanje otočnog pogona u aktivnu SN mrežu u sklopu CANM funkcionalnosti [4]

Regulacijom jalove snage pomoću distribuiranih izvora i ugrađenih kompenzacijskih postrojenja na SN mreži održava se pogon mreže sa dovoljnom neravnotežom jalovine (Q_{unb}) kako bi se omogućilo uspješno prepoznavanje otočnog pogona brzim pasivnim metodama. Unutar probnih ispitivanja otkrivanja otočnog pogona korištena je pasivna metoda pomaka vektora napona i postigla je zadovoljavajuće rezultate u brzini otkrivanja otočnog pogona i osjetljivosti na krive prorade [4]. Adaptivno podešavanje vremena pauze brzog APU-a vezano je sa ocjenom brzine prepoznavanja otočnog pogona.

5. ZAKLJUČAK

Članak prikazuje razvoj metoda otkrivanja otočnog pogona uz probleme koji postoje. Upotrebom klasičnih pasivnih metoda ne možemo se uspješno štititi od negativnih posljedica otočnog pogona jer one ne prepoznaju otočni pogon u balansu snaga dok se aktivne metode uspješno primjenjuju uglavnom na izvorima pretvaračkog tipa. Tek primjenom novih adaptivnih metoda i novih komunikacijskih tehnologija moći ćemo uspješno prepoznati otočni pogon čak i u balansu, a koliko će se metode brzo razvijati da bi se osigurala njihova masovna primjena ovisi o tome kako ćemo prepoznavati štetne posljedice nekontroliranog otočnog pogona.

Povećanjem udjela distribuirane proizvodnje u elektroenergetskom sustavu i propisivanjem nove europske regulative otežavaju se uvjeti otkrivanja otočnog pogona izvora. Kod korištenja novih metoda za otkrivanje otočnog pogona potrebno je uzeti u obzir da novo razvijene metode ne smiju dodatno ugroziti stabilnost elektroenergetskog sustava.

6. LITERATURA

- [1] Murali Kandakatla, Hannu Laaksonen, Sudheer Bonela " ADVANCED VECTOR SHIFT ALGORITHM FOR ISLANDING DETECTION", CIRED 23rd International Conference on Electricity Distribution, Lyon, 15-18 June 2015.
- [2] A. R. DI Fazio, M. Russo, S. Valeri, C. Noce, S. Riva, G. Amura " FIELD TESTS OF A NEW SMART ISLANDING DETECTOR (SMARTID)", CIRED 23rd International Conference on Electricity Distribution, Lyon, 15-18 June 2015.
- [3] M. Delfanti, M. Merlo, G. Monfredini, V. Olivieri, " COORDINATION OF INTERFACE PROTECTION SYSTEMS FOR DG APPLICATIONS IN MV DISTRIBUTION NETWORKS", 22nd International Conference & Exhibition on Electricity Distribution CIRED 2013, 10-13 June, 2013, Stockholm, Sweden.
- [4] H. Laaksonen, " SECURING PASSIVE ISLANDING DETECTION AND ENABLING STABLE ISLANDING WITH Q/F -DROOP CONTROL OF DG UNIT", International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), June 2014
- [5] Julien Bruschi, Florent Cadoux, Bertrand Raison, Yvon Besanger, Sébastien Grenard " IMPACT OF NEW EUROPEAN GRID CODES REQUIREMENTS ON ANTI-ISLANDING PROTECTIONS: A CASE STUDY", CIRED 23rd International Conference on Electricity Distribution, Lyon, 15-18 June 2015.
- [6] Vincent Gabrion, Laurent Capely, Frédéric Colas, Sébastien Grenard " POTENTIAL RISK FOR POWER SYSTEM STABILITY OF MASSIVE USE OF ESCALATING FREQUENCY SHIFT ISLANDING DETECTION METHOD", CIRED 23rd International Conference on Electricity Distribution, Lyon, 15-18 June 2015.
- [7] WEN-YEAU CHANG HONG-TZER YANG * Department of Electrical Engineering *Department of Electrical Engineering St. John's University * National Cheng Kung University " AN INTEGRATED PASSIVE ISLANDING DETECTION METHOD FOR DISTRIBUTED GENERATORS", Taiwan
- [8] Ontrei Raipala, Anssi Mäkinen, Sami Repo, Pertti Järventausta " A NOVEL ANTI-ISLANDING PROTECTION METHOD BASED ON THE COMBINATION OF A Q-F DROOP AND RPV ", Department of Electrical Engineering, University of Technology Tampere, Finland
- [9] Chandra Shekhar Chandrakar, Chhattisgarh Swami Vivekananda "AN ASSESSMENT OF DISTRIBUTED GENERATION ISLANDING DETECTION METHODS", International Journal of Advances in Engineering & Technology, Nov. 2012.
- [10] Campbell Booth "Loss of Mains Protection", University of Manchester, March 2011
- [11] X. Ding*, P. A. Crossley* and D. J. Morrow*, "Islanding Detection for Distributed Generation", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 19~28, 2007