

Viki Ladan, dipl.ing.
JP "ELEKTROPRIVREDA HZ HERCEG BOSNE" Mostar
viki.ladan@ephzhb.ba

Dr. sc. Juraj Havelka
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
Juraj.havelka@fer.hr

Prof. dr. sc. Ante Marušić
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
ante.marusic@fer.hr

USKLAĐENJE DJELOVANJA RELEJNE ZAŠTITE U HIDROELEKTRANI I SREDNJENAPONSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Usklađeno djelovanje zaštita na sučelju distribucijske mreže i postrojenja za proizvodnju električne energije osigurava selektivno isključenje elementa elektroenergetskog sustava koji je pogođen kvarom. U radu su opisane specifičnosti o kojima treba voditi računa prilikom izbora sustava relejne zaštite te prilikom analiza kvarova, selektivnosti i raspoloživosti zaštitnih uređaja u distribucijskom elektroenergetskom sustavu na koji je priključena hidroelektrana. Detaljno su razrađeni problemi koje je potrebno riješiti za kvalitetnu primjenu selektivnosti sustava električnih zaštita, tj. usklađenja plana djelovanja relejnih zaštita u distribucijskoj mreži prema zaštitama koje štite sinkroni generator. U dijelu distribucijskog sustava neophodna je primjena složenijeg sustava relejne zaštite čije se djelovanje koordinira s zaštitama u elektrani. Analiziran je utjecaj elektrane na kratkospojne prilike i karakteristike postojećeg sustava relejne zaštite, provjera podešenja zaštite te nužnost primjene usmjerenih nadstrujnih releja. Predočena je metodologija izbora relejne zaštite, kao i primjena kriterija selektivnosti pri podešavanju zaštitnih uređaja u elektrani, odnosno mreži.

Ključne riječi: relejna zaštita, koordinacija, elektrana, distribucijska mreža

COORDINATION OF PROTECTION SYSTEMS IN HYDROELECTRIC POWER PLANT AND DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

Coordination of protection on the connection point of distribution network and small power plant ensures selective tripping of the power system elements affected by the fault. The paper describes specific issues that should be taken into consideration when selecting relay protection and during fault analysis, selectivity and availability of protective devices in distribution system to which a small hydro power plant is connected. Detailed analysis is made of the problems that need to be solved to obtain high quality application of selectivity of relay systems protection, i.e. coordination of the plan of action of relays in distribution network in relation to protections of the generator. In the segment of distribution system it is important to apply a more complex relay protection system that would be coordinated with the small power plant protection systems. The analysis is also made of the influence of the power plant on short circuit events and characteristics of the existing relay protection system, settings checking of protection system and need to deploy directional over current relays. The methodology of the selection of relay protection is described and so is the application of selectivity criteria in the setting of protection relays in the small power plant and in the network.

Key words: protection system, coordination, power plant, distribution network

1. UVOD

Razvoj elektroenergetskog sustava (EES) posljednjih pedesetak godina slijedio je ideju vodilju prema kojoj su veliki generatori preko transformatora injektirali električnu snagu u visokonaponsku prijenosnu mrežu, koja je korištena za transport snage, često i na velikim udaljenostima. Na kraju, snaga se iz prijenosnog sustava preko niza transformatora usmjerava kroz srednjenaponsku i niskonaponsku distribucijsku mrežu prema potrošačima. Međutim, posljednjih godina pojavilo se sve više utjecaja koji su izazvali povećano zanimanje za distribuiranu proizvodnju (npr. smanjenje emisije CO₂, programi energetske učinkovitosti ili racionalnog korištenja energije) i priključak proizvodnih objekata na distribucijsku mrežu.

Utjecaj na okoliš jedan je od značajnih faktora u razmatranju priključenja novih proizvodnih objekata na mrežu, pa obnovljivi izvori dobivaju svoju priliku. Obnovljivi izvori imaju znatno manju energetska vrijednost u odnosu na fosilna goriva zbog čega su njihove elektrane manje veličine te geografski široko raspodijeljene. Takve male elektrane priključuju se uglavnom na distribucijsku mrežu.

Trenutno se na distribuirane izvore gleda gotovo isključivo kao na proizvođače energije, koji ne doprinose ostalim funkcijama EES-a (npr. regulacija napona i frekvencije, pouzdanost mreže te snaga pričuve). Iako je to djelomično posljedica tehničkih svojstava malih elektrana, ograničena uloga distribuirane proizvodnje najvećim je dijelom stvorena na temelju administrativnih i komercijalnih uvjeta pod kojima su u pogonu.

Ovdje nastupa dvojba. U pogledu vođenja i stabilnosti elektroenergetskog sustava male elektrane unosile bi samo dodatne probleme zbog svojih generatora koji su uglavnom neregulirani i neupravljivi. S druge pak strane, obnovljivi izvori povećavaju samoodrživost EES-a u slučajevima eventualne energetske krize u proizvodnji električne energije koja je danas ovisna o isporuci ugljena, plina i nafte. Značajke pogona EES-a određuje postupak uvrštenja proizvodnih jedinica u raspored proizvodnje ili potreba za usklađenom proizvodnjom jalove snage u sustavu. Na taj se način utječe na dvije temeljne varijable sustava: frekvenciju i napon. Poseban problem predstavlja utjecaj malih distribuiranih elektrana na zaštitu distribucijske mreže. Naime, dosadašnji pogon distribucijske mreže bio je, u pravilu, radijalan, no priključenjem malih elektrana dio distribucijskog sustava dobiva dvostrano napajanje te nastaje potreba za ugradnjom složenijeg sustava relejne zaštite.

2. UTJECAJ MALIH ELEKTRANA NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

Liberalizacijom tržišta električne energije sve više se potiče proizvodnja iz distribuiranih izvora pa se može reći da tradicionalna razdjelna mreža, koja je samo na svojoj najvišoj naponskoj razini 30(35) kV imala priključene industrijske energane, više ne postoji te se uvodi novi pojam aktivne mreže koja na svim naponskim razinama od 0,4 do 35 kV ima priključene kupce koji svoju potrošnju mogu namiriti vlastitom lokalnom proizvodnjom, a višak prodavati na tržištu, odnosno predavati u distribucijsku mrežu. Aktivna mreža zahtijeva drugačiju organizaciju zaštite i vođenja distribucijskog sustava. Raznolikost načina proizvodnje električne energije, priključka na mrežu, zaštite i vođenja zahtijeva reviziju ili pisanje novih kriterija i standarda za priključak malih elektrana.

Male elektrane, s obzirom na razdjelnu mrežu na koju se priključuju, mogu biti namijenjene: prvenstveno proizvodnji za pokrivanje vlastitih potreba (cjelokupna potrošnja električne energije je na mjestu proizvodnje), za prodaju cjelokupne proizvedene električne energije, ili pak kombinaciji ove dvije varijante.

Priključak distribuiranih izvora na razdjelnu mrežu može biti na niskonaponskoj ili na srednjenaponskoj (10 kV, 20 kV, 35 kV) razini, na sabirnicama ili u mreži, ovisno o ukupnoj snazi male elektrane, okolnostima mreže i drugim faktorima. Pri odlučivanju o mogućnostima i uvjetima priključka treba voditi računa o sljedećim parametrima male elektrane:

- snazi i planiranoj godišnjoj proizvodnji,
- vršnoj snazi i potrošnji na mjestu priključka,
- vrsti i osobinama pogona,
- snazi kratkog spoja mreže na mjestu priključka.

Sastavni dio suglasnosti za priključak male elektrane na razdjelnu mrežu mora biti analiza utjecaja elektrane koja sadrži proračun tokova snaga, proračun kratkog spoja, a kod većih snaga izvora priključenih na 10, 20 ili 35 kV-noj razini i proračun stabilnosti elektroenergetskog sustava. Malu elektranu treba projektirati, izgraditi i voditi u pogonu tako da se izbjegnu, odnosno ograniče negativna povratna djelovanja na distribucijsku mrežu i postojeće potrošače.

2.1. Osnovni zahtjevi za priključenje male elektrane na distribucijsku mrežu

Svaka elektroprivreda ima propisani mrežni pravilnik kojim se uređuje pogon i način vođenja, razvoj i izgradnja te uspostavljanje priključaka na prijenosnu i distribucijsku mrežu u elektroenergetskom sustavu, kao i mjerna pravila za obračunsko mjerno mjesto. U njemu su definirani i tehnički zahtjevi za priključenje malih elektrana na distribucijsku mrežu, koji moraju biti u potpunosti zadovoljeni kako bi se moglo započeti s gradnjom novih proizvodnih kapaciteta u distribuciji.

Što se tiče tehničkih podataka male elektrane, jediničnu snagu generatora određuje vlasnik elektrane i proizvođač generatora, prema kojoj se onda određuje napon generatora koji može biti: $U_{ng} = 0,4 \text{ kV}, 3 \text{ kV}, 6 \text{ kV}$ i 10 kV . Male elektrane ukupne snage do uključujući 500 kW priključuju se na niskonaponsku mrežu. Priključak može biti ostvaren na niskonaponski vod ili niskonaponske sabirnice transformatorske stanice $10(20)/0,4 \text{ kV}$. Na niskonaponski vod mogu se priključiti elektrane ukupne snage do uključujući 100 kW . Na srednjenaponsku mrežu priključuju se elektrane ukupne snage veće od 500 kW do uključujući 10 MW , ali se mogu priključiti i elektrane manjih snaga [1, 2, 3].

Osim proizvodnje i isporuke radne energije u distribucijsku mrežu, u malim elektranama treba se proizvoditi i u mrežu isporučivati dovoljno jalove energije. Proizvodnja jalove energije treba biti u granicama $0 - 75 \%$ proizvodnje radne energije, bez obzira na vrstu generatora. Proizvodnja induktivne jalove snage ovisi o naponskim prilikama na mjestu priključka male elektrane na distribucijsku mrežu, kao i o opterećenjima u mreži. U slučaju da nastupi porast napona iznad gornjeg dozvoljenog iznosa, uređaji za vođenje automatskog pogona male elektrane trebaju smanjiti proizvodnju jalove energije, a potom i proizvodnju radne energije [1].

Operator distribucijskog sustava razmjenjuje podatke s proizvođačima električne energije radi vođenja pogona distribucijske mreže, i to: signale položaja izabranih sklopnih aparata, vrijednosti izabranih mjernih veličina (struja, napon, djelatna i jalova snaga, frekvencija), izabrane alarme iz postrojenja elektrane, podatke o djelovanju generatorskih zaštita i zaštita na mjestu priključka elektrane, pogonskim događajima na mjestu sučelja, izabranim parametrima kvalitete električne energije te ostalim podacima važnim za vođenje pogona.

2.2. Tehnički uvjeti za priključenje na mrežu

Vlasnik male elektrane koja zahtijeva priključenje na distribucijsku mrežu na mjestu priključenja mora ispuniti temeljne tehničke uvjete koji se odnose na: odstupanje frekvencije, odstupanje napona, valni oblik napona, nesimetriju napona, pogonsko i zaštitno uzemljenje, razinu kratkog spoja, razinu izolacije, zaštitu od kvarova i smetnji te faktor snage.

Utjecaj male elektrane na padove napona i tokove snaga u sustavu određuje se proračunom tokova snaga u kojem se uzimaju vršna opterećenja karakterističnih točaka opterećenja. Razlog tomu je dobivanje tokova snaga i padova napona za "najgori slučaj", tj. slučaj kada je sustav najopterećeniji.

Ako se zbog priključenja male elektrane poveća snaga (struja) trofaznog kratkog spoja iznad vrijednosti za koju je dimenzionirana oprema u mreži, treba se primijeniti jedna ili više sljedećih mjera:

- ograničenje struja kratkog spoja u maloj elektrani,
- zamjena sklopnih aparata i/ili druge opreme koja ne ispunjava zahtjeve s obzirom na snage (struje) kratkog spoja,
- promjena mjesta priključenja na mrežu,
- promjena parametara priključnog voda.

Male elektrane instalirane snage do 1 MVA ne mogu znatnije povećati snagu kratkog spoja u distribucijskoj mreži pa je provjera kriterija snage kratkog spoja obavezna samo ako snaga male elektrane prelazi 1 MVA .

Kada su zadovoljeni navedeni kriteriji, potrebno je ugradnjom odgovarajućih zaštitnih i drugih tehničkih uređaja u maloj elektrani, osigurati da priključenje male elektrane na mrežu bude izvršeno samo ako je na svim faznim vodičima prisutan napon mreže. Za priključenje se koristi spojni prekidač na mjestu priključenja male elektrane ili izuzetno generatorski prekidač.

Mala elektrana mora na mjestu priključka zadovoljiti uvjete kvalitete napona prema EN 50160 i elektromagnetsku kompatibilnost prema IEC 61000-x-x, što se provjerava tijekom pokusnog rada.

Tehnički uvjeti koji se odnose na: odstupanje frekvencije, odstupanje napona, valni oblik napona, nesimetriju napona, faktor snage, pogonsko i zaštitno uzemljenje i razinu izolacije detaljno su definirani u Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava i drugim dokumentima [1, 2, 3, 9, 10], pa je zbog toga u

nastavku predložen osvrt na zaštitu od kvarova i smetnji, paralelni pogon elektrane s distribucijskom mrežom te ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži (prijelazna i statička stabilnost).

2.2.1. Zaštita od kvarova i smetnji

Vlasnik male elektrane dužan je uskladiti svoju zaštitu od kvarova s odgovarajućom zaštitom u distribucijskoj mreži, tako da kvarovi na njegovu postrojenju ili instalacijama ne uzrokuju poremećaje u distribucijskoj mreži ili kod drugih korisnika mreže. To se posebno odnosi na:

- vrijeme isključenja kvara koje mora biti u granicama koje određuje operator distribucijskog sustava,
- osiguranje selektivnog djelovanja zaštitnih uređaja u korisnikovu postrojenju i instalacijama sa zaštitom distribucijske mreže.

Operator distribucijskog sustava dužan je upoznati vlasnika male elektrane na utjecaj prorada zaštita u distribucijskoj mreži na postrojenja male elektrane, a osobito na utjecaj automatskoga ponovnog uklopa (APU) nadzemnih vodova. Osim toga, može izmijeniti tehničke uvjete, odnosno zatražiti promjenu podešenja zaštita u elektrani ukoliko je to nužno zbog novih pogonskih okolnosti ili razvoja mreže.

2.2.2. Paralelni pogon elektrane s distribucijskom mrežom

Mala elektrana mora biti opremljena za paralelni pogon s distribucijskom mrežom u uvjetima svih redovnih i izvanrednih pogonskih okolnosti bez nedopuštenoga povratnog djelovanja na distribucijsku mrežu i ostale korisnike mreže (npr. kratkotrajne promjene napona prilikom uključanja i isključenja elektrane, kolebanja napona (flikeri), pojave viših harmonika u struji i naponu). Za paralelni pogon elektrane s mrežom, elektrana mora imati: zaštitu koja osigurava uvjete paralelnog pogona, zaštitu od smetnji i kvarova u elektrani i zaštitu od smetnji i kvarova u mreži.

Uvjete paralelnog pogona osiguravaju međusobno usklađene zaštite elektrane i distribucijske mreže. U slučaju odstupanja od propisanih uvjeta za paralelni pogon, zaštita mora odvojiti elektranu iz paralelnog pogona. Preradne vrijednosti zaštite moraju biti podešene tako da poslije odvajanja distribucijska mreža i mala elektrana ostanu u stabilnom pogonu. U slučaju da je elektrana priključena na mrežu u kojoj se primjenjuje automatski ponovni uklop, elektrana mora imati tehničko rješenje zaštite od mogućega asinkronog pogona. Na sučelju elektrane i distribucijske mreže, tj. na mjestu razgraničenja vlasništva između operatora distribucijskog sustava i proizvođača, ugrađuje se prekidač za odvajanje, koji omogućuje odvajanje postrojenja elektrane iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom zbog sigurnosnih razloga.

Uključivanje hidroelektrane sa sinkronim generatorima u paralelni pogon s distribucijskom mrežom izvodi se uz pomoć uređaja za automatsku sinkronizaciju uz sljedeće uvjete:

- razlika napona manja od $\pm 10\%$ nazivnog napona,
- razlika frekvencije manja od $\pm 0,5$ Hz i
- razlika faznog kuta manja od ± 10 stupnjeva.

Ukoliko za vrijeme pogona elektrane nastupe okolnosti koje bi za posljedicu imale odstupanje napona veće od $\pm 10\%$ nazivnog napona i/ili frekvencije iznad 51 Hz ili ispod 48 Hz, mora se osigurati trenutno odvajanje elektrane od distribucijske mreže. Operator distribucijskog sustava može elektrani dopustiti otočni pogon ukoliko je udovoljeno uvjetima za takav način rada.

Kriteriji za automatsko odvajanje elektrane od distribucijske mreže:

- Pri prekoračenju graničnih vrijednosti odstupanja frekvencije, proizvodna jedinica može se automatski odvojiti od mreže.
- Pri gubitku stabilnosti proizvodne jedinice, jedinica se mora automatski odvojiti od mreže.
- Pri prekoračenju graničnih vrijednosti napona mreže, proizvodna jedinica može se automatski odvojiti od mreže.

2.2.3. Ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži

Operator prijenosnog sustava i proizvođač usklađuju svojstva i parametre sustava regulacije uzbude i sustava regulacije brzine vrtnje/djelatne snage proizvodne jedinice koje su značajne za njegovu stabilnost. Pri gubitku statičke ili prijelazne stabilnosti, višekratno proklizavanje rotora generatora (asinkroni pogon) mora se izbjeći njegovim automatskim odvajanjem od mreže. Za taj se slučaj mora predvidjeti zaštita od proklizavanja rotora.

2.2.4. Prijelazna stabilnost pri kratkim spojevima

Kratki spojevi u blizini elektrane pri ispravnom djelovanju sustava zaštite, ako se otklone unutar 150 ms, ne smiju dovesti u cijelom pogonskom području generatora do nestabilnosti ili odvajanja jedinice od mreže, uz uvjet da je na sučelju mreže i proizvodne jedinice snaga bliskog trolnog kratkog spoja, nakon isključenja kvara šesterostruko veća od nazivne djelatne snage proizvodne jedinice.

Proizvodna jedinica se ne smije odvojiti od prijenosne mreže dok god je napon mreže na visokonaponskoj strani blok-transformatora iznad granične krivulje [1]. Ovaj zahtjev vrijedi i za proizvodne jedinice priključene na naponske razine niže od 110 kV, a koje su u sustavu daljinskog vođenja operatora prijenosnog sustava.

Pri kratkim spojevima udaljenim od elektrane, ako se kvar otkloni djelovanjem mrežne zaštite unutar 5 sekundi, ne smije doći do preventivnog odvajanja proizvodne jedinice od mreže.

2.2.5. Statička stabilnost

Vlastita elektromehanička njihanja proizvodne jedinice i elektromehanička njihanja sustava, prema dosadašnjim iskustvima, u hrvatskom elektroenergetskom sustavu imaju frekvenciju od 0,2 do 3 Hz [1]. Ta njihanja ne smiju izazvati smanjenje djelatne snage jedinice ili isključivanje proizvodne jedinice proradom zaštite.

Najslabije prigušena oscilatorna komponenta elektromehaničkih njihanja, čije je pretežito izvoriste u elektroenergetskom sustavu, ne smije imati relativno prigušenje manje od 0,05. Njihanja s većim prigušenjem od 0,05 ne smiju prouzročiti isključivanje proizvodne jedinice proradom zaštite ili smanjenje djelatne snage jedinice.

Generatori u elektranama, temeljem zahtjeva operatora prijenosnog sustava, moraju imati mogućnost prigušenja vlastitih i sistemskih elektromehaničkih njihanja stabilizatorom elektroenergetskog sustava. Svrha ove mjere je osiguranje statičke stabilnosti pogona proizvodne jedinice u cijelom području njenog pogonskog dijagrama, uz uvjet da je snaga trolnog kratkog spoja na visokonaponskoj strani najmanje jednaka četverostrukoj nazivnoj djelatnoj snazi, a napon najmanje jednak nazivnom naponu mreže. Svi karakteristični parametri značajni za stabilnost proizvodne jedinice moraju se uskladiti između operatora prijenosnog sustava i proizvođača [1].

3. ZAŠTITA MALE ELEKTRANE

Djelovanje zaštita male elektrane ponajprije ovisi o vrsti elektrane, snazi te preporukama samog proizvođača generatora. Opseg zaštite, male elektrane za paralelni pogon s distribucijskom mrežom, definira se tehničkim uvjetima. Prilikom zaštite male elektrane moraju se zadovoljiti slijedeće funkcije:

- zaštita dijelova postrojenja male elektrane i distribucijske mreže od smetnji i kvarova u elektrani,
- zaštita od neprimjerenih uvjeta paralelnog pogona mala elektrana - distribucijska mreža,
- zaštita postrojenja male elektrane od smetnji i kvarova u distribucijskoj mreži.

Izborom i podešenjem zaštite male elektrane, potrebno je osigurati potpunu selektivnost djelovanja s postojećim zaštitama u distribucijskoj mreži te njihovu međusobnu usklađenost. Također, nakon svake promjene u distribucijskoj mreži ili maloj elektrani, koja ima utjecaj na paralelni pogon, treba obaviti analizu djelovanja zaštite i prema potrebi provesti novo podešenje.

Spomenute funkcije ostvaruju uređaji zaštite i lokalne automatike trajnim nadzorom mjerenih veličina, djelovanjem na sustav regulacije, rasterećenja, isključenja šticeh dijelova postrojenja i odvajanja male elektrane iz paralelnog pogona. Pri projektiranju elektrane može se, uz navedene zaštite, u postrojenju predvidjeti i druge, o čemu odlučuju proizvođač opreme, projektant i investitor.

Za zaštitu male elektrane od smetnji i kvarova u distribucijskoj mreži te zaštitu od neprimjerenih uvjeta paralelnog pogona elektrane i distribucijske mreže, u većini slučajeva dovoljno je da se elektrana odvoji od distribucijske mreže. To će se ostvariti na prekidaču za odvajanje ili generatorskom prekidaču elektrane, uz mogućnost nastavka pogona ako je predviđen otočni rad. Prilikom kvarova u postrojenju, često je potrebno uz isključenje prekidača zaustaviti i pogon elektrane zaustavljanjem pogonskog stroja. Proizvođač male elektrane u pravilu određuje vrijednosti na koje se pojedine zaštite podešavaju te koje zaštite trebaju samo odvojiti elektranu od distribucijske mreže, a kada treba i prekinuti pogon. Budući da sheme priključka nisu jedinstvene, konačnu prosudbu o načinu djelovanja zaštite trebaju donijeti vlasnik male elektrane i operator distribucijskog sustava, uvažavajući i prijedlog proizvođača generatora.

Prema načinu djelovanja, zaštita male elektrane može se svrstati u dvije osnovne podijele:

- zaštite koje djeluju samo na odvajanje male elektrane od distribucijske mreže,
- zaštite koje djeluju na prekid pogona male elektrane.

Proradom zaštita koje djeluju samo na odvajanje male elektrane od distribucijske mreže, isključenjem glavnog prekidača mala elektrana prelazi u otočni pogon (ako je takva vrsta pogona predviđena), a isključenjem generatorskog prekidača prelazi u pogon bez potrošnje (prazni hod). Pogonski stroj se ne zaustavlja, a nakon otklanjanja smetnje ili kvara, elektrana se ponovno sinkronizira na distribucijsku mrežu i postupno preuzima opterećenje. Zaštite koje djeluju na odvajanje male elektrane od distribucijske mreže su:

- zaštita od povratne snage,
- zaštita od sniženja frekvencije,
- nadstrujna zaštita statorskog namota generatora,
- zaštita od nesimetričnog opterećenja,
- nadstrujna zaštita od zemljospoja,
- zaštita od preniskog napona.

Ovisno o snazi i opremljenosti male elektrane, sustav zaštita može biti dosta fleksibilan, tj. mogu se ugraditi samo osnovne zaštitne funkcije ili pak najopsežnije zaštite koje štite i veće elektrane. Obično se zaštita podešava u dva vremenska stupnja djelovanja. U prvom stupnju se obično samo signalizira pojava poremećaja, dok u drugom stupnju zaštita djeluje na isključivanje prekidača. Nakon što se otkloni uzrok prorade zaštite, isključeni prekidač može se ponovno uključiti.

Kada je mjesto i uzrok kvara u samoj elektrani, tada se samo isključivanjem prekidača generatora ne bi postigla svrha djelovanja zaštite. U tim slučajevima je potrebno prekinuti pogon elektrane i otkloniti kvar. Nakon toga moguće je ponovo staviti malu elektranu u pogon i uključiti je u paralelni rad s mrežom.

Zaštite koje djeluju na prekid pogona male elektrane su:

- zaštita od previsokog napona,
- zaštita od preniskog napona,
- zaštita od previsoke frekvencije,
- zaštita od preniske frekvencije,
- diferencijalna zaštita agregata.

Kod nešto većih i složenijih malih elektrana, uz osnovni paket zaštita koji je propisan tehničkim uvjetima, mogu se ugraditi i dodatne zaštitne funkcije čija je funkcija štiti postrojenje.

Zaštita koja djeluje samo na odvajanje male elektrane od distribucijske mreže:

- zaštita od previsoke temperature namota.

Zaštite koje djeluju na prekid pogona male elektrane:

- zaštita od previsokog broja okretaja,
- zaštita od preniskog broja okretaja,
- zaštita od gubitka uzbude,
- zaštita od previsoke temperature ležajeva,
- zaštita od kvara u uzбудnom krugu,
- zaštita od kvarova pomoćnih sustava (napajanje istosmjernim ili izmjeničnim naponom, kvarovi u rashladnom sustavu, kvarovi u sustavu ulja za podmazivanje),
- zaštita agregata i/ili pogonskog stroja od previsokih vibracija te previsoke temperature,
- prorada nekog od sigurnosnih sustava male elektrane (požar, zaustavljanje u nuždi i sl.).

Ukoliko za vrijeme pogona male elektrane nastupe okolnosti koje bi za posljedicu imale veće odstupanje napona i frekvencije od nazivnih vrijednosti, kada napon odstupa više od $\pm 10\%$ nazivnog napona, a frekvencija poraste iznad 51 Hz ili padne ispod 48 Hz, mora se osigurati trenutno odvajanje elektrane od distribucijske mreže. U sredjenaponskim distribucijskim mrežama koristi se trolino isključenje s programom brzog (0.3 s) i sporog automatskog ponovnog uključanja (20 s ili 3 min). Pri tome postoji opasnost od gubitka sinkronizma, odnosno asinkronog ulaska male elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom.

U hidroelektrani sa sinkronim generatorima to može rezultirati velikim strujnim udarima i teškim oštećenjima generatora. Stoga je projektnim rješenjem elektrane i u suradnji s operatorom distribucijskog sustava potrebno zaštititi malu elektranu od mogućeg asinkronog uključanja. Najbolja zaštita je pravovremeno odvajanje elektrane iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom.

Na slici 1 prikazano je moguće tipično rješenje zaštite generatora u maloj elektrani, koje se može realizirati pomoću numeričkog zaštitnog uređaja. U tablici I objašnjene su zaštite funkcije sa slike 1.

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

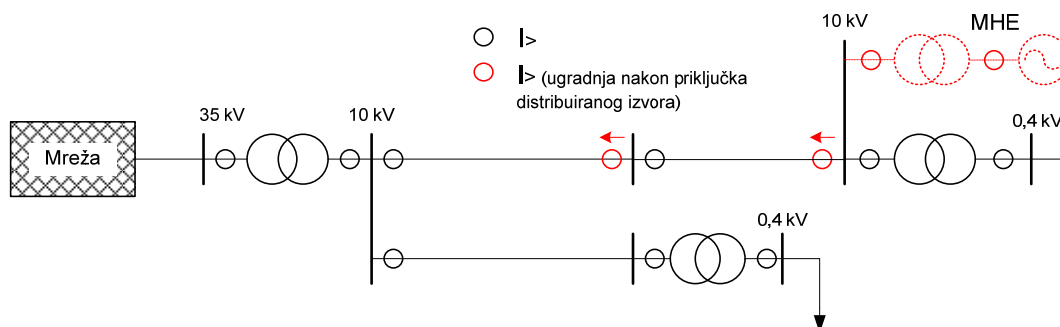
Slika 1. Shema zaštite generatora u maloj elektrani

Tablica I. Popis zaštita male elektrane

ANSI oznaka	Zaštitna funkcija
27	Podnaponska zaštita sabirnica
27X	Podnaponska zaštita voda
32RP	Zaštita od povratne snage
32FP	Zaštita od nepoželjne izlazne snage
32LF	Zaštita od preniske izlazne snage
46	Zaštita od nesimetričnog opterećenja
47	Zaštita na inverznu komponentu napona
50BF	Zaštita od otkaza prekidača (52)
50P	Nadstrujna zaštita na direktnu struju (trenutna)
50N	Nadstrujna zaštita na nultu struju (trenutna)
50G	Nadstrujna zaštita struje uzemljenja (trenutna)
50SG	Osjetljiva nadstrujna zaštita struje uzemljenja (trenutna)
50IG	Nadstrujna zaštita izoliranog zvjezdišta (trenutna)
51P	Nadstrujna zaštita od zemljospoja statora pomoću direktne struje
51N	Nadstrujna zaštita od zemljospoja statora pomoću nulte struje
51G	Nadstrujna zaštita zvjezdišta generatora
51SG	Osjetljiva nadstrujna zaštita zvjezdišta generatora
51PV	Nadstrujna zaštita s naponskom kontrolom
59	Nadnaponska zaštita sabirnica
59X	Nadnaponska zaštita voda
59N	Nadnaponska zaštita od zemljospoja statora generatora
67P	Usmjerena nadstrujna zaštita
67N	Usmjerena nadstrujna zaštita za nultu struju
67G	Usmjerena nadstrujna zaštita za struje uzemljenja
67SG	Osjetljiva usmjerena nadstrujna zaštita za struje uzemljenja
60V	Nesimetričnost napona (naponska vaga)
81U	Podfrekvencijska zaštita
81O	Nadfrekvencijska zaštita
VTFF	Zatajenje osigurača naponskog transformatora

4. UTJECAJ MALIH ELEKTRANA NA ZAŠTITU U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Nakon proračuna novonastalih naponskih i strujnih prilika te tokova snaga u mreži uslijed priključenja izvora na distribucijsku mrežu, potrebno je razmotriti i nove zahtjeve na zaštitu koji se pritom javljaju. Priključkom male hidroelektrane (MHE) na radijalni krak ostvaruje se dvostrano napajanje svakog potencijalnog kvara od strane mreže do mjesta priključenja izvora, što za posljedicu ima dodatne zahtjeve na zaštitu distribucijskih vodova, tj. potrebno je ugraditi relejnu zaštitu i na drugom kraja voda, koji moraju biti usmjereni u svrhu postizanja selektivnosti, slično kao u slučaju petljaste mreže (slika 2).



Slika 2. Shema utjecaja male elektrane na zaštitu vodova

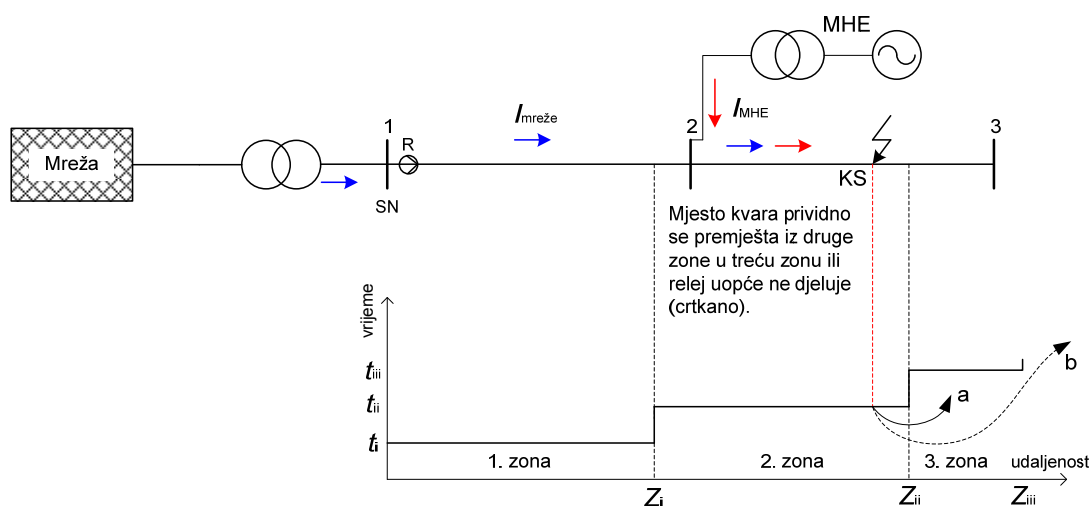
Isto tako, zaštita male elektrane koja je predviđena za paralelni pogon s distribucijskom mrežom mora biti tehnički usklađena s postojećim zaštitama u dijelu distribucijske mreže na koju se priključuje. Vrsta zaštite određuje se ovisno o značajkama postrojenja, tipu, veličini i vrijednosti male elektrane, kao i postojećoj razini zaštita na mjestu priključka elektrane na distribucijsku mrežu.

Priključkom hidroelektrane na distribucijsku mrežu sustav zaštite postaje znatno složeniji. Novonastali uvjeti često otkrivaju nedostatke zaštite od kojih su najčešći: nepotrebne prorade zaštite, neuspjelo djelovanje APU-a, neželjeni otočni rad, nesinkronizirano spajanje elektrane na mrežu te nepotrebni ispadi proizvodnih jedinica.

4.1. Pogrešno djelovanje distantnih releja

Radne karakteristike distantnih releja, koji se koriste u zaštiti petljaste mreže, najčešće se podešavaju u tri zone djelovanja. Udaljenost do koje relej djeluje određuje se iznosom impedancije, dok se vremenskim podešenjem releja u 3 stupnja postiže selektivnost djelovanja.

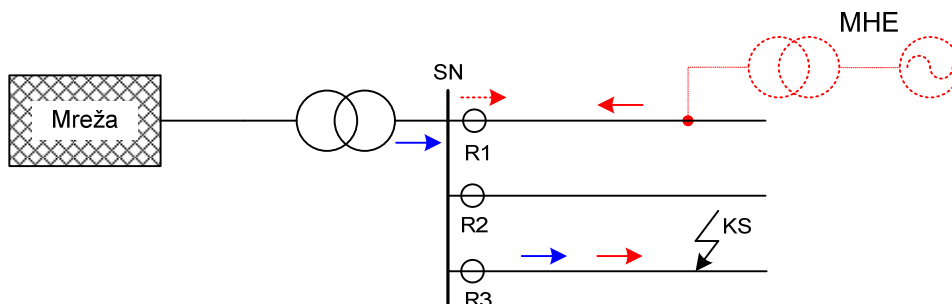
U slučaju kratkog spoja kao na slici 3 distantni relej (R) bi trebao djelovati u drugom stupnju. Zbog priključenja male hidroelektrane i njenog doprinosa struji kratkog spoja, povećava se iznos impedancije koju mjeri distantni relej te se mjesto kratkog spoja prividno premješta u treću zonu (a), tj. relej sporije djeluje, a može se dogoditi da uopće i ne djeluje (b). Problem neispravnog djelovanja distantne zaštite uzrokovan priključkom distribuiranog izvora u njegovoj blizini moguće je riješiti primjenom numeričke distantne zaštite bazirane na telekomunikacijskim vezama.



Slika 3. Pogrešno djelovanje distantnog releja

4.2. Nepotrebno djelovanje nadstrujnih releja

U slučaju da je MHE spojena u blizini rasklopnog postrojenja moguće je da dođe do nepotrebnog djelovanja nadstrujnog releja u izvodu gdje je elektrana spojena. Naime, ako u jednom od izvoda nastane kratki spoj (KS), doprinos toj struji dolazi iz mreže te iz elektrane. Kroz (neusmjereni) nadstrujni relej R1 (slika 4) prolazi struja kvara iz elektrane pa on može djelovati u slučaju da je ona dovoljno velika. Tako osim releja R3 koji štiti izvod u kojem je nastao kvar, zbog priključene MHE nepotrebno djeluje i relej R1.

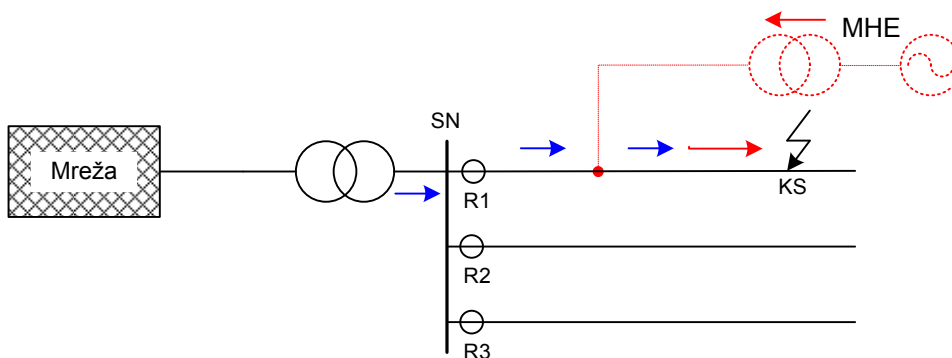


Slika 4. Nepotrebno djelovanje nadstrujnih releja

Ovaj problem nepotrebne prorade releja može se riješiti usmjeravanjem nadstrujnih releja u dijelu mreže u kojem je spojena elektrana, što zahtjeva određena financijska ulaganja.

4.3. Izostanak djelovanja nadstrujne zaštite pri kvaru

Postoji mogućnost da nadstrujni relej u izvodu gdje je spojena elektrana, u slučaju kvara, uopće ne proradi, tj. da je dio struje kvara koja dolazi iz mreže manja od struje prorade podešene na releju R1 (slika 5). Ovaj slučaj je moguć ako je dovoljno veliki generator postavljen daleko od rasklopnog postrojenja pa je impedancija između elektrane i kvara znatno manja od impedancije između kvara i rasklopnog postrojenja (mreže). Najčešće se događa u slučaju dvopolnog kratkog spoja i velikog prijelaznog otpora na mjestu kvara.



Slika 5. Izostanak djelovanja nadstrujne zaštite

Ovakav problem uklanja se smanjivanjem prorađne struje releja nakon provedenih mjerenja i proračuna. Primjenom numeričkih zaštitnih uređaja s više grupa podešenja i komunikacijskih veza između releja i centra daljinskog vođenja moguće je ostvariti promjenu podešenja releja ovisno o tome da li je elektrana u pogonu ili ne.

4.4. Podešavanje automatskog ponovnog uklopa u mreži nakon priključka male elektrane

Priključak male elektrane na mrežu uzrokuje poteškoće u radu automatskog ponovnog uklopa nadzemnih vodova distribucijske mreže. Nerealno je pak očekivati da će zbog toga operator distribucijskog sustava napustiti korištenje APU-a, čija je glavna zadaća povećati raspoloživost mreže i smanjiti trajanje beznaponske pauze [14].

Malu hidroelektranu je potrebno odvojiti od mreže prije ponovnog uklapanja prekidača od strane uređaja za automatski ponovni uklop. Za to je potrebno određeno vrijeme koje se sastoji od vremena djelovanja zaštite u elektrani i vremena djelovanja prekidača koje uključuje vrijeme potrebno za gašenje luka i deionizaciju staze luka u prekidaču za odvajanje elektrane.

Vrijeme djelovanja vrlo brzih APU-a je 0,2 – 0,5 s, što je često prekratko da bi zaštita isključila elektranu s distribucijske mreže. Postoje dakle dvije mogućnosti: ugradnja vrlo brze zaštite ili povećanje

vremena djelovanja APU-a. Prvo rješenje se ne upotrebljava u praksi jer poskupljuje već ionako skupu zaštitu. Potrebno je, dakle, povećati vrijeme APU-a (preporuča se oko 1 s) kako bi se izbjeglo oštećenje generatora [8]. Povećanjem vremena APU-a olakšava se podešenje zaštite (od otočnog rada), ali se i povećava vrijeme beznaponske pauze u distribucijskoj mreži, tj. smanjuje kvaliteta opskrbe električnom energijom. Stoga je potrebno podesiti što kraće vrijeme beznaponske pauze na uređaju za APU, uz uvjet da zaštita stigne isključiti elektranu s mreže.

5. ZAKLJUČAK

Liberalizacija tržišta električne energije i ekonomske subvencije posljednjih godina utječu na povećanje udjela električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije. Glavni razlog tome je ekološka osviještenost utemeljena Kyoto protokolom, čije zemlje potpisnice imaju obvezu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Priključak ovakvih izvora na distribucijsku mrežu donosi i razne električne, tehničke i ekonomske utjecaje te utjecaje na planiranje pogona i izgradnju aktivne razdjelne mreže.

Potrebno pravilno projektirati postrojenje male elektrane te je vrlo bitno odrediti najprikladnije mjesto njenog priključka, na temelju analize njenog utjecaja na samu distribucijsku mrežu. Postojeća zaštita distribucijske mreže često se u novonastalim prilikama pokazuje neprikladnom. Dio distribucijskog sustava potrebno je štititi s obje strane, jer sada i male elektrane sudjeluju u napajanju mjesta kratkog spoja. Potrebno je ugraditi usmjerenu nadstrujnu zaštitu i/ili distantnu zaštitu te izvršiti promjenu podešenja releja. Djelovanje uređaja za automatski ponovni uklop u distribucijskoj mreži bitno se otežava, i to najviše zbog moguće pojave otočnog rada, koji je uglavnom nepoželjan pa ga prikladnom metodom treba što prije otkriti i ukloniti. Osim toga moguć je nesinkronizirani uklop elektrane, što može izazvati ozbiljna oštećenja generatora. Ovakve zahtjevnije prilike u mreži često zahtijevaju primjenu moderne numeričke zaštite bazirane na međusobnim komunikacijskim vezama.

LITERATURA

- [1] „Mrežna pravila elektroenergetskog sustava RH“, Narodne novine, br. 177/04, 2004.
- [2] T. Poljak, M. Čavlović, V. Fabris, „Tehnički uvjeti priključka jedinica distribuirane proizvodnje – Povlašteni proizvođači“, 1. savjetovanje HO CIRED, Ref. SO4-02, Šibenik, 2008.
- [3] „Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede, Bilten Vjesnika HEP br. 66, Zagreb, veljača 1998.
- [4] „Zakon o energiji“, Narodne novine, br. 68/01, 2001. i 177/04, 2004.
- [5] „Zakon o tržištu električne energije“, Narodne novine, br. 177/04, 2004. i 76/07, 2007.
- [6] „Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom“, Narodne novine, br. 14/06, 2006.
- [7] I. Chilvers, N. Jenkins, P. Clossley, „Development of distribution network protection schemes to maximise the connection of distributed generation“, 17th International Conference on Electricity Distribution CIRED, Barcelona, May 2003., Paper No. 46
- [8] Y. G. Paithankar, „Transmission Network Protection“, Theory and Practice, M.D. New York, 1997.
- [9] Technische Richtlinie: "Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU)", Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW, 1994.
- [10] „Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ / Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, BDEW, June 2008
- [11] P. Rush, „Network Protection & Automation Guide“, Alstom, Levallois-Perret, 2002.
- [12] IEEE Std C37.104-2002: IEEE Guide for Automatic Reclosing of Line Circuit Breakers for AC Distribution and Transmission Lines. IEEE, January 2003.
- [13] N. Dizdarević, M. Majstrovic, S. Žutobradić – "Distribuirana proizvodnja električne energije", 6. savjetovanje HRO CIGRÉ, Ref. C6-22, Cavtat, 2003.
- [14] L. Kumpulainen, K. Kauhaniemi, "Distributed generation and reclosing coordination", VTT Technical Research Centre of Finland & University of Vaasa, 2006.