

**UTICAJ REGULACIJE NAPONA NA RAD DISTANTNE ZAŠTITE****IMPACT OF VOLTAGE REGULATION ON DISTANCE PROTECTION OPERATION**Marina Mitrović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljen je primer kroz koji se razmatra uticaj regulacije napona i različiti efekti na distantnu zaštitu. Da bi se obezbedila kvalitetna isporuka električne energije, električna mreža mora da bude izgrađena tako da i pri najvećim opterećenjima može da obavlja svoju funkciju, sem toga mora da bude otporna na kvarove i poremećaje, tj. da ih dovoljno brzo eliminiše i smanji trajanje prekida napajanja na ekonomski opravdanu meru. U radu su navedene i objašnjene vrste zaštite vodova, moderna rešenja distantne zaštite, pojedinosti regulacionih transformatora, i data analiza primera.

**Gljučne reči:** zaštita električnih mreža, distantna zaštita, savremena rešenja distantne zaštite, regulacija napona, regulacioni transformatori.

**Abstract** – This paper presents an example, through which the impact of voltage regulation and different effects on distance protection are considered. In order to ensure high quality delivery of electrical energy, the electrical grid must be built so that even at the highest loads it can perform its function, in addition it must be resistant to faults and disturbances, in other words, it must eliminate them fast enough and reduce the duration of power outages to an economically justified measure. The paper lists and explains the types of line protection, modern distance protection functions and applications, details of regulating transformers and gives an analysis of examples.

**Keywords:** line protection, distance protection, modern distance protection functions, voltage regulation, regulating transformers.

**1. UVOD**

Osnovni zahtev koji se postavlja pred distributivnu električnu mrežu (DEM) je rad koji je bezopasan za okolinu (ljude i materijalna dobra). Da bi se obezbedila kvalitetna isporuka električne energije tj. “neprekidna” isporuka, pri čemu je napon u dopuštenim granicama, DEM mora da bude izgrađena tako da i pri najvećim opterećenjima može da obavlja svoju funkciju. Sem toga mora da bude otporna na kvarove i poremećaje, tj. da ih dovoljno brzo eliminiše i smanji trajanje prekida napajanja na ekonomski opravdanu meru. Da bi se obezbedile zadovoljavajuće naponske prilike, distributivni električni sistem (DES) kao zadnja karika u lancu proizvodnja, prenos, distribucija mora da

ima mogućnost regulacije napona. Ova regulacija se uglavnom ostvaruje primenom regulatora napona pod opterećenjem u razvodnim transformatorskim stanicama 110/X kV ali i regulatora napona u transformatorskim stanicama X/0.4 kV [1].

Da bi elektroenergetski sistem mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti zaštitu svakog njegovog elementa (generator, transformator, vod, motor, itd.), a takođe i pojedinih celina u okviru elektroenergetskog sistema od kvarova. Upravo zaštita celokupnog elektroenergetskog sistema od kvarova se ostvaruje relejnom zaštitom [2].

U nastavku rada, u drugoj glavi, biće predstavljeni principi zaštite vodova, kao i osnovni podaci o svakoj od tih zaštita. U trećoj glavi data su neka od savremenih rešenja i funkcija distantne zaštite i njihove pojedinosti. U četvrtoj glavi je predstavljen primer koji će se razmatrati i kroz koji će se analizirati regulacija napona i njen uticaj na distantnu zaštitu. Takođe, dat je matematički model vodova i regulacionih transformatora, informacije i brojne vrednosti elemenata distributivne mreže, kao i način na koji je izvršena normalizacija parametara i formiranje strukture mreže. U petoj glavi prikazani su rezultati i data analiza izvršenih proračuna. U šestoj glavi je iznet zaključak, dok se u sedmoj glavi navodi korišćena literatura.

**2. ZAŠTITA ELEKTRIČNIH MREŽA**

Osnovna funkcija EES-a jeste kontinualno snabdevanje potrošača električnom energijom odgovarajućeg kvaliteta. Pod kvalitetnom električnom energijom se, pored, propisanog napona i frekvencije podrazumeva i pouzdanost snabdevanja [1].

Zaštita elektroenergetskog sistema se vrši od nenormalnih stanja:

- stanja sa kvarom (kvarovima) i
- opasnih pogonskih stanja.

Zbog složenih oblika elektroenergetskih sistema i zbog potrebe za brзом eliminacijom kvara, bilo je potrebno napraviti zaštitu kojom bi se delovalo brže ako je mesto kvara bliže. Vreme delovanja ovim relejima zavisi od vrednosti merene impedanse. Ako se izabere da je merena impedansa jednaka impedansi od mesta ugradnje zaštite do mesta kvara, onda će se na osnovu vrednosti te impedanse dobiti informacija o udaljenosti (od mesta ugradnje) releja do mesta kvara. Na ovaj način je postignuto da vreme delovanja ovim relejima zavisi od udaljenosti ili distance od releja do mesta kvara. Zato se ovi releji nazivaju distantni (daljinski) releji [2].

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Duško Bekut, red. prof.**

Za zaštitu vodova se koriste sledeće vrste zaštita:

- prekostrujna,
- distantna,
- diferencijalna i
- osigurač.

Na vodovima srednjih napona (od 10 kV do 35 kV) se najčešće primenjuje prekostrujna zaštita. U mrežama radijalnog tipa se koristi neusmerena prekostrujna zaštita, dok se u petljastim mrežama mora koristiti i usmerena prekostrujna zaštita. Primena distantne zaštite je karakteristična za mreže naponskog nivoa 110 kV i više, dok je primena diferencijalne zaštite karakteristična za slučajeve kada se prethodne dve zaštite ne mogu efikasno i lako primeniti [2].

### 2.1. Neusmerena prekostrujna zaštita

Ova vrsta zaštite predstavlja najjednostavniju i najčešće primenjivanu zaštitu na srednjenaponskim vodovima (od 10 kV do 35 kV). Selektivnost zaštite sa strujno nezavisnom karakteristikom se postiže vremenskim i strujnim podešavanjem zaštite. Pri podešavanju zaštita uvek se polazi od krajnjih ka zaštitama koje su bliže izvoru napajanja radijalne mreže [2].

### 2.2. Usmerena prekostrujna zaštita

Radijalne jednostrano napajane mreže koje imaju paralelne vodove koji polaze sa istih sabirnica i završavaju se na nekim drugim sabirnicama, dvostrano napajani vodovi i prstenasto napajane mreže, ne mogu se štititi pomoću običnih prekostrujnih releja, jer se ne bi mogla obezbediti selektivnost. U ovim slučajevima se mora koristiti i usmerena prekostrujna zaštita koja predstavlja kombinaciju prekostrujnog i usmernog releja [2].

### 2.3. Distantna zaštita

Ova zaštita ima dva parametra za podešavanje: 1. impedansu pomoću koje se određuje domet zaštite i 2. vreme delovanja. Kombinacijom ova dva parametra se postiže traženi kvalitet zaštite, što je kvar bliže releju to se on brže eliminiše. Impedantno podešenje prvog stepena distantne zaštite mora biti manje od impedanse voda koji se štiti, jer bi u protivnom postojala mogućnost da se deluje i pri kvarovima na susednim vodovima [2].

### 2.4. Diferencijalna zaštita

Koriste se dve vrste diferencijalnih zaštita: uzdužna i poprečna. Uzdužna zaštita se obično primenjuje za vodove do dužina od oko 15 km i predstavlja najselektivniji i praktično najbrži tip zaštite koji se može koristiti za eliminaciju kvarova na vodu. Poprečna diferencijalna zaštita se primenjuje na paralelnim vodovima. U normalnom pogonu i kod kvarova van tih paralelnih vodova, struje po paralelnim vodovima su iste, a njihova razlika je brojno jednaka nuli. Kada se dogodi kvar na jednom od vodova, razlika struja je brojno različita od nule i tada se zaštitom deluje [2].

### 2.5. Automatsko ponovno uključanje voda

Eksploataciona iskustva su pokazala da ako se posle isključenja kvara ponovo uključi vod, u 70 % do 80 % slučajeva dolazi do spontane eliminacije kvara. Uređaji za automatsko ponovno uključanje se dele prema [2]:

- brzini delovanja,
- broju obuhvaćenih faza,
- broju ciklusa,

- dopunskim uslovima i
- načinu aktiviranja.

## 2.6. Termička zaštita

Kod pojave prevelikog zagrevanja vodova dolazi do povećanja ugiba iznad dozvoljenog, zbog čega se smanjuje sigurnosna visina između provodnika i tla. Termička zaštita vodova bi podrazumevala zaštitu kojom bi se delovalo kada temperatura provodnika premaši neku zadanu vrednost. U praksi se termička zaštita najčešće izvodi kao zaštita od preopterećenja, odnosno zaštitom se deluje ako je preopterećenje veće od nekog zadatog [2].

## 3. SAVREMENA REŠENJA DISTANTNE ZAŠTITE

Povećanjem opterećenja prenosne mreže i smanjenjem stabilnosti, zahteva se brže reagovanje relejne zaštite, a da se pritom zadrži siguran rad releja. Proizvođači releja su u modernu distantnu zaštitu integrisali veliki broj elemenata zaštite, kontrole, nadzora i merenja koji korisniku pružaju mogućnosti kreiranja napredne zaštite i kontrole, koja nije bila moguća korišćenjem ranijih tehnologija [3].

### 3.1. Pouzdanost

Inženjeri teže da postignu veoma brzo reagovanje za sve kvarove na prenosnoj mreži, pomoću relejne zaštite podržane komunikacionim kanalima. Moderni releji imaju integrisanu funkciju komunikacije u okviru iste opreme distantnog releja i omogućavaju digitalnu komunikaciju između releja za veoma brzu zaštitu vodova, nadzor i kontrolu. Mogućnost upotrebe sinhronizovanog merenja fazora će omogućiti napredne strategije za zaštitu i kontrolu, a rezultat su povećana pouzdanost, bolja zaštita i kontrola [3].

### 3.2. Zaštitne funkcije

Distantni releji obuhvataju sledeće integrisane zaštitne elemente:

- visoko-osetljivu usmerenu zemljospojnu zaštitu,
- više izbora karakterističnih krivih za usmerenu i neusmerenu prekostrujnu zaštitu, podnaponske ili nadnaponske elemente,
- termičku zaštitu,
- zaštitu u slučaju kvara prekidača,
- principe zaštite za udaljene kvarove, potpomognute kanalima komunikacije,
- za iznenađan gubitak opterećenja,
- itd.

Veoma brza zaštita vodova je poželjna osobina na kritičnim vodovima sa uskim marginama za stabilnost [3].

### 3.3. Kontrola, nadzor i merenje

Integrisani elementi za kontrolu uključuju tajmere, digitalne brojače, naprednu logiku, matematičke funkcije i binarne ulaze koji detektuju promenu stanja na spoljašnjim kontaktima. Funkcije nadzora imaju važnu ulogu u održavanju [3].

### 3.4. Komunikacija

Moderni digitalni releji imaju integrisane funkcije za komunikaciju, koje su značajne u mnogim oblastima povezanim sa zaštitom i razmenom podataka neophodnih za kontrolu, nadzor i snimanje događaja i kvarova. Moderni distantni releji poseduju više prednjih i zadnjih serijskih portova za komunikaciju, kako bi korisnik mogao da pristupi izveštajima o snimljenim događajima i izvrši izmene podešenja, lokalno u trafostanici ili sa udaljenosti putem modema [3].

### 3.5. Lociranje kvara

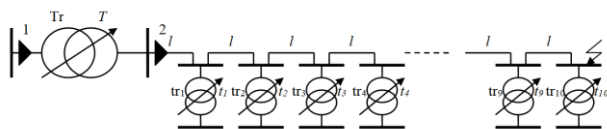
Precizno lociranje kvara pomaže operatorima u restauraciji napajanja i smanjenju vremena bez napajanja, troškova operacija i pritužbi potrošača. Moderni distantni releji imaju integrisane digitalne kanale za komunikaciju sa sposobnošću da razmenjuju analogne vrednosti i podatke između uređaja, uz logičke podatke o statusima uređaja [3].

### 3.6. Sinhronizovano merenje fazora

Sinhronizovanje uzoraka, koje koriste zaštitni releji, u okviru 1  $\mu$ s, omogućeno je zahvaljujući razvoju satelitskih sistema i kompjuterske tehnologije. Ovaj dodatak u distantnim relejima rezultuje u povećanoj pouzdanosti sistema i omogućava lakše vršenje raznih analiza, zaštitu i kontrolu, nego što je to slučaj kada se koriste drugi izvori podataka [3].

## 4. POSTAVKA PROBLEMA

Razmatra se jednostavna distributivna mreža (DM) prikazana na slici 1.



Slika 1. Distributivna mreža

Potrebno je:

1. za različite pozicije regulacione sklopke transformatora Tr, odrediti impedansu koju meri zaštita 1 i impedansu koju meri zaštita 2 za dvopolni kratak spoj na SN sabirnici transformatora  $tr_{10}$ ,
2. ponoviti prethodni zadatak ako se uvaži efekat zagrevanja provodnika pri kratkom spoju,
3. ponoviti zadatak pod rednim brojem 1 kada se na SN sabirnicu  $tr_4$  priključi distributivni generator koji injektira 5 MVA ( $S_{3PKSMIN}=1000$  MVA,  $x_d=25$  %,  $S_n=5$  MVA,  $V_n=21$  kV) i
4. ponoviti prethodni zadatak ako se uvaži efekat zagrevanja provodnika pri kratkom spoju.

### 4.1. Vodovi

Vodovi su elementi za prenos električne energije. Mogu biti s golim provodnicima i u vidu kablova. Prvi se koriste isključivo kao nadzemni, okačeni preko izolatora na stubove. Kablovi se skoro isključivo pružaju ispod zemlje. Izuzeci su samonoseći kablovi na niskom naponu koji se kače na stubove [4].

### 4.2. Regulacioni transformatori

Regulacioni transformatori spadaju u najvažnije regulacione resurse za regulaciju napona i reaktivnih snaga elektroenergetskih sistema. Oni se uobičajeno izvode sa razdvojenim namotajima, ali i kao autotransformatori.

### 4.3. Podaci o elementima distributivne mreže

Dvonamotajni regulacioni transformator 110/21 kV/kV:  $V_{n1}=110.0$  kV,  $V_{n2}=21.0$  kV,  $S_n=31.5$  MVA,  $u_k=8$  %

Dvonamotajni regulacioni transformatori 20/0.4 kV/kV:  $V_{n1}=20.0$  kV,  $V_{n2}=0.4$  kV,  $S_n=1.0$  MVA,  $u_k=6$  %

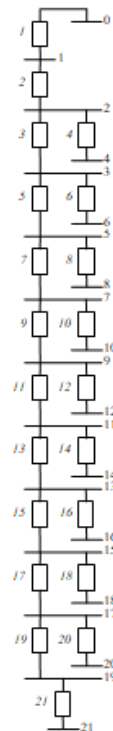
Vodovi 20 kV:  $r=0.32$   $\Omega$ /km,  $x=0.33$   $\Omega$ /km,  $b=120.0$   $\mu$ S/km,  $g=0.0$   $\mu$ S/km,  $l_1=l_2=l_3=l_4=l_5=l_6=l_7=l_8=l_9=l_{10}=1$  km

### 4.4. Normalizacija parametara distributivne mreže

Za bazne vrednosti izabrane su sledeće veličine:  $S^b=3.15$  MVA,  $V_{110}^b=110$  kV,  $V_{20}^b=20$  kV,  $V_{0.4}^b=0.4$  kV

### 4.5. Formiranje strukture mreže

Na slici 2 je prikazana struktura mreže sa numerisanim granama i čvorovima.



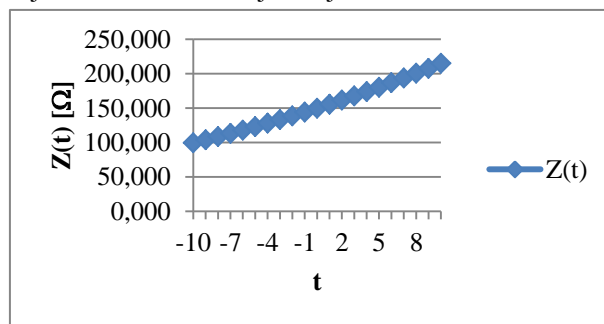
Slika 2. Struktura mreže

## 5. NUMERIČKA VERIFIKACIJA PRORAČUNA

Razmatraju se efekti ugradnje distributivnog generatora i povećanja termičke otpornosti na rad distantne zaštite.

### 5.1. Prvi slučaj

Na slici 3 je dat grafički prikaz vrednosti impedanse koju meri zaštita 1 za prvi slučaj, dok je vrednost impedanse koju meri zaštita 2 za taj slučaj sledeća:  $Z=4.6$   $\Omega$ .

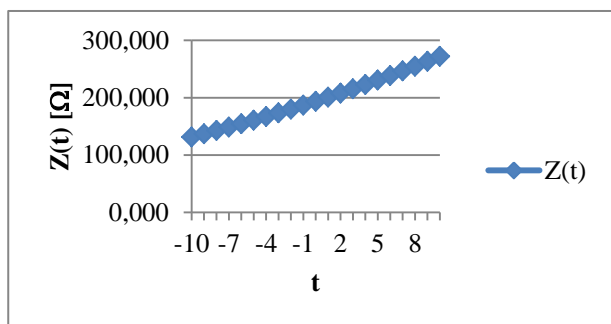


Slika 3. Impedansa koju meri zaštita 1 za prvi slučaj

### 5.2. Drugi slučaj

Na slici 4 je dat grafički prikaz vrednosti impedanse koju meri zaštita 1 za drugi slučaj, dok je vrednost impedanse koju meri zaštita 2 za taj slučaj sledeća:  $Z=6.417$   $\Omega$ .

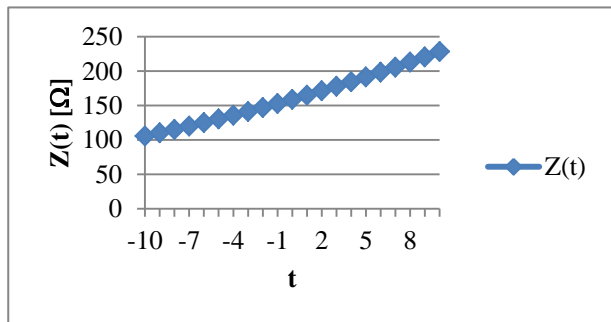
Vrednost impedanse koju meri zaštita na mestu 2 je konstantna, ne zavisi od promene regulacione sklopke transformatora, na nju utiču samo vrednosti impedanse vodova.



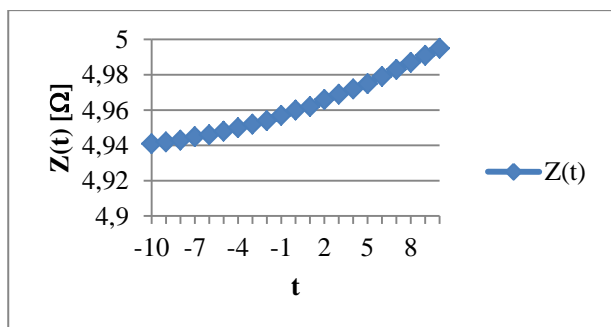
Slika 4. Impedansa koju meri zaštita 1 za drugi slučaj

### 5.3. Treći slučaj

Na slici 5 je dat grafički prikaz vrednosti impedanse koju meri zaštita 1 za treći slučaj, dok je vrednost impedanse koju meri zaštita 2 za taj slučaj data na slici 6. Primećuje se povećanje u odnosu na prvi slučaj kada generator nije bio priključen. Dakle, u ovoj situaciji bi bilo potrebno promeniti podešenja distantne zaštite.



Slika 5. Impedansa koju meri zaštita 1 za treći slučaj

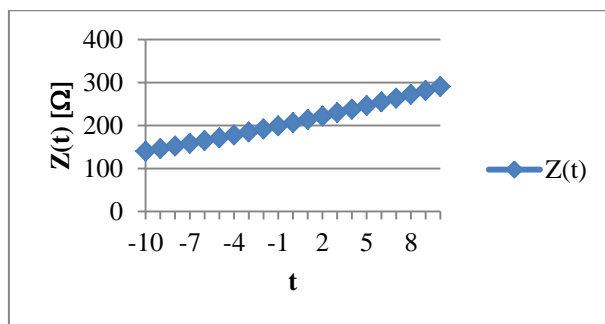


Slika 6. Impedansa koju meri zaštita 2 za treći slučaj

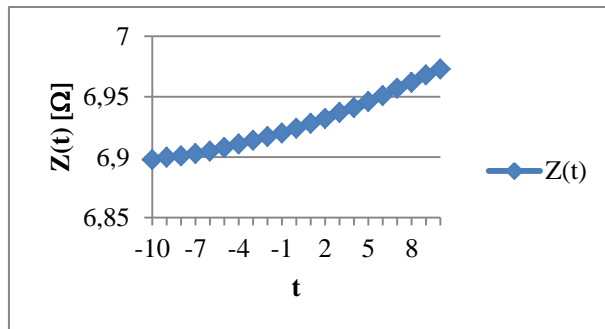
### 5.4. Četvrti slučaj

Na slici 7 dat je grafički prikaz vrednosti impedanse koju meri zaštita 1 za četvrti slučaj, dok je vrednost impedanse koju meri zaštita 2 za taj slučaj data na slici 8.

Do povećanja je došlo usled povećanja realnog dela impedanse, odnosno, otpornosti, jer je otpornost koja se meri na vodovima sada dobijena korišćenjem nove vrednosti podužne otpornosti.



Slika 7. Impedansa koju meri zaštita 1 za četvrti slučaj



Slika 8. Impedansa koju meri zaštita 2 za četvrti slučaj

## 6. ZAKLJUČAK

Izvršena je analiza brojnih vrednosti iz prethodna četiri primera. Razmatrani su efekti koje ima regulacija napona na vrednosti impedanse koje meri distantna zaštita. Takođe, razmatrani su uticaji uvažavanja efekta zagrevanja provodnika pri kratkom spoju, kao i ugradnje distributivnog generatora. Konstatovano je u kojim slučajevima treba promeniti podešenje zaštite.

## 7. LITERATURA

- [1] Miroslav D. Nimrihter: *Elektrodistributivni sistemi*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [2] Duško Bekut: *Relejna zaštita*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [3] Demetrios A. Tziouvaras, Simon R. Chano, Jean-Luc Chaneliere, Juergen Holbach, Silvia Moroni, Mohindar S. Sachdev, Constantine E. Zavolas: *Modern Distance Protection; Functions and Applications*, CIGRE publication, 2008.
- [4] Vladimir Strezoski: *Analiza elektroenergetskih sistema*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2012.
- [5] Goran S. Švenda: *Osnovi elektroenergetike: Matematički modeli i proračuni*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2014.

### Kratka biografija:



**Marina Mitrović** rođena je u Novom Sadu 1994. god. Osnovne studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva, smer Elektroenergetski sistemi. Master rad na istom fakultetu, smer Elektroenergetika – Elektroenergetski sistemi, odbranila je 2021. godine.

Kontakt: marina.mitrovic12@hotmail.com