

Primjena norme IEC 61850 u zaštiti trafostanice 35/10kV

Mežnarić, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:248741>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-08**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 399/EL/2017

Primjena norme IEC 61850 u zaštiti trafostanice 35/10 kV

Matija Mežnarić, 5057/601

Varaždin, rujan, 2018. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Elektrotehniku

Završni rad br. 399/EL/2017

PRIMJENA NORME IEC 61850 U ZAŠTITI TRAFOSTANICE 35/10 KV

Student

Matija Mežnarić, 5057/601

Mentor

mr. sc. Tomislav Sinjeri, dipl. ing. el.

Varaždin, rujan, 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Matija Mežnarić	MATIČNI BROJ	5057/601
DATUM	6.6.2017	KOLEGIJ	Zaštita u elektroenergetskim postrojenjima
NASLOV RADA	Primjena norme IEC 61850 u zaštiti trafostanice 35/10 kV		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Application of IEC 61850 standard in substation protection 35/10 kV

MENTOR	Tomislav Sinjeri	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Dunja Srpak, dipl.ing.el. - predsjednik		
	2. mr.sc.Goran Pakasin, dipl.ing.el.		
	3. mr.sc.Tomislav Sinjeri, dipl.ing.el.		
	4. mr.sc.Ivan Šumiga - zamjenski član		
	5. _____		

Zadatak završnog rada

BROJ 399/EL/2017

OPIS
IEC 61850 je jedinstveni globalni protokol koji standardizira sve komunikacijske potrebe između fizičkih inteligentnih uređaja unutar transformatorskih stanica. Definira pravila za ostvarivanje interoperabilnosti između funkcija i uređaja zaštite, nadzora, upravljanja i automatizacije bez obzira na proizvođača što je najveća prednost novog pristupa.
Nadalje, korištenjem GOOSE poruka za razmjenu podataka komunikacijskom sabirnicom (za razliku od klasičnog ožičenja) smanjeni su troškovi montaže i ispitivanja, a automatski povećana pouzdanost sustava.
Primjena u distributivnim transformatorskim stanicama bila bi najizraženija kod korištenja međublokada upravljanja aparatima, zaštite od zatajenja prekidača ili uvjetne zaštite sabirnicom.
U završnom radu obraditi primjer revitalizacije sekundarne opreme postojeće transformatorske stanice prijenosnog omjera 35/10 kV primjenjujući normu IEC 61850.

ZADATAK URUČEN 26.06.2017.



POTPIS MENTORA
Sinjeri

Predgovor

Mentor mr. sc. Tomislav Sinjeri dipl. ing. el., svojim mi je savjetima i pruženom pomoći uvelike pomogao u izradi ovog završnog rada te mu se iskreno zahvaljujem. Hvala što mi je omogućio korištenje konkretnih primjera i slika za što bolji prikaz teme završnog rada, bez njih rad ne bi bio potpun.

Zahvaljujem svojoj obitelji na podršci i pomoći tijekom cijelog mog studiranja.

Od srca zahvaljujem svojoj supruzi Nini Šešić Mežnarić na razumijevanju, potpori i pomoći u izradi ovog završnog rada.

Sažetak

Razvoj i primjena IEC 61850 norme dovode do razvitka pametnih mreža te omogućuju kvalitetniju opskrbu potrošača električnom energijom kao i bolju zaštitu gotovo cijelog elektroenergetskog sustava. U radu je objašnjeno što je to norma IEC 61850, na čemu se temelji te na koji način se implementira u sustav. U konkretnom je primjeru objašnjena primjena norme IEC 61850 u trafostanicama, na sabirničkoj zaštiti te je napravljena usporedba sa klasičnom izvedbom preko žičanih blokada.

U radu je objašnjena i komunikacijska i zaštitna strana norme IEC 61850. Kao sredstvo komunikacije koriste se GOOSE poruke, koje imaju veliku brzinu prijenosa informacija u komunikaciji zaštitnih uređaja. Ti uređaji se još nazivaju i inteligentnim elektroničkim uređajima, (eng. IED)

Zaključak ovog završnog rada donosi prednosti primjene norme IEC 61850 u sabirničkoj zaštiti u odnosu na klasičnu žičanu izvedbu zaštite, a to su prije svega brzina, sigurnost, jednostavnost i ekonomičnost.

Ključne riječi: IEC 61850, GOOSE poruke, IED.

Abstract

Development and application of the IEC 61850 standard lead to development of smart grids and it allowed the consumers better supply of electric energy as well as better protection of the whole electric power system. In this thesis it is explained what the IEC 61850 standard is, on what it is based and in which way it is implemented in to the system. Use of the IEC 61850 standard in substations is explained on a particular example, the bus protection, in comparison with the classic wire blokades.

In this thesis the communication and security sides of the IEC 61859 standard are explained. GOOSE messages are used as means of communication, which have a high speed information transfer between security devices. Those devices are also called the intelligent electronic devices, IEDs.

The conclusion of this thesis brings us the benefits of using the IEC 61850 standard in bus protection in comparison with the classic wire protection, above all speed, security, simplicity and economy.

Key words: IEC 61850, GOOSE messages, IED.

Popis korištenih kratica

IEC	International Electrotechnical Commission Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo
IED	Intelligent Electronic Device Inteligentni elektronički uređaj
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition Sustav za nadziranje upravljanja i prikupljanje podataka
DMS	Distribution Management System Sustav upravljanja distribucijom
EMS	Energy Management System Sustav upravljanja energijom
EE	Elektroenergetska
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
GSSE	Generic Substation Status Event
SMV	Sampled Measured Values
SN	Srednji napon
NN	Niski napon
LAN	Local Area Network
TS	Trafostanica
KS	Kratki spoj
ms	Milisekunda
TP	Transformatorsko polje
EES	Elektroenergetski sustav
kV	kilovolt
GHz	Gigaherc
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

CPU	Central Processing Unit Središnja jedinica za obradu
DCS	Distributed Control System Distribuirani sustavi vođenja
MVA	Megavolt-amper
kVA	Kilovolt-amper
ANSI50	Oznaka za nadstrujnu zaštitu
I_n	Nazivna struja

Popis slika

<i>Slika 1 Prikaz osnovne arhitekture sustava uz korištenje IEC 61850 norme.....</i>	<i>3</i>
<i>Slika 2 Prikaz energetske i informacijske infrastrukture</i>	<i>5</i>
<i>Slika 3 Peer-to-peer komunikacija.....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 4 Vrijeme prijenosa GOOSE poruke</i>	<i>9</i>
<i>Slika 5 Horizontalna i vertikalna komunikacija.....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 6 Stupna trafostanica</i>	<i>17</i>
<i>Slika 7 Trafostanica 35/10 kV u građevinskom obliku, Koprivnica.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 8 Primjer jedne tlocrtne sheme TS 35/10 kV.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 9 Primjer radijalne mreže</i>	<i>21</i>
<i>Slika 10 Definiranje signala za pobudu drugog stupnja nadstrujne zaštite</i>	<i>22</i>
<i>Slika 11 Definiranje signala za slanje GOOSE poruke</i>	<i>23</i>
<i>Slika 12 Prikaz konfiguracije GOOSE poruke kod primatelja</i>	<i>23</i>
<i>Slika 13 Logičko spajanje GOOSE ulaza sa drugim stupnjem nadstrujne zaštite.....</i>	<i>24</i>

Sadržaj

1. NORMA IEC 61850	2
2. Sigurnost IEC 61850	5
3. GOOSE poruke	7
4. SCADA sustav	12
5. Standardizacija komunikacije u trafostanici primjenom IEC 61850 norme.....	14
6. Trafostanice i IEC 61850.....	16
6.1. IEC 61850 i komunikacija GOOSE poruka.....	20
7. Zaključak.....	25
Literatura.....	26

UVOD

U svrhu smanjenja negativnog utjecaja na okoliš, financijskih troškova održavanja postrojenja te povećanja pouzdanosti sustava, kao i konstantnog izvora električne energije potrebno je svakodnevno pratiti trendove razvoja tehnologija. Upravo s tom namjerom, uzimajući u obzir da električna energija ima najveći postotni udio u potrošnji, nastaje globalni protokol IEC 61850.

IEC 61850 je međunarodni protokol koji u skupu IEC normi ima funkciju standardiziranja svih komunikacijskih potreba između inteligentnih elektronskih uređaja (IED, *eng. Intelligent Electronic Device*) u trafostanicama. Ta je norma namijenjena automatizaciji dijelova elektroenergetskih sustava (EES). U usporedbi s ostalim normama, ona se temelji na načelu rada automatizacijskih sustava, a da pri tom nije uvjetovana ni ovisna o nekoliko ključnih faktora kao što su određene topologije, proizvođači uređaja ili tip postrojenja u kojima se ta norma primjenjuje. [6]

Kao sredstvo komunikacije uređaji, bilo zaštitni, mjerni ili upravljački koriste GOOSE (*eng. Generic Object Oriented Substation Event*) poruke koje omogućuju prijenos informacija u iznimno kratkom vremenskom periodu te omogućavaju stabilnu i konstantnu komunikacijsku vezu.

Svrha ovog završnog rada je pokazati primjenu norme IEC 61850 u trafostanici omjera 35/10 kV. Primjena u distributivnim postrojenjima (trafostanicama) bila bi najizraženija kod korištenja međublokade upravljanja aparatima, zaštite od zatajenja prekidača ili uvjetne zaštite sabirnica.

U prvom poglavlju završnog rada bit će predstavljena i detaljnije opisana norma IEC 61850, koje su glavne značajke norme, kako je do njih došlo i koje su bile potrebe za tim. Objasnit ćemo i zaštitnu i komunikacijsku stranu IEC 61850.

Zatim slijedi razrada teme, a to je konkretna primjena IEC 61850 u zaštiti trafostanice 35/10 kV, u sabirničkoj topologiji. Način rada, iskopčavanja i izoliranja najmanjeg mogućeg dijela EE mreže. Prednosti i mane kod trafostanica, značajka dugoročne stabilnosti sustava i brze komunikacije.

Posljednje poglavlje završnog rada iznosi zaključak rada i osobni stav prema unaprjeđenju distribucije električne energije, kao i održivosti postrojenja.

1. NORMA IEC 61850

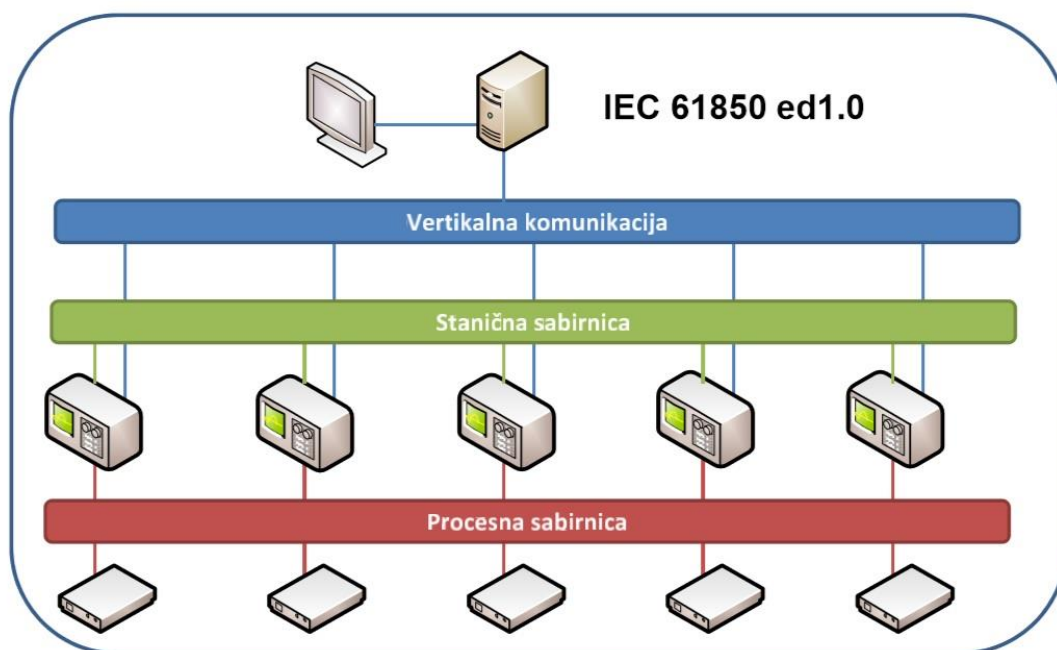
IEC 61850 je jedinstveni globalni protokol, koji je prije svega nastao kao rješenje za automatizaciju i unaprjeđenje postrojenja i stanica. Razvitak te norme počinje još 1995. godine, u 3 radne grupe, a na kojoj je radilo oko 60-tak stručnjaka iz cijelog svijeta. Kako bi stvorili protokol koji se mogao primijeniti na širokom spektru postrojenja, postavili su nekoliko uvjeta koje je ta norma trebala zadovoljavati:

1. Potreban je jedinstven protokol s obzirom na količinu i obradu podataka
2. Određena je osnovna usluga za prijenos podataka
3. Promicanje visoke interoperabilnosti¹ između sustava različitih proizvođača
4. Određen i jednak format za pohranu podataka dobivenih mjerenjem
5. Određivanje potpunog ispitivanja sve opreme da bude u skladu sa standardom[20]

Na osnovu tih uvjeta, stvoren je protokol koji služi za zaštitu, komunikaciju i kontrolu u trafostanicama. Norma sama po sebi obuhvaća desetke zasebnih dokumenata, a svaki od njih služi za određeno polje u elektroenergetici. Do 2004. godine služi se IEC 61850 izdanje 1.0, nastalo u 3 radne grupe i sastojalo se od 14 dokumenata koji su zajedno obuhvaćali otprilike 1400 stranica. Od 2005. godine do danas, a nije poznato i do kada u budućnosti, se prelazi na IEC 61850, izdanje 2.0. Zbog brzo rastuće potrebe za električnom energijom i razvitkom tehnologije, dolazi do proširenja radnih skupina te više nisu 3 već nastaje 5 radnih skupina. Dolazi i do porasta broja dokumenata od kojih se norma sastoji te sada broji i preko 30 dokumenata koji zajedno obuhvaćaju više od 2500 stranica.[21]

¹ Interoperabilnost – sposobnost sustava za pružanje i primanje usluga drugih sustava, međusobno djelovanje

IEC 61850 – Osnovna arhitektura sustava



Slika 1 Prikaz osnovne arhitekture sustava uz korištenje IEC 61850 norme

Kako je već napomenuto u uvodnom dijelu rada, jedna od najvećih prednosti norme IEC 61850 je upravo međusobna povezivost, odnosno interoperabilnost i proširivost sustava s proizvodima različitih proizvođača. Standardizacijom komunikacijskog protokola unutar transformatorskih stanica došlo bi do rješavanja dosadašnjih problema primjene opreme različitih proizvođača u jednom sekundarnom sustavu postrojenja.

Ono na što treba skrenuti pažnju je činjenica kako ova norma zbog svoje primjene može biti različito implementirana u proizvodnji sekundarnih uređaja, upravo zbog nesmetane komunikacije između različitih IED-a.

„Kako standard IEC 61850 može biti različito tumačen od strane pojedinih proizvođača opreme, a što implicira otvorenost sustava jednog proizvođača prema drugima, još uvijek treba voditi računa o tome kojim programskim paketima će biti moguć inženjering sustava različitih proizvođača.“ (Leci, Vukić, Muslim, Babić, 2010: 2)²

² Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, SO3 – 18, <http://www.koncar-ket.hr/documents/Iskustva+iz+primjene+IEC+61850+u+sustavu+automatizacije+transformatorske+stanice.pdf>

Najjednostavniji način opisivanja IEC 61850, koja služi za komunikaciju, jest da je to komunikacija sastavljena od dva dijela:

- Jezik prijenosa – norma IEC 61850 koja sadrži dokumente
- Način prijenosa – putem Ethernet³, odnosno TCP/IP kompatibilnih protokola[7]

Osnovu novih i revitaliziranih trafostanica čine IED komponente, koje konstantnom i izravnom međusobnom komunikacijom održavaju vezu. Sama komunikacija između uređaja u trafostanicama se najčešće odvija pomoću GOOSE (*eng. Generic Object Oriented Substation Events*) poruka. One se koriste i za slanje podataka o položaju mjerno-sekcijskog polja te stanja zaštitnih automata naponskih mjernih krugova. Korištenjem Ethernet³ i GOOSE poruka dolazimo do novog rješenja i napretka u smislu komunikacije te ostvarivanja međusobnih blokada u odnosu na standardno rješenje sa žičanim blokadama. Naravno, uz promjenu sredstva i načina izvedbe međublokada, dolazimo i do novog načina izrade blokade, a u ovom slučaju to podrazumijeva različite vrste programiranja i konfiguriranja te korištenje specifičnih programskih alata i vještina. [7]

Kako i drugdje, tako i ovdje uz pozitivne rezultate i rješenja, nailazimo i na otežavajuće situacije, a jedna od njih je to da razni uređaji u sekundarnom postrojenju ne pripadaju istoj generaciji karakterističnoj za upotrebu ove norme. Za uređaje koji nisu kompatibilni sa IEC 61850, a ne zamjenjuju se drugima, vrše se prilagodbe uz pomoć uređaja za konverziju protokola. Potreba za prilagodbom postojećih uređaja sekundarnih sustava u trafostanici može se smatrati kao nedostatak u primjeni ove norme. Također, kao nedostatak se može smatrati i prije spomenuta interoperabilnost uređaja, u smislu da manjak striktno određenih pravila i uvjeta u kodiranju i proizvodnji uređaja dozvoljava različitim proizvođačima da odabiru pristup i alate za proizvodnju uređaja po vlastitom izboru.[7]

³ Ethernet – Ethernet ili IEEE standard 802.3 je danas najčešće korištena tehnologija za lokalne mreže

Dispečerski centri, komunikacijski vodovi i terminalske jedinice čine informacijsku strukturu.[8] Dispečerski centar može biti zasebna ustanova ili prostorija u kojoj dispečeri prate stanje energetske mreže, raspoređuju el. energiju i upravljaju određenim uređajima preko daljinskog upravljanja.[22] Upravljanje informacijskom infrastrukturom obuhvaća upravljanje komunikacijskom mrežom, podacima koji se prenose te mrežnom sigurnošću. Uska povezanost energetske i informacijske infrastrukture dovodi do toga da se upravljanjem sigurnosti i pouzdanosti informacijske infrastrukture može postići odgovarajuća razina sigurnosti i pouzdanosti energetske infrastrukture.

U svim se štićenim sustavima javljaju sigurnosne prijetnje. Tako se sigurnosne prijetnje koje obuhvaća norma IEC 61850 dijele na 2:

- Nenamjerne prijetnje – sigurnosni propusti, neispravna oprema, nepažnja i prirodne katastrofe
- Namjerne prijetnje – nezadovoljni zaposlenici, industrijska špijunaža, krađa identiteta, vandalizam, hakerski i teroristički napadi[8]

Kao odgovor na sigurnosne prijetnje postavljaju se osnovni sigurnosni zahtjevi:

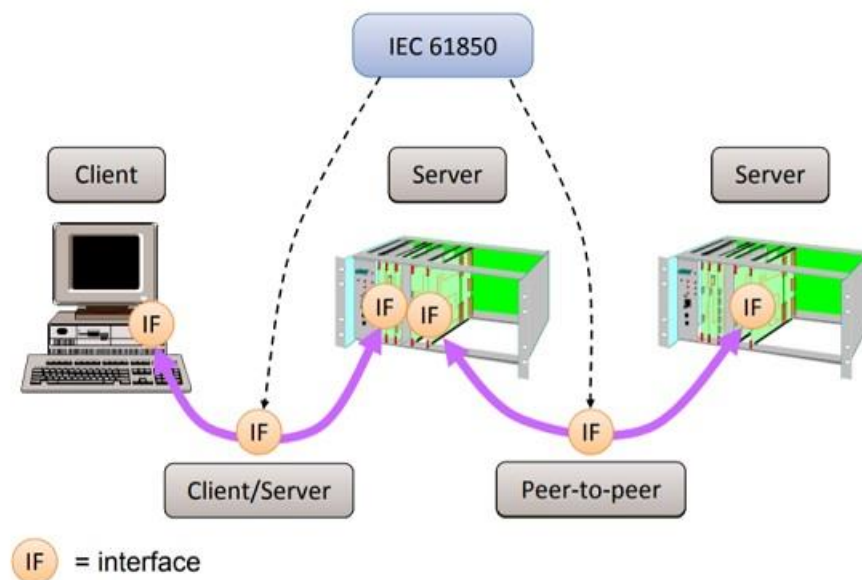
- Povjerljivost – samo ovlaštene korisnici imaju pristup (u slučaju trafostanice i energetske mreže distribucijskih centara to su dispečeri, voditelji odjela i/ili voditelji određenog projekta)
- Integritet – Informacije, bilo o stanju uređaja ili podaci mjerenja, se ne smiju mijenjati
- Raspoloživost – Potrebno je osigurati konstantan pristup i uslugu krajnjim korisnicima, bez uskraćivanja usluge, odnosno onemogućiti smetnje i napade
- Neporecivost – Sve radnje unutar trafostanice moraju biti odobrene, opravdane i bez zatajenja ili slučajnih radnji[8]

Kako se u IEC 61850 komunikacija između IED-ova izvodi preko Etherneta, definirana su tri protokola koji koriste izravno mapiranje. Ranije spomenuti GOOSE je jedan od tih protokola, a koriste se još i GSSE (*eng. Generic Substation Status Event*) i SMV (*eng. Sampled Measured Values*) te svi omogućuju peer-to-peer⁴ komunikaciju u lokalnim mrežama u trafostanicama. Ti se protokoli koriste za horizontalnu komunikaciju u trafostanicama, odnosno

⁴ Peer-to-peer – komunikacija svaki sa svakim

za razmjenu podataka i poruka između zaštitnih releja (IED). Najvažniji među njima je GOOSE koji regulira rad releja te šalje poruke u rangu od 2ms do 4ms⁵. [8, 17]

Upravo zbog toga što imaju visoku brzinu izvođenja i zahtijevaju minimalnu procesorsku obradu, GOOSE poruke prolaze sigurnosnu provjeru jedino u aspektu integriteta, odnosno autentičnosti poruka.



Slika 3 Peer-to-peer komunikacija

3. GOOSE poruke

GOOSE poruke koriste se u automatizaciji trafostanice i to u vidu brze horizontalne komunikacije između IED-a. One u vrlo kratkom vremenskom periodu vrše prijenos informacija iz jednog uređaja u drugi uređaj ili više njih. Te se poruke šalju više puta u intervalima, a to im omogućuje brzinu prijenosa poruke od 4 milisekunde. [2]

GOOSE poruke nisu konkretno određene za primatelja, već se čitav sustav zasniva na mehanizmu izdavač-pretplatnik. Poruke se šalju u mrežu sa identifikacijom pošiljatelja i porukom, a ostali uređaji se mogu „pretplatiti“, odnosno samo pročitaju poruku (*eng. Multicast*). Kada pošiljatelj poruke završi svoju funkciju, odnosno uređaj koji je poslao informaciju u mrežu, on ne može saznati je li primatelj primio poslanu poruku, već ukoliko

⁵ <https://blog.schneider-electric.com/utilities/2018/05/11/the-best-adaptive-protection-for-electrical-systems-implement-iec-61850-and-goose/>

status poruke nije valjan, uključit će se alarm. Releji koji prima poruku zna unaprijed određeno maksimalno vrijeme od očekivane poruke te na taj način može odrediti je li ta poruka primljena u tom maksimalnom vremenu i signalizira ako postoji greška u komunikaciji između uređaja. Unutar same strukture IEC 61850 postoji posebna varijabla čija je zadaća provjera ispravnosti razmjene informacija. Taj se bit naziva bit kvalitete (*eng. Message Quality*). Taj se spomenuti bit ne nalazi u samoj poruci koja se prenosi nego se on generira u onom drugom uređaju ili releju koji prima GOOSE poruku. Na taj način se osigurava sigurna razmjena informacija unutar GOOSE poruke te signalizira grešku u primanju iste.[2]

Važnost GOOSE poruka je u realizaciji distribuiranih funkcija unutar trafostanice. Te se distribuirane funkcije temelje na razmijeni između IED-a unutar ili između polja u trafostanici. Normom IEC 61850 su određene tri razine funkcijske hijerarhije unutar elektroenergetskog objekta[9]:

- Trafostanica
- Polje
- Proces

Formula za izračun vremena potrebnog za prijenos GOOSE poruke između dva IED-a definirano je na sljedeći način[9]:

$$t = t_a + t_b + t_c$$

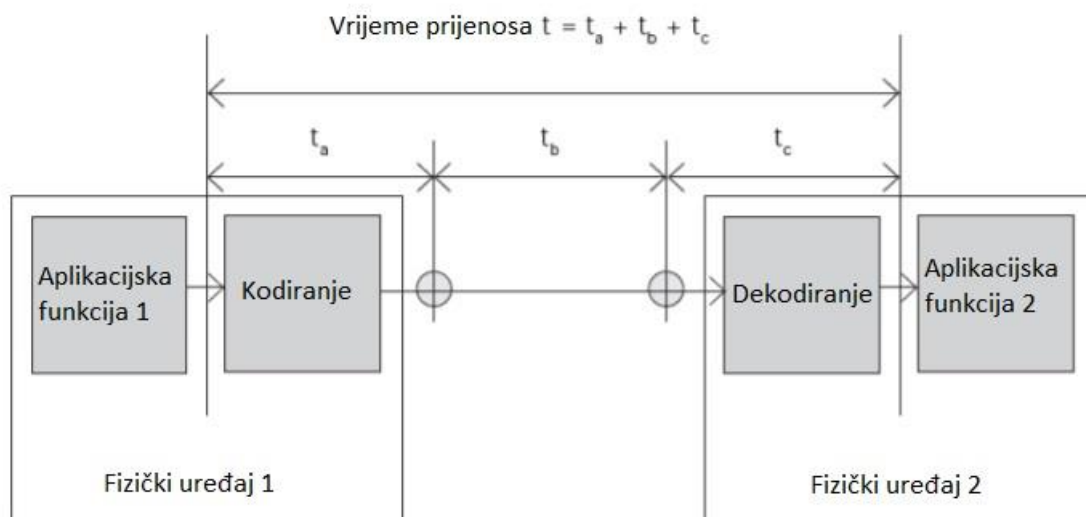
gdje su određeni sljedeći parametri:

t – Ukupno vrijeme prijensa poruke

t_a – Vrijeme kodiranja poruke u IED-u koji šalje poruku

t_b – Vrijeme prijensa kroz fizički sloj mreže

t_c – Vrijeme dekodiranja poruke u IED-u koji prima poruku[9]



Slika 4 Vrijeme prijena GOOSE poruke

U trafostanicama srednjeg i niskog napona je uvjetna zaštita sabirnica i zaštita od zatajenja prekidača riješena žičanom izvedbom, pa se korištenjem GOOSE poruka izbjegavaju žičane blokade koje bi dodatno zakomplicirale izvedbu i postavljanje uređaja sekundarnih sustava.

Upravo iz razloga što primatelj poruke ne šalje nikakvu potvrdu da je GOOSE poruka stigla na odredište, nego pošiljalatelj šalje niz uzastopnih poruka u vrlo kratkom vremenskom periodu, omogućuje se zaštita od zatajenja prekidača. Ta se zaštita koristi u svrhu gotovo potpunog smanjenja štete u trafostanici, primaru i sekundaru transformatora i svoj opremi u slučaju kvara gdje prekidač ostane zatvoren. Ranije spomenuta peer-to-peer komunikacija omogućava (u slučaju zatajenja prekidača) isključenje polja, uz pojavu redundancije, na način da se nalog za isključenje šalje izravno na sekundar transformatora, odnosno svakom releju, sklopki, IED-u.[3]

Međutim, u ranijoj fazi primjene IEC 61850 dolazi do pojave mnogih IED-a koji, iako omogućuju pojednostavljenu strukturu i izvedbu, u sebi sadrže procesorske jedinice koje su sporije od 1.0 GHz.[5] IED-ovi su uređaji koje nemaju ugrađene ventilatore za disipaciju topline, a uglavnom su ugrađeni u zatvorena mjesta kako bi izbjegli utjecaj okoline kao npr. prašina, voda ili insekti. Upravo zbog toga i manje brzine CPU-a (*eng. Central Processing Unit*) ti uređaji imaju određena ograničenja te dolazi do pojave rasipanja snage. Nove tehnologije, kao što je pojava uređaja s višestrukim jezgrama CPU-a, omogućavaju brže vrijeme odaziva i obavljanja funkcije te omogućuju da vrijeme predviđeno za prijenos poruka bude u području

od 4ms. Siemens je u studenom 2011. godine objavio patent za implementaciju nove metode generiranja i upravljanja bitnim skupinama podataka za GOOSE model, dok se za implementaciju sigurnosti u GOOSE model, bez značajnog smanjenja stvarnih performansi IED-ova, malo zna.[5]

Kako je ranije spomenuto, GOOSE poruke se koriste kako bi se omogućila brza i pouzdana razmjena podataka. Prijenos tih podataka se ostvaruje preko Etherneta, odnosno IEEE 802.3 protokola. Upravo zbog tog načina prijenosa, GOOSE poruke mogu biti promijenjene i nevažeće, zbog raznih potencijalnih napada u obliku zlonamjernih programa. Zlonamjerni programi mogu dobiti pristup mreži iz nekoliko izvora, odnosno nekoliko faktora[5]:

- Ljudski faktor
- Pogreška kod proizvodnje IED-a

Ljudski faktor – ljudi koji rade na održavanju sustava, inženjeri i stručnjaci koji rade na praćenju i unaprjeđenju uređaja koji imaju pristup IEC 61850 mreži mogu nesvjesno unijeti zlonamjerne programe u sustav i postrojenje. Takav se sličan napad dogodio u Siemensu 2010. godine, kada je Stuxnet, zlonamjerni program, pristupio njihovim industrijskim programima i opremi.[5]

Pogreška kod proizvodnje IED-a – zlonamjerni programi mogu biti implementirani na IED-ove ili neke druge komponente odgovorne za uspostavu mreže u samom procesu proizvodnje te na taj način dolaze u trafostanice i tamo se izravno postavljaju zajedno s uređajima. Na taj se način zaobilazi fizička zaštita i zlonamjerno se programu omogućuje pronalazak domaćina (*eng. Host*).[5]

Primarna uloga GOOSE poruka je prijenos ključnih podataka kao što su alarmi, stanja prekidača i kontrola između uređaja. Svaka promjena tih podataka može dovesti do kvara u automatizaciji trafostanice, uzrokovano zatajenjem prekidača strujnog kruga, zaobilaženjem blokade ili nastajanjem fizičke štete na vanjskim uređajima kao što su transformatori ili vanjski prekidači. Ako napad utječe na sabirnicu ili diferencijalnu zaštitu u trafostanici, može doći i do isključenja jednog ili više distribucijskih ili prijenosnih krugova. Posljedica takvih radnji može

biti nestanak električne energije u dijelu grada. U slučaju da do takvih napada dođe u proizvodnim krugovima (elektranama) ili prijenosnim dalekovodima, nestanak električne energije može dovesti do kaskadnog otkazivanja kompletnog sustava, a to može utjecati na čitave gradove, a u najgorem slučaju na cijelu zemlju.[5]

Kako bi se virtualni napadi i zlonamjerni programi sveli na minimum, potrebno je provođenje određenih postupaka za uspješno ostvarivanje informacijske sigurnosti u elektroenergetskom postrojenju. Glavni preduvjet za uspješno ostvarivanje informacijske sigurnosti su prethodno planiranje i izrada sigurnosnog sustava. Napretkom tehnologije održavanje sigurnosti zahtjeva stalnu nadogradnju uređaja i programa ali i svojevrsno ažuriranje znanja, odnosno stalno obrazovanje.[8]

Postupak ostvarivanja informacijske sigurnosti sastoji se od sljedećih elemenata:

- Procjena sigurnosti – sastoji se od analize vjerojatnosti uspješnih napada te potrebnih financijskih ulaganja za obranu. Rezultat takve analize je uvođenje nove sigurnosne politike i novih sigurnosnih alata. Procjena se izvodi periodički, u skladu s odredbama sigurnosne politike[8].
- Sigurnosna politika – uključuje politiku upravljanja, uvođenja i raspodjele sigurnosti unutar sigurnosne domene. Rezultati dobiveni analizom se revidiraju prije nego se uključe u sigurnosnu politiku[8].
- Implementacija sigurnosti – implementacija obuhvaća instalaciju sigurnosnih alata zajedno s uvođenjem sigurnosnih politika[8].
- Edukacija o sigurnosti – stalno obrazovanje i usavršavanje je izrazito potrebno za upoznavanje i savladavanje novih sigurnosnih tehnologija i sigurnosnih prijetnji[8].
- Nadzor sigurnosti – stalnim praćenjem sigurnosti otkrivaju se sigurnosni napadi i propusti te se procjenjuje trenutno stanje sigurnosnog sustava. Unaprijeđeni model sigurnosnih domena zahtijeva konstantan nadzor za sigurnosne infrastrukture.[8]

4. SCADA sustav

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sustav je software paket koji instaliran na nekom računalu primarno služi za nadzor događaja, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima. SCADA sustav je odlično rješenje za svaki proces automatizacije, pa se tako koristi i u automatizaciji električne mreže.[4] SCADA sustav koristi se u mikromreži⁶ koja povezuje SN⁷ / NN⁸ distribucijske sustave. Služi za nadzor, upravljanje, prikupljanje i analizu podataka elektroenergetskog sustava u stvarnome vremenu.[11] Kako IEC norma 61850 služi za komunikaciju, usko je povezana sa SCADA sustavom te diktira i određuje neke smjernice u daljnjem razvoju i primjeni sustava. Sustav se sastoji od komunikacijske infrastrukture, baze podataka, upravljačkih uređaja, hardware-a za ulazno/izlazne signale i software-a. Problem koji se ovdje pojavljuje je implementacija SCADA sustava u postojeće sustave distribucijskih centara. SCADA sustav se primarno sastoji od četiri dijela[11]:

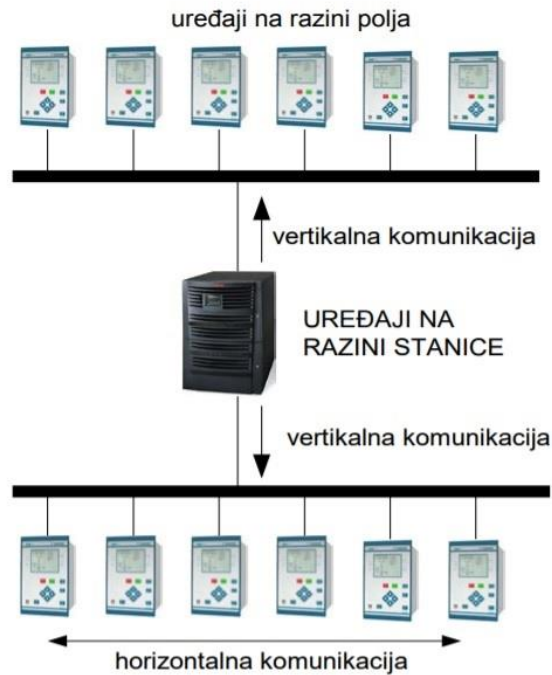
- Daljinska upravljačka jedinica – vrši nadzor i upravljanje. U sebi sadrži komunikacijsko sklopovlje koje omogućava komunikaciju sa centralnom stanicom.[11]
- Komunikacijska mreža – predstavlja osnovu SCADA tehnologije. Glavna zadaća mreže je prijenos informacija između daljinske upravljačke jedinice i centralne stanice putem komunikacijskih veza.[11]

U današnje se vrijeme sustavi opremaju modernim tehnologijama što omogućava veću propusnost i pouzdanost podataka iz postrojenja u centar upravljanja. Ispravnim konfiguriranjem komunikacijske mreže mogu se ostvariti različite komunikacijske sheme, vertikalne i horizontalne.

⁶ Mikromreža – manji do srednje velik distribucijski sustav

⁷ SN – Srednji napon

⁸ NN – Niski napon



Slika 5 Horizontalna i vertikalna komunikacija

- Instrumentacija – elementi koji su izravno ugrađeni u trafostanice ili opremu koju nadzire sustav te su mehanički ili električki povezani sa SCADA sustavom. Informaciju o trenutnom stanju promatrane veličine prenosi u analognom ili digitalnom obliku u daljinsku upravljačku jedinicu. To su mjerni pretvornici, aktuatori, signalne sklopke, itd.[11]
- Centralna stanica i sučelje čovjek-stroj - centralna stanica prikuplja podatke daljinskih upravljivih jedinica. Operater u svakom trenutku ima uvid u prikupljene i obrađene podatke na temelju kojih donosi odluke. Stanja promatranih procesa se prikazuju pomoću shema, tablica, itd. Operater je isto tako povezan i s bazom podataka preko sustava za upravljanje kako bi što brže i lakše došao do podataka o dijagnostici uređaja, održavanju, shematskim prikazima postrojenja ili elementa te podataka o kvarovima i načinima otklanjanja kvarova.[11]

Postoje tri generacije SCADA sustava:

1. Monolitička (*eng. Monolithic*) – sastoji se od jedne priključne i jedne nadzorne stanice[12]
2. Distribuirana (*eng. Distributed*) – sastoji se od više priključnih i jedne nadzorne stanice[12]
3. Umrežena (*eng. Networked*) – prilagođavanje SCADA sustava, otvoreni protokoli[12]

SCADA sustav koristi se u distribuiranim sustavima vođenja (*eng. Distributed control system – DCS*). DCS je sustav vođenja nekog proizvodnog sustava ili procesa, u kojem su upravljački elementi razmješteni po promatranom sustavu. U tom sustavu svaka komponenta može biti kontrolirana pomoću upravljačkih elemenata primjenom SCADA sustava.[11]

5. Standardizacija komunikacije u trafostanici primjenom IEC 61850 norme

Jedan od osnovnih problema u primjeni IEC 61850 norme jest standardizacija komunikacije u trafostanici. Do tog problema dolazi zbog naglašene interoperabilnosti uređaja, odnosno mogućnosti komunikacije uređaja te neprekidnog napretka komunikacijske tehnologije. Komunikacijsko sučelje IED-a je u mogućnosti dobivati razne podatke, od mjerenja napona i struje, stanja zaštitnih uređaja i događaja u sustavu te podataka za analizu poremećaja. Također, sve je veći broj IED-a koji imaju mogućnost i daljinskog upravljanja. Upravo zbog mnogih mogućnosti uređaja i manjka strogo određenih pravila u kodiranju i izradi uređaja, dolazi do velikog broja različitih proizvođača uređaja. Kako bi pridobili što veći broj kupaca i korisnika uređaja, proizvođači često sami dizajniraju komunikacijsko sučelje u kojem je integrirano više vrsta serijskih portova⁹ za komunikaciju s računalima. Proizvođači uređaja dizajniraju i vlastite mreže za povezivanje svojih uređaja u nekom postrojenju, što korisniku ne dozvoljava povezivanje uređaja drugih proizvođača. Upravo zbog spomenutih poteškoća dolazi do pritiska korisnika da se spoje sve komunikacijske mogućnosti IED-ova u trafostanici, a kasnije i u

⁹ Port – priključak za jedan ili više drugih uređaja

cijelom elektroenergetskom sustavu, što dovodi do centraliziranog sustava nadzora i upravljanja. [11]

Temeljna značajka norme IEC 61850 je slobodna lokacija pojedine funkcije u bilo koji IED, pa je zbog toga i velik broj mogućih izvedbi sustava. Kako bi sustav bio ispravno konfiguriran i zadovoljavao potrebe korisnika, važno je znati fizičke sposobnosti uređaja te prema njima konfigurirati komunikacijski sustav. Dva su pouzdana načina kreiranja komunikacijskog sustava[11]:

- Modelirati kompletni sustav te simulacijama odrediti najveća kašnjenja u sustavu
- Stvoriti sustav na temelju potvrđenih primjera iz prakse (trenutno logičnije rješenje)[11]

Upotreba SCADA sustava u mikromrežama i aktivnim distribucijskim mrežama u potpunosti ovisi o izradi i ugradnji učinkovite komunikacijske strukture. Smjer razvoja potpunog uvođenja komunikacija osnovanih na IEC 61850 u SCADA sustave bi se trebala usmjeriti na[11]:

- Zaštitna komunikacija – razmjena poruka u mreži realizirana je GOOSE porukama. Standardizacija tih poruka izravno utječe na siguran zajednički rad IED-ova namijenjenih za zaštitu, automatizaciju i blokiranje. Koriste LAN polja tako da obrada podataka u mreži ostaje na najmanjoj mogućoj mjeri te se time smanjuju mogući kvarovi i napadi.[11]
- Zajednički rad (interoperabilnost) – rad se ostvaruje kroz LAN segmente. Modeliranje podataka je moguće dokle god je u granicama standarda, kako bi se zadovoljili zahtjevi za upravljanjem opremom u energetsom sustavu. Interoperabilnost omogućava krajnjim korisnicima odabir prikladnog LAN-a te u skladu s vlastitim potrebama mogu konfigurirati kriterije, npr. performanse, djelovanje, pouzdanost, komunikacija. IEC 61850 standard uvelike doprinosi konfiguriranju LAN polja za komunikaciju IED-a. IED sučelje mogu razviti samo dobavljači, odnosno proizvođači, ukoliko krajnji korisnik može zadovoljiti sve uvjete za komunikaciju po IEC 61850 standardu.[11]

- Primjena sustava – komunikacija postojećom mrežom u postrojenjima se neće ograničiti na protokole vezane uz IEC 61850 standard. Za ostvarivanje komunikacije, funkcije IED-a moraju zadovoljavati zahtjeve koje postavljaju podaci i promet koji prolaze kroz njih te moraju biti u mogućnosti surađivati sa ostalim komponentama kako bi se održala uspješna mreža. U budućnosti će fizička primjena IEC 61850 mreže biti znatno lakša zbog napretka tehnologije i fleksibilnog mapiranja podataka koji prolaze kroz IED-ove. [11]

6. Trafostanice i IEC 61850

Trafostanice su sastavni dio sustava za prijenos električne energije. U njima se vrši promjena napona s višeg na niži napon i obrnuto, ovisno o potrebi potrošača, postrojenja ili potreba prijenosa električne energije. Kod prijenosa energije javljaju se gubici te se zbog njihovog smanjenja prijenos električne energije obavlja na višim naponima nego što je to potrebno za upotrebu potrošača u postrojenjima i kućanstvima. Trafostanice povezuju prijenosne mreže visokog napona (400 kV, 220 kV, 110 kV) i distribucijsku mrežu srednjeg napona (35 kV, 20 kV i 10 kV). Također povezuju distribucijsku mrežu srednjeg napona i mrežu niskog napona koja pruža potrošačima korištenje električne energije. [13]

Trafostanice najčešće mogu biti stupne i u obliku građevinskog objekta. Stupne se trafostanice koriste za manju snagu (50 – 250 kVA) i redovito se koriste u nadzemnim mrežama. Postavljaju se na posebne noseće stupove uz gromobransku zaštitu i sustav uzemljenja. Koriste se za SN/NN¹⁰ mreže. [13]

¹⁰ SN/NN – Srednji napon / Niski napon



Slika 6 Stupna trafostanica

Trafostanice u obliku građevinskog objekta koriste se za SN/SN (35/10(20) kV) distribucijske mreže i za SN/NN (10(20)/0,4 kV). U ovom završnom radu trafostanica SN/SN služi kao primjer za primjenu norme IEC 61850. Takve se trafostanice ne rade kao tipski proizvod te služe za veće snage transformatora. Uglavnom imaju 2 transformatora 35/10(20) kV pojedinačne snage 2.5 MVA do 16 MVA. Uz 2 SN postrojenja i transformatore, dijelovi takve trafostanice su i sustav uzemljenja i gromobranske zaštite, sustav za daljinsko upravljanje, sustav izmjeničnog i istosmjernog napajanja, pomoćni sustavi kao što su klimatizacija, protupožarna oprema, rasvjeta, i dr. Izvedba sabirnica u stanicama je iznimno važna, kao i njihova zaštita.[14]

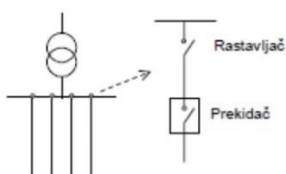


Slika 7 Trafostanica 35/10 kV u građevinskom obliku, Koprivnica

Sabirnice u trafostanicama su jedan od ključnih elemenata svakog EE sustava¹¹. Na sabirnice se priključuju izvori energije te služe za prijenos električne energije na velika područja i opskrbljivanje potrošača električnom energijom. Najčešće su napravljene od neizoliranih bakrenih ili aluminijskih vodiča. Za srednje naponske razine, do 35 kV se upotrebljavaju plosnati, okrugli ili U profili, a za veće iznose napona se koriste samo cjevasti oblici, odnosno sabirnice u obliku užeta. Kod projektiranja trafostanice i određivanja izvedbe sabirnica važno je voditi računa u normalnom pogonu i maksimalnoj struji koja se može pojaviti.[1]

Sabirnice u postrojenju mogu biti izvedene na tri načina:

- S jednostrukom sabirnicom



¹¹ EE sustav – Elektroenergetski sustav

6.1. IEC 61850 i komunikacija GOOSE poruka

U trafostanicama 35/10(20) kV zaštita sabirnica je izvedena preko nadstrujne zaštite. Nadstrujna zaštita je osnovna zaštita objekata EE sustava. Koristi se kao zaštita od preopterećenja, kratkih spojeva i spojeva sa zemljom. Također se koristi u zaštiti električnih strojeva te uz distantnu zaštitu vodova visokog napona. U praksi se često koristi izvedba od dva nadstrujna uređaja za zaštitu od kratkog spoja među fazama i još jedan uređaj za zaštitu od kratkog spoja sa zemljom.[15]

Nadstrujna zaštita djeluje kada struja na mjestu ugradnje zaštitnog releja prekorači unaprijed određeni iznos struje. Djeluje tako da primarni okidači djeluju mehanički na isključenje prekidača, a sekundarni nadstrujni releji na isključenje prekidača djeluju električnim putem. Postoje tri vrste releja za nadstrujnu zaštitu te se mogu podijeliti na releje s ovisnom vremenskom karakteristikom (inverznom), neovisnom vremenskom karakteristikom te releje s trenutnom strujnom karakteristikom isključenja.[16]

- Releji s ovisnom vremenskom karakteristikom – vrijeme djelovanja takvih releja je kraće što je iznos struje kvara veći.
- Releji s neovisnom vremenskom karakteristikom – takvi releji prorade kada struja prijeđe određeni iznos te se isključuju nakon isteka podešenog vremena.
- Releji s trenutnom strujnom karakteristikom isključenja – releji djeluju odmah kada struja elementa koji štite prijeđe određeni iznos.

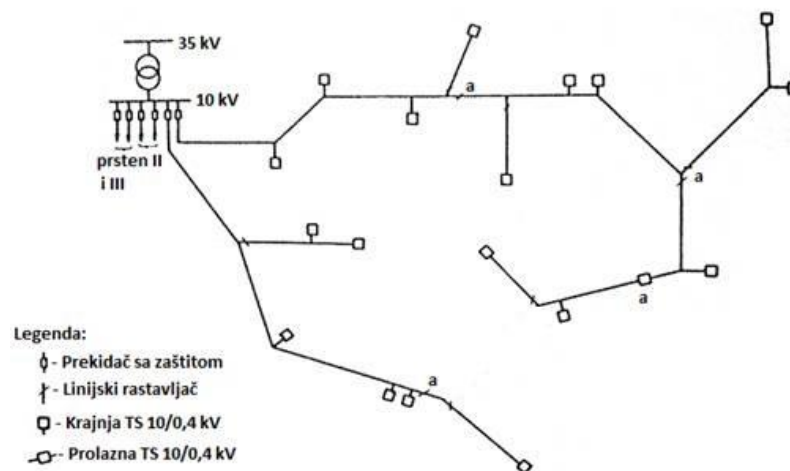
Važan element kod funkcije releja je selektivnost releja. Selektivnost releja znači da on isključuje samo element na kojem se dogodio kvar, a može se postići vremenskim stupnjevanjem djelovanja zaštite. Minimalno vrijeme isklopa uobičajeno iznosi 0.3 sekunde, dok vremenski selektivni interval iznosi od 0.3 do 0.5 sekundi. Da bi se nadstrujna zaštita mogla ispravno upotrijebiti, važno je znati struje kvara u svakom dijelu mreže, odnosno, mjestu gdje su releji postavljeni. Kod nadstrujne zaštite mjeri se struja, a za jednopolne kvarove nulta komponenta struje. Proračunom podešenja dolazimo do najkraćeg vremena isključenja kvara

kod najvećih struja te se provjerava ispravnost djelovanja kod najmanjih struja kvara. Opseg podešenja nadstrujne zaštite za statički i elektromehanički relej iznosi 0.5 do $2.5 \times I_n$, dok za digitalni relej iznosi 0.08 do $3.2 \times I_n$. [10, 23]

Za zaštitu od preopterećenja i kratkih spojeva na transformatorima te dalekovodima srednjih napona koriste se primarni okidači. Sekundarni nadstrujni releji su precizniji, pouzdaniji i osjetljiviji te se oni upotrebljavaju za zaštitu generatora, motora, transformatora i vodova od velikih struja i struja kratkog spoja.[16]

Nadstrujna zaštita mora biti pouzdana, brza, osjetljiva, selektivna i stabilna kako bi mogla pružiti pravilnu zaštitu te pravilno funkcionirala. Uz to, mora biti financijski isplativa, jednostavna za izvođenje i upotrebu te prilagođena onom objektu u mreži kojega štiti. Ono što je potrebno napraviti prije određivanja i postavljanja nadstrujne zaštite je odrediti moguće i očekivane greške i kvarove za objekte unutar EE sustava.[15]

U primjeru koji slijedi ćemo prikazati sabirničku zaštitu na 10 kV sabirnicama. Mreža koja se grana iz te trafostanice, na 10 kV je radijalna mreža.



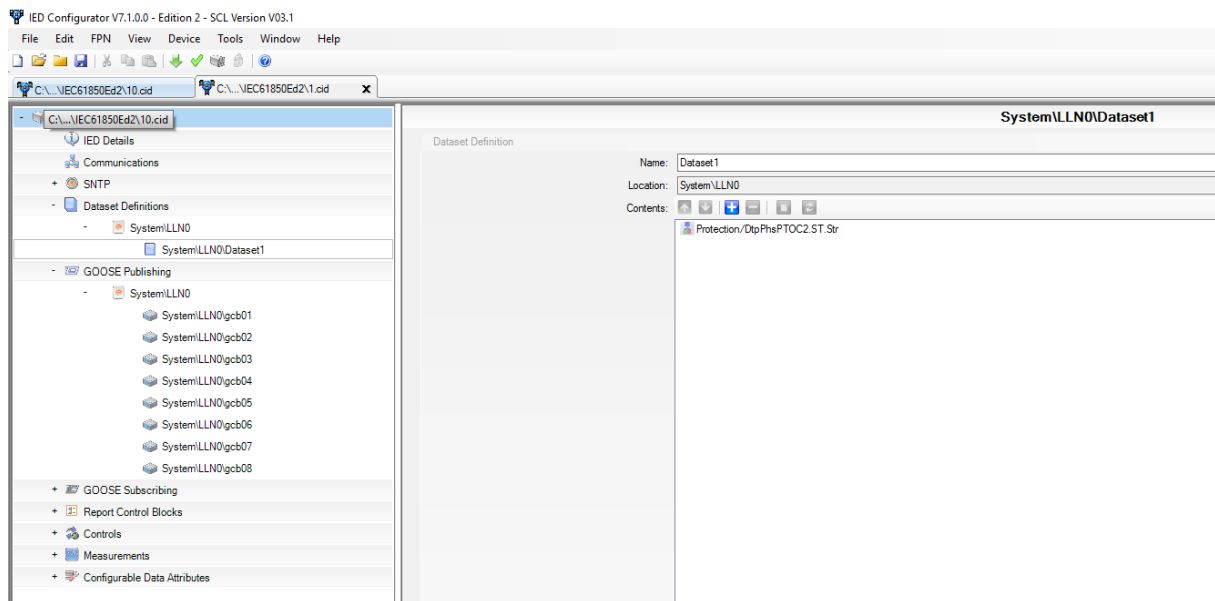
Slika 9 Primjer radijalne mreže

U dolaznom polju (10 kV strana transformatorskog polja (TP) 35/10 kV) drugi stupanj nadstrujne zaštite podešen je tako da reagira na kratki spoj na sabirnici te je zategnut za vrijeme od 30 ms (ANSI 50, $I_{>>}$ je korišten kao stupanj kratkog spoja (KS)).

Odlazna polja (10 kV vodno polje) šalju signal blokade na svaku pobudu KS stupnja nadstrujne zaštite (KS kabela) u dolazno polje (ANSI 50, $I_{>>}$ je korišten kao KS stupanj). Ako

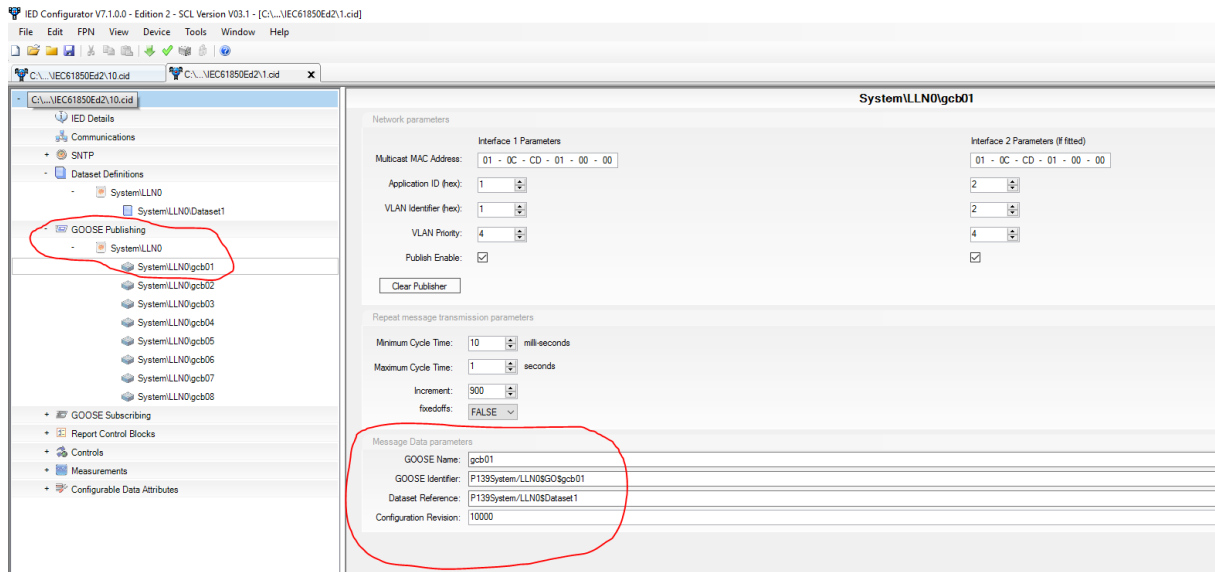
signal blokade nije poslan, KS stupanj nadstrujne zaštite u dolaznom polju (10 kV strana TP 35/10 kV) će odraditi i iskllopiti dolazni prekidač.

Na slici 10 vidimo definiciju signala koji će se slati (u dataset 1 stavljen je signal koji ćemo slati). Na desnoj strani slike nalazi se ime signala Protection/DtpPhsPTOC2.ST.Str, a taj signal predstavlja pobudu/start drugog stupnja nadstrujne zaštite.



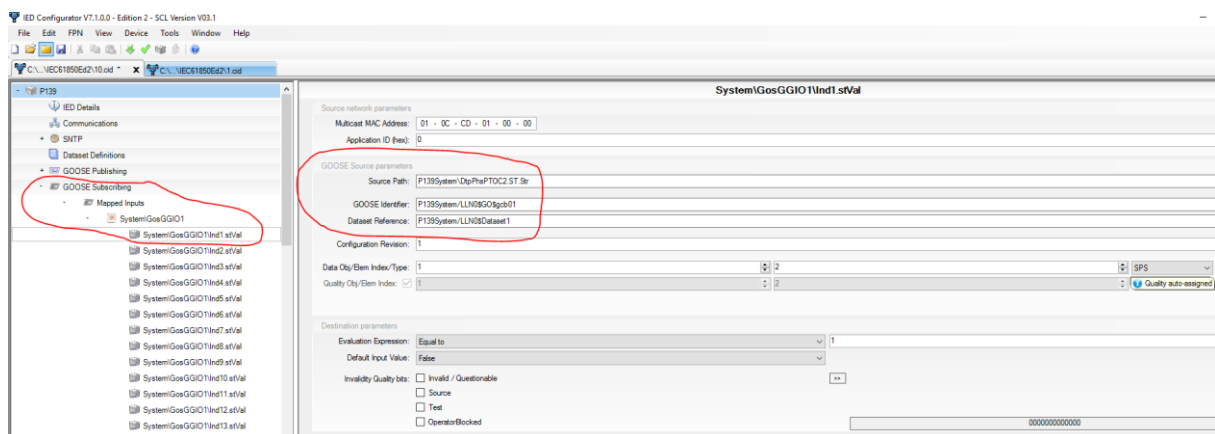
Slika 10 Definiranje signala za pobudu drugog stupnja nadstrujne zaštite

Sljedeći korak je definicija poruke pošiljatelja. Slika 11 prikazuje konfiguraciju GOOSE Publishing poruke u J1 – VP na uređaju P139 (definirali smo koji signal se šalje kao GOOSE poruka broj 1).



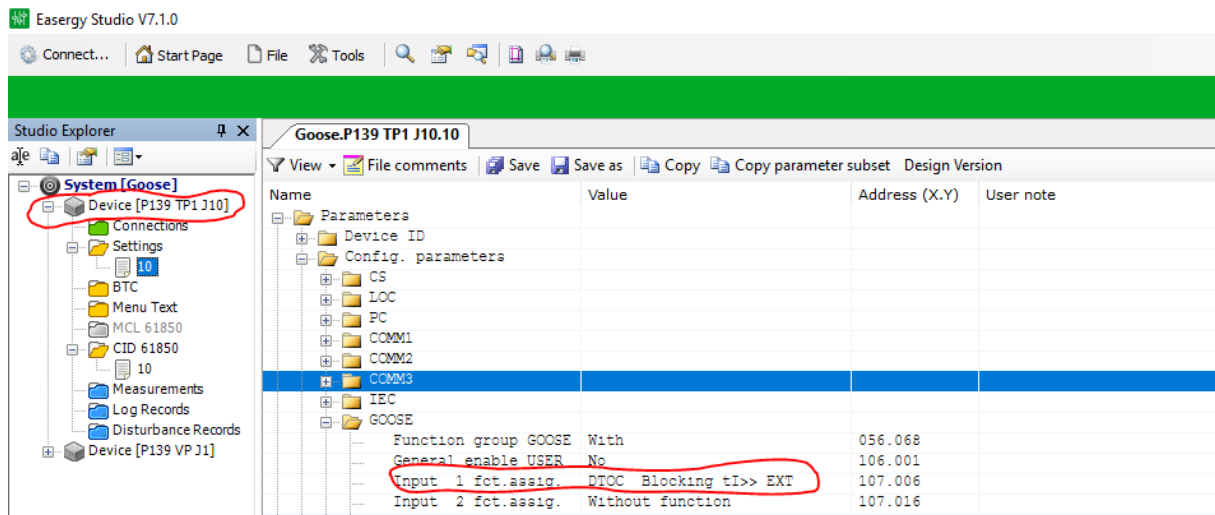
Slika 11 Definiranje signala za slanje GOOSE poruke

Na slici 12 vidimo konfiguraciju poruke kod primatelja, GOOSE Subscribing poruke u J10 – TP1 na uređaju P139. Vidimo da informacija o pobudi drugog stupnja nadstrujne zaštite je dodijeljena Ind1 (virtualni/GOOSE ulaz zaštite u TP1).



Slika 12 Prikaz konfiguracije GOOSE poruke kod primatelja

Slika 13 prikazuje posljednji korak u konfiguraciji, logičko spajanje GOOSE ulaza (poruke koju smo dobili) s blokiranjem 2. stupnja nadstrujne zaštite. GOOSE ulaz 1 je spojen na blokadu drugog stupnja nadstrujne zaštite (ako je GOOSE poruka aktivna, drugi stupanj nadstrujne zaštite u TP1 je blokiran).



Slika 13 Logičko spajanje GOOSE ulaza sa drugim stupnjem nadstrujne zaštite

7. Zaključak

U 21. stoljeću električna energija je i više nego potrebna. Napretkom tehnologije i životnog standarda dolazi i do sve veće potražnje za električnom energijom. Upravo iz tog razloga dolazimo i do potrebe i razvitka stabilnijih elektroenergetskih mreža što, u određenoj mjeri, obuhvaća i revitalizaciju već postojećih postrojenja, kao što su trafostanice. Prvi korak u tom procesu je standardizacija svih dijelova elektroenergetskog sustava.

U radu je kratko objašnjena svrha i princip rada uređaja po normi IEC 61850 te je napravljena usporedba između standardne zaštite i zaštite preko IEC 61850 GOOSE poruka. Primjena norme IEC 61850 pokazala se kao vrlo korisno i isplativo rješenje ne samo za revitalizaciju transformatorskih stanica već i za unaprjeđenje i kvalitetniju opskrbu potrošača električnom energijom sa minimalnim gubicima na krajnjim točkama. Sama norma se temelji na načelu rada automatizacijskih sustava. GOOSE poruke služe kao odlično sredstvo komunikacije, jer imaju iznimnu brzinu prijenosa te se šalju u mrežu bez konkretnog primatelja, odnosno svaki IED u mreži može pročitati tu poruku. Ono što se trenutno može navesti kao nedostatak u primjeni ove norme je nedostatak pravila za proizvođače IED – ova. Nedostatak se javlja kod mogućih zastoja u komunikaciji zbog nekompatibilnih uređaja različitih proizvođača. Kako se komunikacija između uređaja odvija preko Ethernet, potrebno je implementirati kvalitetnu zaštitu od mogućih hakerskih napada, virusa i drugih neželjenih softwarea.

Sabirnička zaštita izvedena primjenom norme IEC61850 te korištenjem GOOSE poruka se kao blokada pokazala puno bržom u usporedbi s klasičnom izvedenom blokadom preko relejnih izlaza i digitalnih ulaza. Razlika u zatezanju KS stupnja nadstrujne zaštite je oko 50 ms. Drugi stupanj nadstrujne zaštite, bez međusobne komunikacije zaštite, smo zatezali na 80 ms, kako bi bili sigurni da su relejni izlazi i digitalni ulazi imali vremena pravilno odraditi svoju funkciju. Promatrajući vrijeme KS, dodatnih 50 ms je puno. Brzina isklopa prekidača (ukupan ciklus) na TP1 10 kV s komunikacijom (IEC 61850 GOOSE) je iznosila oko 80-90 ms, a bez komunikacije (klasično ožičavanje) 130-140 ms. Sa gotovo dvostruko bržim isklopom prekidača smanjujemo oštećenje SN opreme. Osim u brzini prorade zaštite, smanjeno je vrijeme rada na TS. Kad već postoji komunikacija, nema potrebe stavljati dodatne kabele između zaštitnih releja te ih ožičavati (vrijeme rada inženjera zaštite na softwarea je puno kraća od rada montera, a uz to nema više troška za signalne kabele).

U Varaždinu, 17. rujna 2018.

Literatura

- [1] Električna postrojenja,
http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zee/nastava/svel/ep/download/ELEKTRICNA%20POSTROJENJA%205-p.pdf
- [2] Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, SO3 – 19, http://www.koncar-ket.hr/docs/koncarketHR/documents/169/1_0/Original.pdf
- [3] Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, SO3 – 13, <http://www.koncar-ket.hr/docs/koncarketHR/documents/83/Original.pdf>
- [4] SCADA,
<https://hr.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [5] J. Hoyos, M. Dehus, T.X. Brown: „Exploiting the GOOSE protocol: A practical Attack on Cyber-infrastructure,
http://ecee.colorado.edu/~ekeller/classes/fall2014_advsec/papers/goose_globecomm12.pdf
- [6] HO – CIRED: „Primjena norme IEC 61850 i njezin utjecaj na razvoj opreme“, poziv na seminar, ožujak, 2013., <http://www.ho-cired.hr/2013/IEC-61850-Poziv-na-seminar.pdf>
- [7] Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, SO3 – 18, <http://www.koncar-ket.hr/documents/Iskustva+iz+primjene+IEC+61850+u+sustavu+automatizacije+transformatorske+stanice.pdf>
- [8] S. Sučić: „Sigurnosni komunikacijski protokoli u elektroenergetskom sustavu“,
http://sigurnost.zemris.fer.hr/ISMS/norme/2009_sucic/Sucic_Sigurnosni_komunikacijski_protokoli_u_elektreonergetskom_sustavu.pdf

- [9] HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE KONFERENCIJE - HO CIRED, SO3 – 18,
<http://www.ho-cired.hr/4savjetovanje/SO3/SO3-18.pdf>
- [10] https://moodle.vz.unin.hr/moodle/file.php/273/Predavanja_2018/ZEEP04.pdf
- [11] Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, SO3 – 27, <http://www.ho-cired.hr/3savjetovanje/SO3-27.pdf>
- [12] G. Malčić: „Sustavi nadzora i upravljanja industrijskih postrojenja“, 2012.,
<http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali13/13E07.pdf>
- [13] I. Romac: „Elektrodistribucijska mreža“, završni rad, 2016.,
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/vus:348/preview>
- [14] R. Goić, D. Jakus, I. Penović: „Distribucija električne energije“, 2008.,
<http://marjan.fesb.hr/~rgoic/dm/skriptaDM.pdf>
- [15] D. Mešić: „Nadstrujna zaštita u elektroenergetskom sustavu“, završni rad, 2014.,
<https://repozitorij.fer.unizg.hr/islandora/object/fer:1533>
- [16] I. Stanešić: „Zaštita dalekovoda od ispada iz sinkronizma“, završni rad, 2015.,
http://old.riteh.hr/nast/obrane/strucni_el/Radovi_17092015/Stanesic_Ivan.pdf
- [17] A. Silos: „The best adaptive protection for electrical systems: Implement IEC 61850 and GOOSE“, 2018.,
<https://blog.schneider-electric.com/utilities/2018/05/11/the-best-adaptive-protection-for-electrical-systems-implement-iec-61850-and-goose/>
- [18] Energy Management System,
https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management_system
- [19] Distribution Management System,
https://en.wikipedia.org/wiki/Distribution_management_system

[20] IEC 61850,

https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61850

[21] HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNOG VIJEĆA ZA VELIKE
ELEKTROENERGETSKE SUSTAVE – CIGRÉ,

https://bib.irb.hr/datoteka/889571.CERTIFIKACIJA_SCADA_SUSTAVA_ZA_DRUGO_IZDANJE_IEC_61850_STANDARDA_2.pdf

[22] Hrvatski leksikon,

<https://www.hrleksikon.info/definicija/dispecer.html>

[23] https://moodle.vz.unin.hr/moodle/file.php/273/Predavanja_2018/ZEEP06.pdf

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MATIJA MEŽNARIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Primjena norme IEC 61850 u zaštiti transformatora 33/10kV (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

MATIJA MEŽNARIĆ

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MATIJA MEŽNARIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Primjena norme IEC 61850 u zaštiti transformatora 33/10kV (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

MATIJA MEŽNARIĆ

(vlastoručni potpis)