

PRIMJENA ADMITANTNE RELEJNE ZAŠTITE ZA DETEKCIJU JEDNOFAZNIH KVAROVA U DISTRIBUCIJSKOJ SREDNJENAPONSKOJ MREŽI

THE APPLICATION OF ADMITTANCE RELAY PROTECTION FOR EARTH FAULT DETECTION IN DISTRIBUTION MEDIUM VOLTAGE GRID

Matej Kolarik¹², mag. ing. el.

¹HEP - Operator distribucijskog sustava Elektroistra Pula

²Istarsko veleučilište – Università Istriana di scienze applicate

SAŽETAK

Razvojem računalne tehnologije učestala je pojava numeričkih uređaja relejne zaštite u transformatorskim stanicama koji programiranom automatikom upravljaju distribucijskom električnom mrežom. Rad prikazuje princip rada admitantne zaštite te izračun i preporuku podešenja admitantne zaštite za 20 kV vodna polja u sustavima sa malo omskim uzemljenjem i djelomičnom kompenzacijom. Admitantna zaštita korištena je za osjetljivu detekciju jednopolnog kratkog spoja odnosno zemljospoja te prema ispunjenim uvjetima zaštita isključuje prekidač vodnog polja. Navedena zaštita je složenija od tradicionalno korištenih zaštita od zemljospoja koje koriste uvjet rezidualne struje i pojavu rezidualnog napona. Za korištenje admitantne zaštite potrebno je proračunati vrijednosti nulte admitancije što je elaborirano u radu. Aktiviranje admitantne relejne zaštite moguće je kod novih serija numeričkih releja kao što su uređaji serije Relion 600 i serije Siprotec 5 proizvođača ABB odnosno Siemens.

Ključne riječi: admitantna zaštite, relejna zaštita, distribucijska mreža, zemljospoj

ABSTRACT

With the development of computer technology, the occurrence of numerical relay devices for protection in substations has become more common which are then programmed to control the electrical distribution network.

The paper present operation principle of admittance protection, calculation and recommendation for activating admittance protection for 20 kV feeders in system with low-ohmic and parallel compensation grounding. Admittance relay protection is used for detection of sensitive earth faults which operates a trip signal for opening feeder's circuit breaker. Admittance protection is more complex than traditionally used earth fault protections which are using residual current and voltage conditions. For a proper protection use, it is necessary to calculate the value of zero admittance, which is elaborated in this paper. Activation of admittance relay protection is possible with a new series of numerical relays such as Relion 600 series and Siprotec 5 series from ABB and SIEMENS respectively.

Keywords: admittance protection, protection relays, distribution grid, earth fault

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Električna energija predstavlja jedno od osnovnih resursa koje treba biti dostupno svakome građaninu. Razvojem elektroenergetske distribucijske mreže operatori distribucijskog sustava susreću se sa novim izazovima koji su doneseni u „Mrežnim pravilima distribucijskog sustava“. U mrežnim pravilima propisana je predaja električne energije unutar naponskih prilika prema normi HRN EN 50160 i zajamčene standarde pouzdanosti napajanja[1].

Zajamčeni standardi pouzdanosti napajanja propisuju trajanje i broj prekida pojedinog kupca koji se mjere pomoću općih pokazatelja SADI, SAIFI i CAIDI. Operator distribucijskog sustava obavezan je isporučivati električnu energiju sa što manjim brojem i trajanjem prekida. Na sigurnost i pouzdanost napajanja kupaca direktno se utječe selektivnošću zaštite.

Relejna zaštita u transformatorskim stanicama kontinuirano prati promjene faznih i rezidualnih struja i napona pomoću ugrađenih numeričkih releja za svako vodno polje. Najčešće korištene relejne zaštite vodnih polja su:

- nadstrujne zaštite u više stupnjeva ($I >, I >>, I >>>$),
- neusmjerena zemljospojna zaštita ($I_0 >$),
- usmjerena zemljospojna zaštita ($I_0 > ->$).

Nadstrujna zaštita prati fazne struje te štiti mrežu od mogućih preopterećenja opreme, dvopolnih i tropolnih kratkih spojeva. Neusmjerena zemljospojna zaštita prati rezidualnu struju odnosno nultu struju koja je vektorski zbroj faznih struja te u normalnom pogonu iznosi približno 0 A. Usmjerena zemljospojna zaštita prati rezidualnu struju te napon otvorenog trokuta sa zasebnih jezgri naponskih mjernih transformatora. Ukoliko su iznosi struje i napona iznad postavljenih vrijednosti relej vrši usporedbu faznog pomaka između struje i napona te nakon određenog vremena djeluje na isklon prekidača vodnog polja.

U radu je predstavljen inovativan način zaštite 20 kV distribucijskih vodnih polja koristeći admitantnu zemljospojnu zaštitu (engl. Admittance based earth-fault protection) sa oznakom „ $Y_0 > ->$ “ prema standardu IEC 60617[2]. Admitantna zaštita koristi iste ulazne vrijednosti rezidualne struje i napona, ali je složenija od usmjerene zemljospojne zaštite.

2. ADMITANTNA ZEMLJOSPOJNA RELEJNA ZAŠTITA

2. ADMITTANCE BASED EARTH-FAULT RELAY PROTECTION

Admitantna zemljospojna zaštita potječe iz Poljske od 1980-ih godina gdje je grupa istraživača vođena profesorom Jozef Lorenc osmislila novi način zemljospojne zaštite[3][4]. Na području distribucijske mreže Poljske danas je široko rasprostranjena admitantna zaštita. Zaštita je naziv dobila prema kompleksnoj mjernoj veličini admitancija \underline{Y} mjerena u [S] što je recipročno impedanciji \underline{Z} koja prikazuje karakterističnost mreže u [Ω]. Za potrebe zemljospojne zaštite promatra se nulta komponenta admitancije \underline{Y}_0 odnosno admitancije u poprečnim granama te se računa prema sljedećoj formuli [4]:

$$Y_{0M} = G_0 + j \cdot B_0 = G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0 \text{ [S]}$$

G_0 označava vodljivost u poprečnim granama koje su približno 0 S, ω predstavlja kutnu frekvenciju sustava te C_0 označava nulti kapacitet između faza i zemlje. Nulti kapacitet je značajno izražen u kabelskim mrežama što za 20 kV mrežu prouzrokuje kapacitivne struje približnog iznosa 2,8 A/km.

Nakon izračuna admitancije mreže potrebno je za sustave uzemljene i kompenzirane mreže izračunati admitanciju \underline{Y}_{0G} sustava uzemljenja prema formuli[4]:

$$\underline{Y}_{0G} = G_0 + j \cdot B_0 = \frac{1}{R_{MO}} - j \frac{1}{\omega \cdot L_{PR}} \text{ [S]}$$

U slučaju uzemljenja neutralne točke pomoću prigušnice i paralelno spojenog malo omskog otpornika, vodljivost G_0 se računa kao reciprocity malo omskog otpornika R_{MO} , a kompleksni dio admitancije jednak je reciprocity reaktancije prigušnice gdje je L_{PR} induktivitet kompenzacijske prigušnice.

Ukupna admitancija sustava \underline{Y}_{0S} dobiva se zbrajanjem svih nultih admitancija mreže i sustava uzemljenja povezanih u paraleli:

$$\underline{Y}_{0S} = \underline{Y}_{0M} + \underline{Y}_{0G} \text{ [S]}$$

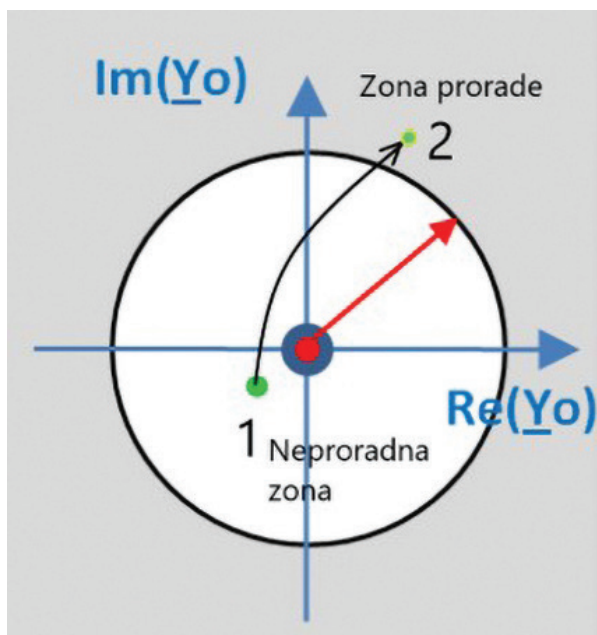
2.1. PRINCIP RADA ADMITANTNE ZAŠTITE

2.1. PRINCIPLES OF ADMITTANCE PROTECTION

U numerički relej potrebno je unijeti granice prorade admitantne zaštite kao kompleksnu vrijednost admitancije. Relej kontinuirano uspoređuje postavljene granične vrijednosti sa mjerenom i preračunatom vrijednosti kvocijenta rezidualne(nulte) struje I_0 i rezidualnog(nultog) napon U_0 prema formuli[5]:

$$\underline{Y}_0 = \frac{I_{0,kvar}}{U_{0,kvar}} [S]$$

Numerički relej u stvarnome vremenu računa vrijednost nulte admitancije te određenu vrijednost prikazuje u kompleksnoj ravnini kao na slici 1. Na slici 1, točka 1 označava stanje sustava u kojoj se zemljospoj pojavio u pozadinskoj mreži. Za sve vrijednosti koje se nalaze unutar neproradne zone zaštita neće djelovati na isklon prekidača vodnog polja. Pri pojavi zemljospoja na vodnom polju, vrijednosti nulte struje i napona se mijenjaju te se vrijednost admitancije mijenja i pozicionira u točku 2 koja se nalazi u zoni prorade te zaštita djeluje na isklon prekidača.



Slika 1 Kompleksna ravnina admitantne zaštite

Figure 1 Complex plane of admittance based protection

U numeričkim relejima moguće je koristiti različite oblike proradne zone te određivati iznose svake granice po realnoj i imaginarnoj osi.

3. IZRAČUN ADMITANCIJE PROMATRANE 20 KV MREŽE

3. CALCULATION OF 20 KV GRID ADMITTANCE

Za podešavanje admitantne zemljospojne zaštite vodnog polja korišten je stvarni primjer 20 kV elektroenergetske distribucijske mreže koja se napaja iz TS 110/20 kV Pazin. Transformatorska stanica Pazin 110/20 kV sadrži dva odvojena sistema sabirnica te je neutralna točka uzemljena pomoću ručno podesive prigušnice i otpornika koji ograničava struju kvara na 50 A. U tablici 1 prikazane su potrebne karakteristike mreže za izračun admitancije te unos traženih karakteristika u numerički relej.

Tablica 1. Parametri promatrane 20 kV mreže TS 110/20 kV Pazin

Table 1. Parameters of 20 kV grid in Substation 110/20 kV Pazin

Parametar 20 kV mreže	Vrijednost pri 20 kV naponu
Kapacitivna struja vodnog polja	4 A
Kapacitivna struja mreže	51 A
Pozadinska (engl. Background) kapacitivna struja mreže	47 A
Djelatna struja otpornika	50 A
Induktivna struja prigušnice	60 A
Najveća vrijednost nultog napona u normalnom pogonu	2 % U_n
Obuhvatni strujni mjerni transformator	75/5 A
Naponski mjerni transformator	$\frac{20000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3} V$

Za zaštitu promatranog 20 kV vodnog polja koristi se zaštitni uređaj ABB REF615 sa mogućnošću aktiviranja admitantne zemljospojne zaštite. Za podešavanje granica proradne zone potrebno je izračunati pojedinačne nulte admitancije:

Admitancija mreže vodnog polja (engl. Feeder) $\underline{Y}_{0,F}$ se računa prema [5]:

$$\underline{Y}_{0,F} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0,C,F}}{U_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot j4}{20} = j0,35 \text{ [mS]}$$

Gdje $I_{0,C,F}$ prikazuje doprinos kapacitivne nulte struje promatranog vodnog polja.

Admitancija uzemljenja neutralne točke u kojoj se nalazi kompenzacijska prigušnica i paralelni otpornik za uzemljenje $\underline{Y}_{0,RL}$ se računa prema:

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{0,RL} &= G_{0,R} + jB_{0,L} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_R}{U_n} - j \frac{\sqrt{3} \cdot I_L}{U_n} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 50}{20} - j \frac{\sqrt{3} \cdot 60}{20} = 4,33 - j5,2 \text{ [mS]} \end{aligned}$$

Gdje je I_R nazivna struja otpornika i I_L nazivna kompenzirajuća struja prigušnice za određeni položaj.

Iznos admitancije \underline{Y}_0 koju promatrani relej mjeri prilikom pojave zemljospoja u pozadinskoj mreži (engl. Background grid) računa se prema [5]:

$$\underline{Y}_0 = -\underline{Y}_{0,F} = -\frac{\sqrt{3} \cdot I_{0,C,F}}{U_n} = -\frac{\sqrt{3} \cdot j4}{20} = -j0,35 \text{ [mS]}$$

Prilikom pojave kvara u pozadinskoj mreži, relej mjeri samo admitanciju svojeg vodnog polja u suprotnome smjeru, a kapacitivna struja vodnog polja $I_{0,C,F}$ prikazuje doprinos ukupnome zemljospoju.

Iznos admitancije \underline{Y}_0 prilikom pojave zemljospoja na promatranom vodnom polju se računa kao zbroj admitancije neutralne točke $\underline{Y}_{0,RL}$ i admitancije pozadinske mreže $\underline{Y}_{0,Bg}$ [4]:

$$\begin{aligned} \underline{Y}_0 &= \underline{Y}_{0,RL} + \underline{Y}_{0,Bg} = 4,33 - j5,2 + \frac{\sqrt{3} \cdot j47}{20} \\ &= 4,33 - j5,2 + j4,07 = 4,33 - j1,13 \text{ [mS]} \end{aligned}$$

U prethodnoj formuli kapacitivni i induksijski dio se poništavaju. Imaginarni dio admitancije ovisi o stupnju kompenzacije kapacitivne struje. U promatranom slučaju mreža je prekompenzirana te imaginarni dio admitancije ima predznak minus, smanjenjem stupnja kompenzacije imaginarni dio će se približiti nultom iznosu te nastavkom smanjivanja točka prelazi u I. kvadrant.

4. ODREĐIVANJE GRANICA ZONE PRORADE

4. DEFINITION OF OPERATION CHARACTERISTIC

Za navedeni primjer podešenja admitantne zaštite preporuča se način rada „G₀, B₀“ u kojem se definiraju osnovne vrijednosti [5]:

- granica prednje vodljivosti,
- granica prednje susceptancije,
- granica povratne susceptancije i
- granica povratne vodljivosti.

Granica prednje vodljivosti prema preporuci proizvođača se računa prema nazivnoj struji otpornika te koeficijent $k_{SMT} = 0,1$ uračunava grešku mjerenja obuhvatnog strujnog mjernog transformatora [5]:

$$G_{0,f} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_R}{U_n} \cdot k_{SMT} = \frac{\sqrt{3} \cdot 50}{20} \cdot 0,1 = 0,433 \text{ [mS]}$$

Granica prednje susceptancije se podešava prema najmanjoj proradnoj struji $I_{0,min,C}$ iznosa 1 A te se time osigurava velika osjetljivost admitantne zaštite [5]:

$$jB_{0,f} = j \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0,min,C}}{U_n} = j \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{20} = j0,087 \text{ [mS]}$$

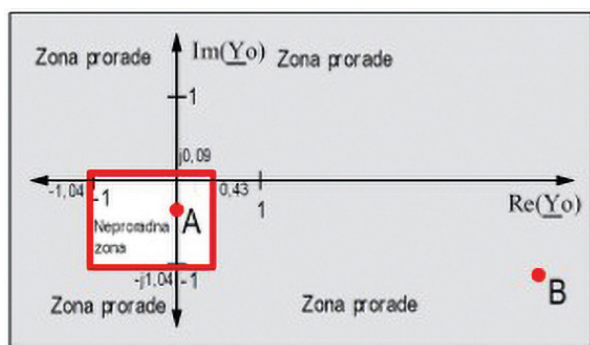
Granica povratne susceptancije se temelji na maksimalnom doprinosu kapacitivne struje vodnog polja $I_{0,C,Fmax}$. Prilikom izračuna doprinosa potrebno je predvidjeti iznos struje za različita uklopna stanja te koristiti faktor sigurnosti [5]:

$$-jB_{0,r} = -j \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0,C,Fmax} \cdot 1,5}{U_n} = -j \frac{\sqrt{3} \cdot 8 \cdot 1,5}{20} = -j1,04 \text{ [mS]}$$

Granica povratne vodljivosti temelji se na maksimalnoj povratnoj nultoj struji $I_{0,C,Fmax}$ te se uzima iznos kao u povratnoj susceptanciji:

$$-G_{0,r} = B_{0,r} = -j1,04 [mS]$$

Prema izračunatim vrijednostima granice dobiva se proradne zona u obliku pravokutnika koji je prikazan na slici 2 crvenom bojom.



Slika 2 Granice za proradu Admitantne zaštite

Figure 2 Characteristic for trip of Admittance based protection

Osnovni uvjet za početak izračuna admitancije promatranog polja je porast nultog napona mreže U_0 . Za promatranu mrežu maksimalni iznos nultog napona iznosi $2\% U_n$ te se u promatranom slučaju određuje početna vrijednost $5\% U_n$.

U normalnom pogonu promatrane mreže, nulti napon i struja mreže su približno nuli te relej ne računa admitanciju.

Pri pojavi zemljospoja u pozadinskoj mreži, pojaviti će se napon U_0 te će relej početi računati admitanciju. Točka A na slici 2 označuje admitanciju koju će relej izračunati iz omjera nulte struje I_0 i nultog napona U_0 . Točka A se nalazi u neproradnoj zoni što je ispravno iz razloga što vodno polje ne treba isključiti prekidač ukoliko se kvar nalazi u pozadinskoj mreži.

Pri pojavi zemljospoja na promatranom vodnom polju kojega relej štiti pojaviti će se nulti napon te će relej početi računati admitanciju iz omjera nulte struje I_0 i nultog napona U_0 . Prema vrijednostima relej će izračunati admitanciju mreže koja je prikazana u točki B. Točka B se nalazi u proradnoj zoni te započinje odbrojanje vremena trajanja zemljospoja. Za promatrano vodno polje preporuča se podešenje od 400 ms.

Ukoliko se izračunata admitancija nalazi u proradnoj zoni duže od 400 ms relej daje naredbu za isključivanje prekidača vodnog polja. Izvršenim isključivanjem isključuje se vodno polje u kvaru.

5. SEKUNDARNI IZNOSI GRANICA

5. VALUES OF SECONDARY CHARACTERISTIC

Na slici 2 prikazane su stvarne odnosno primarne vrijednosti koje se nalaze u mreži. Za parametrisiranje željene zaštite potrebno je u relej unijeti sekundarne veličine koje ovise nazivnim podacima mjernih transformatora. Pretvaranje vrijednosti se računa prema formuli:

$$Y_{sek} = Y_{pri} \cdot \frac{n_{u,NMT}}{n_{i,SMT}} [S]$$

Gdje je:

Y_{sek} - iznos admitancije u sekundarnom krugu za unos u relej,

Y_{pri} - iznos admitancije u mreži,

$n_{u,NMT}$ - prijenosni omjer naponskih mjernih transformatora i

$n_{i,SMT}$ - prijenosni omjer strujnog mjernog transformatora.

Prema tablici 1 prijenosni omjer nultog strujnog mjernog transformatora $n_{i,SMT}$ iznosi 75/5 A odnosno 15, a prijenosni omjer za naponske mjerne transformatore u kojima se jezgre serijski povezane za dobivanje napona otvorenog trokuta iznosi 11543/100 V odnosno 115,43. Kvocijent omjera mjernih transformatora iznosi 7,7 što predstavlja koeficijent za računanje sekundarnih vrijednosti. Prema navedenom sekundarne vrijednosti iznose:

-iznos prednje vodljivosti na sekundarnoj strani:

$$G_{0,f,sek} = 7,7 \cdot 0,43 = 3,31 [mS]$$

-iznos prednje susceptancije na sekundarnoj strani:

$$jB_{0,f,sek} = 7,7 \cdot j0,087 = j0,67 [mS]$$

-iznos povratne susceptancije na sekundarnoj strani:

$$-jB_{0,r,sek} = -7,7 \cdot j1,04 = -j8,01 [mS]$$

-iznos povratne vodljivosti na sekundarnoj strani:

$$-G_{0,r,sek} = -7,7 \cdot 1,04 = -8,01 [mS]$$

U tablici 2 nalaze se potrebne vrijednosti za parametriranje admitantne zemljospojne zaštite za promatrano 20 kV vodno polje.

Tablica 2. Parametri admitantne zemljospojne zaštite za promatrano vodno polje

Table 2. Feeder parameters of admittance based earth-fault protection

Naziv parametara	Vrijednost
Početni iznos napona	0,05
Način usmjerenja	Neusmjeren
Vrijeme prorade	400 ms
Način rada	G_0, B_0
Prednja vodljivost	3,31 mS
Povratna vodljivost	8,01 mS
Prednja susceptancija	0,67 mS
Povratna susceptancija	8,01 mS

Prednosti admitantne zaštite u usporedbi sa usmjerenom zemljospojnom $I_0 \cos \varphi$ zaštitom su brojne[6]:

- detektira visokomske kvarove (osjetljiva zaštita),
- nije ovisna o uklopnom stanju malo omskog otpornika,
- detektira intermitirajuće kvarove,
- praktična za primjenu kod automatskih prigušnica,
- jednostavnija za podesiti u slučaju više kompenzacijskih prigušnica,
- sigurnija u pogledu nepredvidivih okolnosti (robusnija).

Nedostatci admitantne zaštite su:

- složeniji izračun parametara,
- apstraktne vrijednosti koje nisu direktno mjerljive,
- nerasprostranjena primjena u RH.

6. ZAKLJUČAK

6. CONCLUSION

U radu je opisan način rada admitantne zaštite te potpuni praktičan primjer izračuna parametara admitantne zaštite vodnog polja. Neutralna točka promatrane mreže je uzemljena pomoću malo omskog otpornika nazivne struje 50 A i fiksno preklopive kompenzacijske prigušnice. Primjena izračuna parametara također se može koristiti za mreže u kojima se koristi automatska regulacijska prigušnica.

U Republici Hrvatskoj korištenje admitantne zaštite je relativno novi koncept koji se teško usvaja zbog nepoznavanja principa rada i složenog postupka izračuna parametara. Ovim radom nastoji se inženjerima približiti primjena admitantne zaštite sa dovoljno preciznim i detaljnim postupkom podešavanja zaštite.

Admitantna zaštita nudi više prednosti od tradicionalno korištenih usmjerenih zemljospojnih zaštita. Pogon distribucijske mreže time postaje sigurniji i pouzdaniji zbog ispravne selektivnosti i visoke detekcije nepravilnosti u mreži.

7. REFERENCE

7. REFERENCES

- [1.] Mrežna pravila distribucijskog sustava, donositelj HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o. uz suglasnost Hrvatske energetske regulatorne agencije, NN 74/2018, 6.8.2018,
- [2.] A. Wahlroos, J. Altonen, M. Fulczyk, ABB Technology Ltd., Easy admittance, ABB review 2/13, 2013, ISSN 1013-3119,

- [3.] J. Lorenc et. al, Admittance criteria for earth fault detection in substation automation systems in Polish distribution power networks, CIRED 1997 Birmingham, DOI: 10.1049/cp:19970569,
- [4.] A. Wahlroos, J. Altonen, Compensated networks and admittance based earth-fault protection, Kaunas University of Technology and Aalto University, seminar Methods and techniques for earth fault detection, indication and location, Espoo, Finland, 2011.,
- [5.] ABB, Relion Protection and Control 615 series Technical Manual, 1MRS756887, Revision N, 2018.,
- [6.] A. Wahlroos, J. Altonen, T. Hakola, Practical application and performance of novel admittance based earth-fault protection in compensated MV-networks, CIRED 2011 Frankfurt, Paper 0793.

AUTOR · AUTHOR



• Matej Kolarik

Diplomirao je na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija 2016. u Osijeku. Nakon studija zapošljava se u HEP- Operator distribucijskog sustava

Elektroistra Pula u Odjelu za relejnu zaštitu i mjerenje. Na Istarskom veleučilištu započinje raditi 2019. kao vanjski suradnik u naslovnom zvanju asistenta u području elektrotehnike.

Interesi autora su korištenje naprednih tehnologija u distribuciji i učinkovito vođenje distribucijskog elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj.

Korespondencija · Correspondence

matej.kolarik@hep.hr