

Josip Tošić, dipl.ing.el.
Siemens d.d.
tosic.josip@siemens.com

Mr. sc. Tomislav Sinjeri, dipl.ing.el.
HEP – ODS d.o.o., Elektra Koprivnica
tomislav.sinjeri@hep.hr

Vladimir Gagić, dipl.ing.el.
Naziv tvrtke/ustanove
vladimir.gagic@siemens.com

Zdravko Matišić, dipl.ing.el.
HEP – ODS d.o.o., Elektra Koprivnica
zdravko.matic@hep.hr

ADAPTIVNA ZAŠTITA U SAMOOBNAVLJAJUĆOJ DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI ELEKTRE KOPRIVNICA KORIŠTENJEM PROTOKOLA IEC 61850

SAŽETAK

Danas se distribucijske mreže razvijaju prema naprednim distribucijskim mrežama, tj. prelaze iz pasivnih u aktivne mreže u kojima se nalazi distribuirana proizvodnja, sustavi za pohranu energije, te intenzivno koriste komunikacijsku infrastrukturu. S obzirom na trendove razvoja mreža, jedan od izazova su novi zahtjevi za relejnu zaštitu u uvjetima naprednih mreža. Današnje pasivne mreže nemaju mogućnost adaptacije na aktivne promjene u mreži, stoga biti će potrebno uvesti nove adaptivne metode zaštite kako bi se odgovorilo na izazove.

U ovom radu opisan je koncept adaptivne zaštite te primjenjivost istog u stvarnim pogonskim uvjetima samoobnavljajuće mreže HEP Elektra Koprivnica korištenjem protokola IEC 61850.

Ključne riječi: adaptivna zaštita, samoobnavljajuća mreža, IEC 61850, napredna mreža,

ADAPTIVE PROTECTION IN SELF-HEALING GRID ELEKTRA KOPRIVNICA BY USING IEC61850 PROTOCOL

SUMMARY

Today development of distribution grids is going in direction of smart distribution systems. Grids become active a not passive, with integrated distributed energy resources, storage systems and heavily relay on communication infrastructure. Today's passive grids do not have possibility to adapt on active changes in grid, therefore it is necessary to use new adaptive protection schemes.

In this paper concept of adaptive protection is described and application of adaptive protection in project Self-healing Grid Elektra Koprivnica by using IEC61850 protocol.

Key words: adaptive protection, self-healing grid, IEC 61850, smart grid

1. UVOD

Utjecaj distribuiranih izvora (u daljnjem pisanju: DI) i ostalih aktivnih elemenata na mrežu je višestruki uključujući: izmjenu topologije mreže, izmjene smjera tokova snaga, izmjene iznosa struja kratkog spoja i sl. Prema novim istraživanjima zaštita u naprednoj mreži (eng.smartgrid) morat će biti adaptivna kako bi se mogla prilagoditi na promjene u topologiji mreže, te priključke novih distribuiranih izvora [4][5].

Današnje pasivne mreže nemaju mogućnost adaptacije na aktivne promjene kao što su izmjena topologije, promjene u načinu rada DI i sl. Konvencionalna zaštita u distribucijskim mrežama ima isti koncept već desetljećima, i radi pod pretpostavkom da tok energije ide sa više naponske razine prema nižoj, a zaštita mreže (najčešće) bazirana je na koordinaciji nadstrujne zaštite. Konvencionalne metode zaštite ne mogu zadovoljiti sve uvjete rada mreže, stoga je potrebno uvesti nove adaptivne metode djelovanja zaštite [13].

2. NOVI UVJETI ZAŠTITE

U okruženju naprednih mreža gdje broj priključenih DI u mreži nije nepromjenjiv, već je ovisan o vremenskim prilikama, stanju na tržištu, raspoloživosti DI i sl., mreža postaje aktivna i potrebne su adaptivne metode zaštite da bi se udovoljilo zahtjevima koji se postavljaju pred zaštitu. Osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred zaštitu od poremećaja i kvarova su isti u pasivnoj i aktivnoj mreži, samo su u aktivnoj mreži uvjeti promjenjivi i njima se zaštita mora prilagoditi (adaptirati). DI u mreži može utjecati na iznos i smjer struje kvara te u najgorem slučaju može dovesti do neselektivnog isklopa voda u kojem je priključen DI ili isklop samog DI sa mreže ako nije uslijedila prilagodba zaštite novim uvjetima. Utjecaj DI na zaštitu u distribucijskoj mreži detaljnije je opisan u [6][7].

Da bi se postigla puna funkcionalnost adaptivne zaštite nužno je da uređaji relejne zaštite međusobno komuniciraju u stvarnom vremenu. Stoga potrebna je odgovarajuća komunikacijska infrastruktura koja će omogućiti intenzivnu razmjenu informacija. Uređaji relejne zaštite koriste komunikacijsku infrastrukturu u okviru naprednih mreža što je detaljnije obrađeno u [8][9][10].

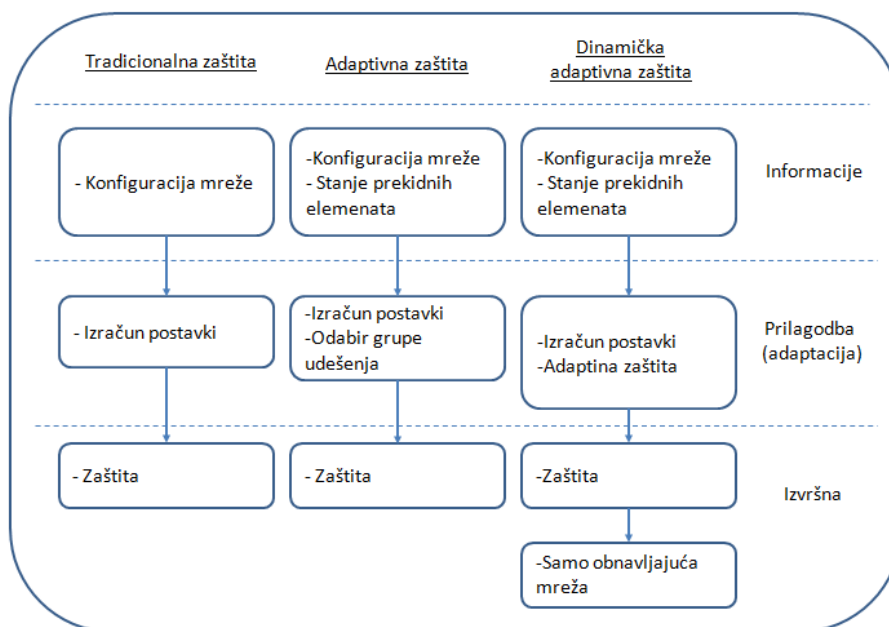
Da bi zaštita bila adaptivna potrebna je razmjena određenih informacija o promjenama koje se odvijaju u mreži, a koje imaju utjecaj na postavke zaštite u zaštitnim relejima. Moguće je da neki novi zahtjevi neće moći biti udovoljeni sa trenutnim postavkama zaštite, već će trebati upotrijebiti novu zaštitnu funkciju. Neke od najvažnijih informacija o stanju distribucijske mreže koje je potrebno razmjenjivati su konfiguracija mreže, uklopno stanje i proizvodnja DI. Konfiguracija mreže je bitna informacija jer određuje uklopno stanje prekidnih uređaja u mreži (prekidači, recloseri, rastavljači, rastavne sklopke), te određuje granice mreže i ukupnu duljinu mreže spojene na primarnu trafostanicu. Kako je broj DI spojnih na mrežu varijabilan, potrebno je znati koji DI su spojeni na mrežu, kolika je i kakvih je značajka njihova proizvodnja.

Kako zaštitni releji i zaštitne sheme postaju napredniji, tako je sve teže odrediti granicu između područja zaštite i područja upravljanja, jer sada jedan uređaj objedinjuje dvije funkcije [11]. Neke funkcije poput rekonfiguracija mreže teško je kategorizirati jer to je istovremeno funkcija zaštite, ali i upravljanja. Strategije adaptivne zaštite i strategije upravljanja su vrlo slične jer da bi ispravno radili adaptivna zaštita zahtjeva povratnu informaciju od sustava upravljanja, a sustav upravljanja zahtjeva povratnu informaciju od sustava zaštite. Razvidno je da su u okviru naprednih mreža sustavi zaštite i upravljanja toliko povezani da ih možemo smatrati jednom cjelinom.

3. RAZINE IMPLEMENTACIJE ADAPTIVNE ZAŠTITE

Adaptivnost zaštite može se postići na razne načine, ali isto tako razlikujemo različite razine implementacije adaptivnosti. Ovisno o trenutnom stanju mreže i razini implementacije naprednih mreža, razina adaptivnosti ide od konvencionalne zaštite bez adaptivnosti, pa sve do potpune primjene adaptivna zaštite u okruženju naprednih mreža [5]. Razine implementacije adaptivne zaštite prikazane su na slici 1.

U konvencionalnoj shemi zaštite distribucijske mreže, konfiguracija mreže je uglavnom zadana i omogućuje minimalne izmjene u pogonu. Elaboratom udešenja zaštite definiraju se parametri zaštite i zaštitnih releja, te se na temelju istih releji puštaju u rad. U ovom slučaju „zaštita“ podrazumijeva niz radnji koje se odrađuju u slučaju detektiranja kvara. To su detektiranje kvara, lociranje mjesta kvara i izolacija kvara isklupom prekidača (jednog ili više). Ovakva shema zaštite je pasivna i ne uzima u obzir moguće promjene u mreži kao npr. priključak DI, uslijed kojeg je ponovno potrebno provesti elaborat i podešenje releja inače zaštita neće ispravno raditi.



Slika 1. Razine implementacije adaptivne zaštite

Na slici 1., isprekidanim horizontalnim linijama opisana je implementacija adaptivne zaštite u tri stupnja. Prvi stupanj „Informacije“ je razina gdje se prikupljaju podaci o konfiguraciji mreže.

U drugom stupnju „prilagodba – adaptacija“ sustav zaštite se adaptira na trenutne zahtjeve na temelju prikupljenih informacija. Na vertikalnoj razini „Adaptivna zaštita“ i „Dinamička adaptivna zaštita“ postavke i funkcije zaštite se automatski mijenjaju, uz dodatak da se u „Dinamička adaptivna zaštita“ određuje strategija samoobnavljajuće mreže u skladu s trenutnim stanjem mreže. Navedene radnje se provode automatski bez ljudske intervencije, dok kod konvencionalne sheme zaštite, potrebna je ljudska intervencija u slučaju adaptacije zaštite.

Treća razina „Izvršna“, predstavlja izvršne članove i funkcije.

3.1. Statička adaptivna zaštita

U razini „Adaptivna zaštita“ trajno se nadzire uklopno stanje svih elemenata mreže i kada se detektira promjena, postavke zaštite se mijenjaju u skladu s promjenom, te se po potrebi dodaju nove funkcije. Princip rada zaštite od indikacije do izolacije kvara ostaje isti kao prije.

Najveća razlika u odnosu na konvencionalnu zaštitu je potreba da se trajno nadzire uklopno stanje svih elemenata mreže i kada se detektira promjena, postavke zaštite se mijenjaju u skladu sa novim stanjem mreže. Ova razina se još zove „Statička adaptivna zaštita“ jer su izmjene udešenja zaštite statički podešena u terminalima polja kao predefimirani scenariji (predefimirane grupe podešenja u terminalima polja). Unaprijed se radi proračun za predefimirane moguće konfiguracije mreže i stanja DI. Radi se onoliko proračuna koliko ima mogućih stanja u mreži.

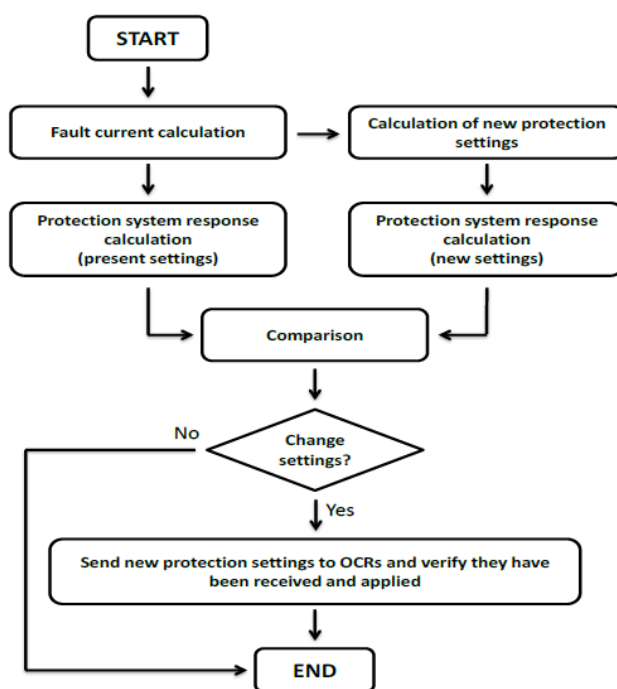
Nedostatak statičke adaptivnosti je ograničenje na određeni broj mogućih konfiguracija u mreži. Integracijom DI postaje nemoguće predvidjeti točan broj scenarija koji bi predvidjeli sva moguća stanja mreže. Drugi problem je fizičko ograničenje memorije zaštitnog releja. Danas je u nekim uređajima, npr. Siprotec Siemens, moguće koristiti do 8 grupa podešenja [11], što uskoro neće biti dovoljno za primjenu u mrežama s visokim stupnjem integracije DI.

3.2. Dinamička adaptivna zaštita

Razina „Dinamička adaptivna zaštita“ podrazumijeva primjenu samoobnavljajuće mreže. Zaštita i strategija samoobnavljanja mogu raditi paralelno kada zaštita izolira kvar, a istovremeno provodi se strategija samoobnavljanja mreže. U ovom slučaju sustav zaštite i sustav upravljanja rade zajedno. Najbitnija značajka je da se adaptivnost primjenjuje na zaštitne, ali i na upravljačke funkcije.

Podešenja zaštitnih releje nisu predefiniрана, već se računaju u centru upravljanja (aplikacija u SCADA) na način da se pronađe optimalno rješenje za trenutno stanje u mreži. Centralni sustav detektira promjene u mreži bilo rekonfiguracija mreže ili promjena uklopnog stanja DI, te nakon izračuna novih postavki, iste automatski šalje u zaštitne releje. S obzirom na mogućnosti i fleksibilnost ovakvog sustava, moguće je štititi sustav na optimalan način te izbjeći neselektivne iskllope.

Slika 2 prikazuje blok dijagram sustava dinamičke adaptivne zaštite [14]. Releji očitava vrijednosti struje i napona preko mjernih transformatora. Svaki relej prosljeđuje informaciju o mjerenju prema staničnom računalu u vremenskim intervalima ili u realnom vremenu. SCADA sustav na staničnom računalu prati status svih elemenata mreže (prekidača, rastavljača i sl) i prosljeđuje sve informacije u ostale centre upravljanja.



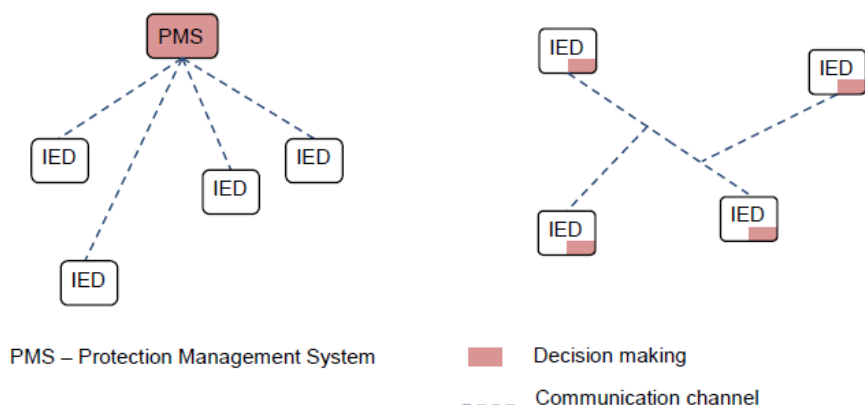
Slika 2. Algoritam optimalne koordinacije adaptivne zaštite

SCADA sustav nadzire i upravlja dijelom mreže za koji je zadužen. Sustav prati sve izmjene u mreži u realnom vremenu, te odmah signalizira izmjene u centar upravljanja. U centru upravljanja odvija se algoritam koji radi analizu trenutnog stanja mreže te uspoređuje s prošlim stanjem. Na temelju novog stanja mreže algoritam procjenjuje da li je potrebno raditi topološku izmjene konfiguracije mreže, te da li je potrebno mijenjati udešenja zaštite za pojedini relej u mreži. Ako algoritam procjeni da je potrebno promijeniti postavke releja, centralni sustav će se adaptirati na novonastalu situaciju na način da će provesti optimizaciju koordinacije postavki zaštite, te nove postavke poslati u releje preko komunikacije sa staničnim računalom. Kada releji promjene postavke, šalju potvrdu o uspješnoj izmjeni u centar upravljanja.

4. ARHITEKTURA SUSTAVA

U literaturi je već razmatrano i razvijeno nekoliko strategija i koncepata adaptivne zaštite [13] [14]. Ovisno o mjestu odlučivanja, sheme adaptivne zaštite mogu se podijeliti na dva sustava: centralizirani i decentralizirani sustav odlučivanja i upravljanja. Osnovna arhitektura centraliziranog i decentraliziranog

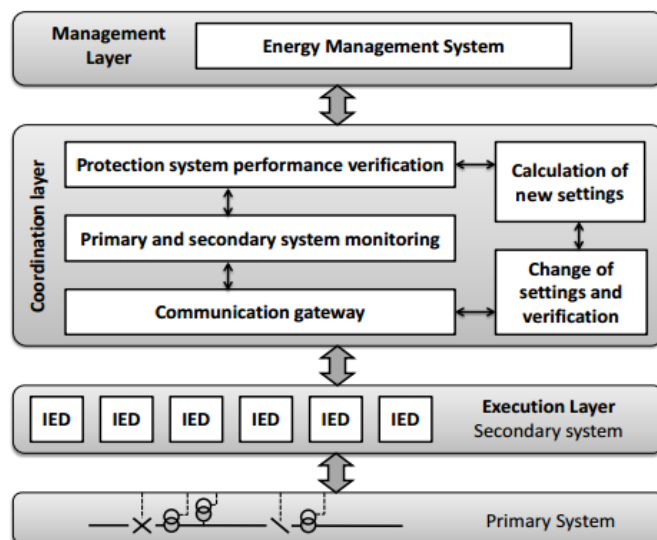
sustava prikazana je na slici 3. Crvena boja označava mjesto na kojem se donose odluke (npr. o postavkama zaštite).



Slika 3. Centralizirani i decentralizirani sustav odlučivanja i upravljanja

4.1. Centralizirani sustav odlučivanja i upravljanja

U centraliziranom sustavu stanje mreže i DI se prenosi u nadređeni centar koji onda odabire postavke zaštite za pojedini relej da odgovoraju trenutnom stanju mreže. Ovakav sustav jako je ovisan o komunikacijskoj infrastrukturi jer zaštitni releji ovise o informacijama koje dobiju iz centra upravljanja. Neke od centraliziranih shema adaptivne zaštite (slika 4.) predložene su u [4][5].



Slika 4. Arhitektura sustava adaptivne zaštite

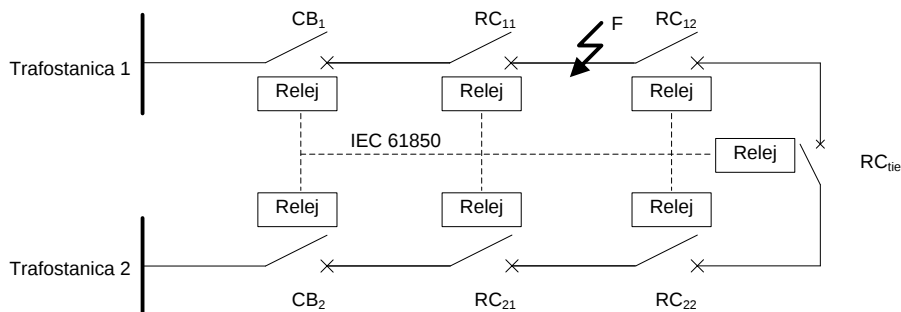
Arhitektura sustava sastoji se od 4 razine, kao što je prikazano na slici 4. [14]. Na dnu dijagrama prikazana je primarna oprema koja uključuje transformatore, DI, prekidače, rastavljače, strujne mjerne transformatore, naponske mjerne transformatore i sl. Odmah iznad nalazi se Izvršni sloj (eng. *Execution Layer*) u kojem se nalazi sva sekundarna oprema ugrađena u mrežu kao što su zaštitni releji, upravljački releji, regulatori napona, brojila i sl. (eng. IED – Intelligent Electronic Device).

Sučelje između prve dvije razine izvedeno je čvrstim ožičenjem za razmjenu podataka (upravljanje, signalizacija, mjerenje) ili komunikacijskim sučeljem (npr. IEC 61850 komunikacijski protokol). *Execution Layer* povezan je s Koordinacijskim slojem (eng. *Coordination Layer*) u kojem se odvija nadzor i koordinacija IED.

Na vrhu dijagrama nalazi se Upravljački sloj (eng. *Management Layer*) unutar kojeg se nalazi kontrolni centar sa sustavom za nadzor i upravljanje cijelom mrežom. Implementacija sustava adaptivne zaštite odvija se u *Coordination Layer* primjenom naprednih funkcija koje nisu prisutne u tradicionalnim sustavima zaštite.

4.2. Decentralizirani sustav odlučivanja i upravljanja

Napretkom tehnologije i snage procesora u zaštitnim relejima moguće je projektirati decentralizirani sustav s lokalnom razinom odlučivanja na razini uređaja, bez korištenja nadređenog SCADA sustava. Zaštitni releji međusobno izmjenjuju informacije i dijele zaduženja, tj odlučuju o načinu vođenja mreže ovisno o postavljenim parametrima pojedinčanog uređaja i grupe uređaja. Primjer decentraliziranog sustava prikazan je na slici 5.

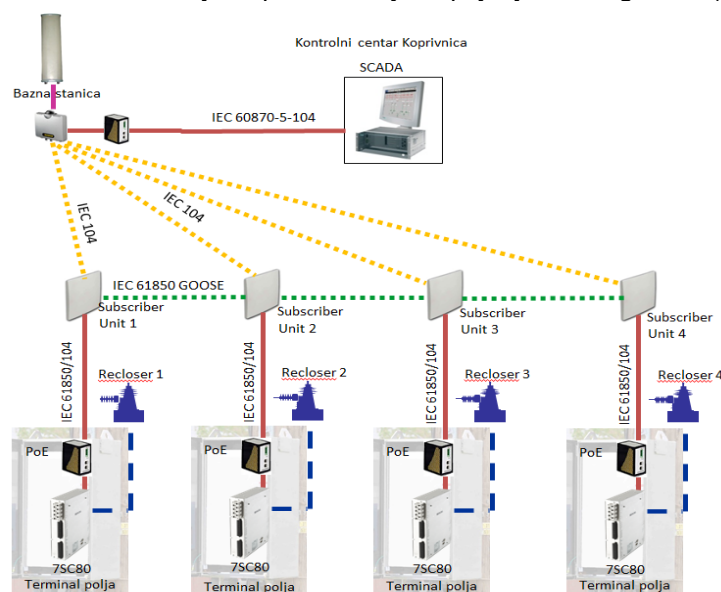


Slika 5. Decentralizirani sustav adaptivne zaštite

U decentraliziranom sustavu adaptivne zaštite različite funkcije raspoređene su među zaštitnim relejima. Uvjet decentraliziranog sustava upravljanja je stabilna i jako brza komunikacijska infrastruktura temeljena na IEC61850. Upravo je na projektu samoobnavljajuće mreže Elektra Koprivnica korišten decentralizirani sustav odlučivanja i upravljanja, temeljen na komunikacijskom protokolu IEC61850 u bežičnoj komunikaciji.

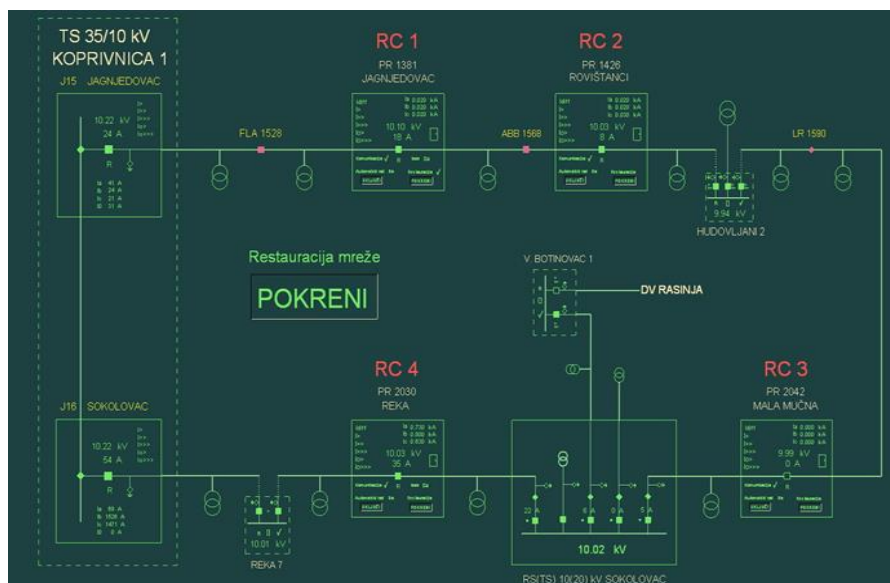
5. ADAPTIVNA ZAŠTITA SAMOONAVLJAJUĆE MREŽE ELEKTRA KOPRIVNICA

TS 35/10(20) kV Koprivnica 1 napaja trećinu konzuma grada Koprivnice te južnu i zapadnu stranu ruralnog dijela okolice Koprivnice. Vodovi Jagnjedovac i Sokolovac izlaze iz TS 35/10(20) Koprivnica 1 te zatvaraju petlju duljine 60 km na koju je spojeno oko 5.000 potrošača. Korištenjem te petlje moguće je dvostrano napajanje iz iste primarne trafostanice. Prilikom pojave kvara na toj petlji proces izolacije kvara, rekonfiguracije mreže i uspostave napajanja odvijao se ručno (razina uređaja - bez komunikacijske infrastrukture), što je znalo trajati i po nekoliko sati. Cilj ovoga projekta bilo je u potpunosti implementirati brzu samoobnavljajuću mrežu temeljenu na decentraliziranom sustavu upravljanja (slika 6.), kako bi se maksimalno smanjio broj potrošača zahvaćenih kvarom, maksimalno smanjilo vrijeme prekida na način da kupci koji nisu zahvaćeni kvarom „ne osjete“ prebacivanje napajanja na drugi izvor (bez prekida).



Slika 6. Blok shema samoobnavljajuće SN mreže Koprivnice

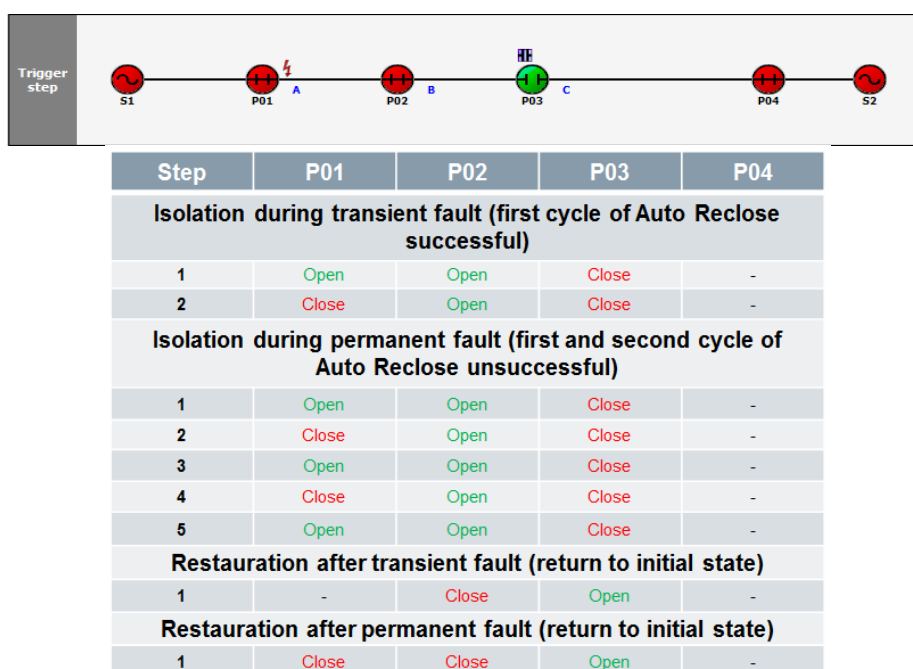
Kako bi se ostvarili zadani ciljevi bilo je potrebno ugraditi odgovarajuću primarnu i sekundarnu opremu za automatizaciju mreže te odabrati komunikacijsku tehnologiju koja udovoljava zahtjevima. Shema samoobnavljajuće mreže Koprivnica prikazana je na slici 7.



Slika 7. Shema sustava u dispečerskom centru HEP Koprivnica

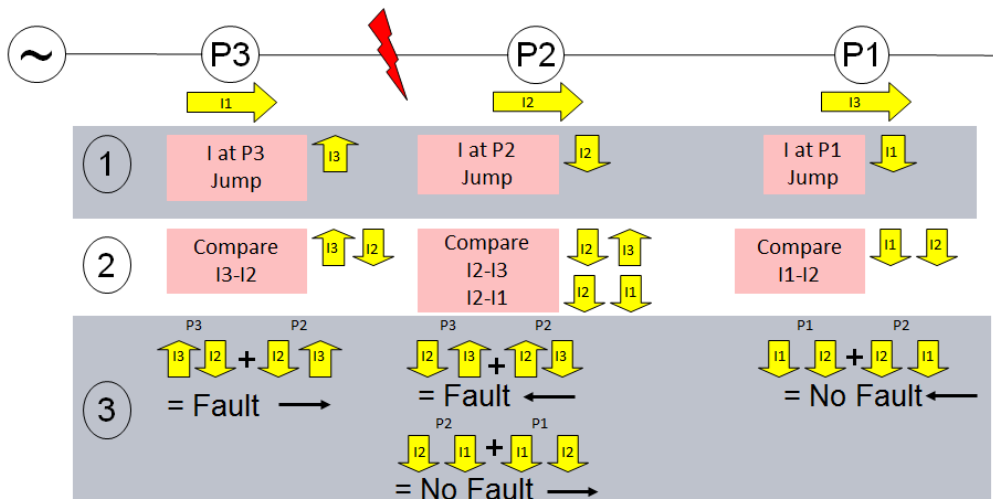
Sustav upravljanja samoobnavljajućom mrežom Elektra Koprivnica je decentralizirani sustav upravljanja, temeljen na komunikacijskom protokolu IEC61850 u bežičnoj komunikaciji. Zaštita mreže od kvarova realizirana je terminalima polja ugrađenim u upravljačke ormariće vakuumskih prekidača. Relejna zaštita ima dva osnovna moda rada: s komunikacijom i bez komunikacije. Nevezano na prisutnost komunikacijskog sustava, zaštita mora biti selektivna.

Analizom mogućih pogonskih stanja mreže određuje se broj mogućih uklopnih stanja i automatiziranih sekvenci, ovisno o dijelu mreže u kojem je nastao kvar. Izradom matrice uklopnih stanja za svaku sekvencu i programiranjem PLC logike terminala (CFC), ostvaruju se funkcije samoobnavljajuće mreže (slika 8.).



Slika 8. Matrica uklopnih stanja za pojedinu sekvencu

Za detektiranje kvarova koristi se hibridna metoda diferencijalne zaštite (eng. Jump Differential - *jDiff*) implementirana u terminalima polja, koja funkcionira na principu mjerenja iznosa i smjera struja, te na temelju toga utvrđuje lokaciju kvara na segmentu voda [12]. Određivanje lokacije kvara nije temeljno na metodi pokušaja i pogreške (prozivanje svakog reclosera), već detektira kvar između reclosera u nekoliko milisekundi (ms). To znači da sustav može izolirati i vratiti napajanja preko normalno otvorene točku u svega nekoliko milisekundi (<300ms). Način izvršenja funkcije *jDiff* opisan je na slici 9.



Slika 9. Funkcija Jump Differential - *jDiff*

Funkcija *jDiff* razvijena je od strane proizvođača Siemens, te je implementirana kao zaštitna funkcija u uređajima tip 7SC80 [11]. Izvršenje funkcije odvija se u 3 faze. U prvoj fazi detektiraju se pozitivni i negativni skokovi struje unutar 3 periode mjerenja, te se određuje tip kvara – zemljospoj ili međufazni kvar. Ako je izmjereni skok veći u trećoj periodi od onog u nultoj za iznos podešenja *jDiff*, zaštita će putem GOOSE poruka javiti ostalim relejima u tom dijelu mreže da je detektirala kvar (bez isklopa). U drugoj fazi skokovi se zatim uspoređuju sa mjerenjima iz ostalih uređaja duž voda. U trećoj fazi radi se usporedba vrijednosti i smjera kako bi se točno utvrdilo na kojoj lokaciji je kvar (između koja dva prekidača) [12].

Za ispravan rad *jDiff* potrebno je koristiti adekvatnu komunikacijsku infrastrukturu temeljenu na protokolu IEC 61850 koji podržava razmjenu mjerenja u stvaranom vremenu putem GOOSE poruka između releja.

U slučaju gubitka komunikacije, terminali polja automatski blokiraju funkciju *jDiff* i prelaze na „normalni“ način rada, tj. kao samostalni prekidač u mreži. Selektivnost zaštite postiže se vremenskim zatezanjem svakog od terminala polja.

5.1. Selektivnost i koordinacija zaštite

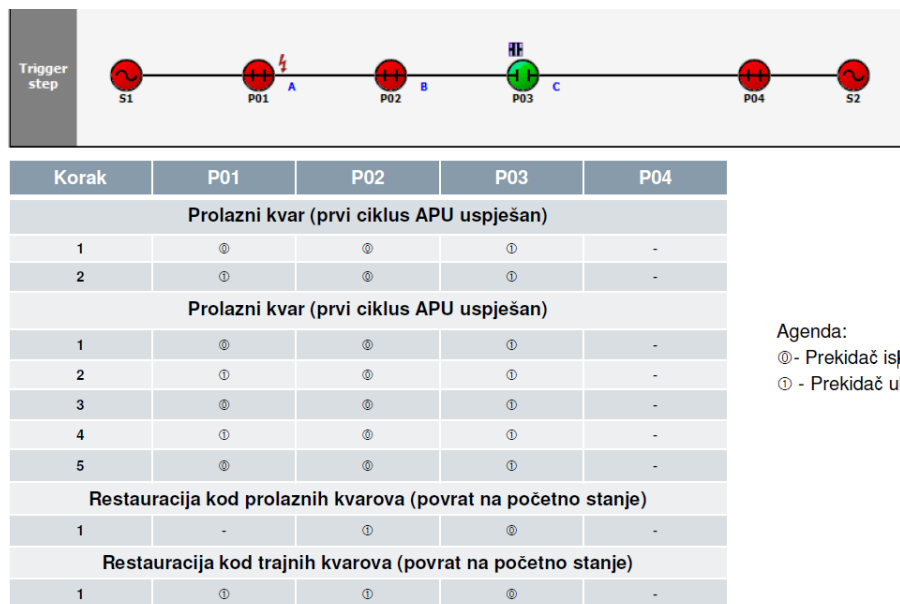
Zadatak sustava relejne zaštite je da otkrije i ukloni kvar u što kraćem vremenu, te izolira dio mreže koji je u kvaru. U slučaju da glavni sustav zaštite zataji (kvar releja ili kvar prekidača), ostala zaštita mora djelovati kao rezervna bila ona u istoj ili susjednoj trafostanici sa vremenskim pomakom u skladu sa zahtjevima selektivnosti. Postavljanjem vremenskog pomaka (zatezanja) na svim rezervnim relejima vrši se koordinacija zaštitnih releja u mreži. Koordinacija je nužna kako bi se mogla postići zadovoljavajuća razina selektivnosti prorade zaštite.

Kod odabira postavki releja koristila su se dva glavna uvjeta: prvi uvjet je da relej treba odraditi za kvarove u njegovoj zoni, a drugi uvjet je da relej ne smije odraditi za kvarove izvan zone, osim u slučaju prorade kao rezervna zaštita. Kako bi se osnovna i rezervna zaštita mogle vremenski koordinirati potrebno je preko isklupne karakteristike podesiti vremensko zatezanje rezervnog releja koje će omogućiti osnovnom releju da prvi ukloni kvar.

Za svaku od predloženih topologija samoobnavljajuće mreže (matrica uklopnih stanja), rađen je proračun udešenja zaštite za svaki terminal. Pokazalo se da je potrebno mijenjati udešenja zaštite ovisno o stanju mreže, tj. da zaštita mora biti adaptivna kako bi samoobnavljajuća mreža ispravno radila (statička adaptivna zaštita).

Releji su podešeni da adaptiraju svoje postavke ovisno o stanju mreže:

- Gubitak izvora
- Restauracija (povratak na početno stanje)
- Prolazni kvar (prvi ciklus APU uspješan)
- Trajni kvar (prvi i drugi ciklus APU neuspješan)
- Restauracija kod prolaznih kvarova (povrat na početno stanje)
- Restauracija kod trajnih kvarova (povrat na početno stanje)



Agenda:

- ⓪ - Prekidač iskllopljen (OFF)
- ① - Prekidač ukllopljen (ON)

Slika 10. Simulacija kvara na dionici A

Za svaku dionicu mreže rađana je matrica uklopnih stanja aparata, kao što je prikazano na slici 10. Ovisno u kojem dijelu mreže se nalazi rasklopno mjesto (eng. normaly open point), releji adaptiraju svoje postavke zaštitnih funkcija. Na slici 10 rasklopno mjesto se nalazi na prekidaču P03 (zeleno).

Nakon podešavanja svih releja, isti su ispitani sa sekundarnim vrijednostima u laboratorijskim uvjetima (slika 11.), a na posljetku su odrađena i primarna ispitivanja zaštite u mreži Elektra Koprivnica. Ispitivanja su pokazala da je zaštita selektivno postavljena za sva uklopna stanja samoobnavljajuće mreže.



Slika 11. Ispitivanja u laboratorijskim uvjetima

6. ZAKLJUČAK

Projekt samoobnavljajuće mreže Elektre Koprivnica predstavlja primjenu trenutno jednog od najmodernijih rješenja na području naprednih mreža (eng. smartgrid) u svijetu.

U ovome radu prikazani su novi koncepti upravljanja i zaštite napredne distribucijske mreže, te implementacija istih u mreži HEP ODS d.o.o., Elektra Koprivnica. Opisan je model rada i različite razine adaptivne zaštite. U projektu samoobnavljajuće mreže Elektra Koprivnica pokazalo se da bez korištenja adaptivne zaštite nije moguće u potpunosti implementirati samoobnavljajuću mrežu. U projektu se koristi model statičke adaptivne zaštite u decentraliziranom sustavu upravljanja temeljenom na protokolu IEC61850. Kao prijedlog daljnjeg istraživanja, predlaže se razvoj i testiranje algoritma dinamičke adaptivne zaštite te primjena novih komunikacijskih rješenja.

7. LITERATURA

- [1] D. Brajković, R. Ćućić, V. Fabris, Z. Jadrijević, B. Brestovec, B. Njavro, „Implementacija automatizacije po dubini srednjenaponske mreže“, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije - HO CIRED, svibnja 2014
- [2] E. Coster, W. Kerstens, T. Berry, „Self healing distribution networks using smart controllers“, 22nd International Conference on Electricity Distribution CIRE, June 2013
- [3] SmartGrids Strategic Research Agenda, European Technology Platform SmartGrids, „Strategic research agenda for Europe's electricity networks of the future“, March 2012
- [4] K. Kauhaniemi, S. Voima, „Adaptive Relay Protection Concept for Smart Grids“, Renewable Efficient Energy II Conference, Vaasa, Finland, 21-22 March 2012
- [5] K. Kauhaniemi, S. Voima, „Adaptivity of Protection in Smart Grids“, PAC World Conference 2012
- [6] M. Nardi, A. Scott, M. Pesin, „Distributed Generation and Its Impact on Power Grids and Microgrids Protection“, Protective Relay Engineers Conference, 2012
- [7] Razni autori, „Distributed Generation“, Chapter 5 - E. Coster, J. Myrzik, W. Kling, „Effect of DG on distribution grid protection“, February 1, 2010
- [8] S. Sučić, B. Kopic, A. Martinić, H. Keserica, „Referentna arhitektura za napredene elektroenergetske“, 10. savjetovanje HRO CIGRÉ Cavtat, 6. – 10. studenoga 2011.
- [9] V. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, „Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards“, IEEE transactions on industrial informatics, vol. 7, no. 4, november 2011
- [10] S. Mohagheghi, J.C. Tournier, Claus A. Andersen, „Applications of IEC 61850 in Distribution Automation“, Power Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011
- [11] Siemens AG, „SIPROTEC 5 – Devices Protection, Automation and Monitoring“, 2015
- [12] Siemens AG, „Distribution & Feeder Automation Applications“, July 2013
- [13] H. Zayandehroodi, A. Mohamed, H. Shareef, M. Mohammadjafari, „A Comprehensive review of protection coordination methods in power distribution systems in the presence of DG“, Electrical Review 2011, ISSN 0033-2097, R. 87 NR 8/2011
- [14] F. Coffele, C. Booth and A. Dyško, „An Adaptive Overcurrent Protection Scheme for Distribution Networks“, IEEE Transactions on Power Delivery, 2015