

PROAKTIVNA DETEKCIJA NEŽELJENOG REAGOVANJA PREKOŠTRUJNIH RELEJA U SREDNENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI**PROACTIVE DETECTION OF UNWANTED OVERCURRENT RELAY TRIPPING IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK**

Jelena Ninković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratik sadržaj – U radu je opisan princip rada prekostrujne zaštite, te osnovne podele prekostrujnih releja i kriterijumi tih podela. Takođe dat je prikaz funkcije prognoza opterećenja distributivne mreže i njihov značaj u eksploataciji i planiranju EES-a. Zatim je na osnovu rezultata kratkoročne prognoze režima mreže izvršena analiza osetljivosti podešenja prekostrujne zaštite na moguća preopterećenja SN izvoda.

Ključne reči: prekostrujna zaštita, podešenje releja, prognoza opterećenja.

Abstract – This paper describes the principle of overcurrent protection, and the basic criteria and types classification of overcurrent relays. Also, it gives overview of types of load forecast functions used in a power system and its importance in system operation and planning. Further, based on the results of short-term load forecasting of the MV distribution network, possibility of bad overcurrent relay response was analyzed.

Keywords: overcurrent protection, relay setting, load forecast.

1. UVOD

Dostupnost električne energije usko je povezana sa ekonomskim razvojem jedne zemlje, jer većina industrije zavisi u potpunosti od njenog korišćenja. Usled ekonomskog i industrijskog razvoja, kao i jačanja konkurencije u elektroenergetskom sektoru mnogih zemalja, distributivne kompanije se suočavaju sa porastom potreba i zahteva potrošača za električnom energijom što većeg kvaliteta – stalnom, jeftinom i održivom energijom. Kako bi se potrebe za električnom energijom mogle ispuniti potrebno je imati uvid u ponašanje sistema u budućnosti, te prognoza potrošnje igra sve bitniju ulogu u povećanju pouzdanosti i stabilnosti elektroenergetskog sistema (EES) [1].

Ideja ovog rada je analiza rezultata kratkoročne prognoze režima srednjenaponske (SN) mreže u svrhu provere osetljivosti relejne zaštite na eventualna preopterećenja SN izvoda u bliskoj budućnosti. Praktičan benefit bi bila proaktivna detekcija ispravnog, ali neželjenog reaganja prekostrujnih releja u uslovima kada bi došlo do kratkotrajnog preopterećenja izvoda i

alarmiranja/signalizacije o potencijalnom ispadu usled aktivacije releja. Time bi se blagovremeno upozorilo na mogući ispad u bliskoj budućnosti, a samim tim uticalo na povećanje pouzdanosti i sigurnosti napajanja potrošača.

U drugoj glavi data je podela i oblasti primene funkcija prognoze potrošnje električne energije. Posebno je opisana metodologija funkcija kratkoročne prognoze opterećenja na osnovu koje su rađene potrebne analize osetljivosti relejne zaštite.

U trećoj glavi opisane su osnovne podele prekostrujnih releja, kriterijumi tih podela kao i osnovna podešenja releja.

U glavi četiri analizirani su rezultati kratkoročne prognoze za dva karakteristična dana u godini. U petoj glavi izveden je zaključak rada, a u šestoj je navedena korišćena literatura.

2. PROGNOZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prognoza potrošnje električne energije koristi se u svrhu predikcije ukupne satne potrošnje koju sistem mora da zadovolji u narednom periodu. Kvalitetno određena prognoza potrošnje električne energije, bazirana na što tačnijim i detaljnijim podacima, osnova je za proces planiranja distributivne mreže svih naponskih nivoa [2].

Potrebe za prognozom potrošnje električne energije dolaze do izražaja prilikom [2]:

- 1) planiranja prenosa i distribucije u cilju zadovoljenja rasta potrošnje, stabilnog snabdevanja i veće pouzdanosti,
- 2) trgovine energijom, pružajući uvid u mogućnost kupovine/prodaje električne energije u budućnosti,
- 3) održavanja i operativnih poslova omogućujući dispečeru da donosi pravovremene odluke o manipulaciji i planira održavanje,
- 4) angažovanja agregata u cilju postizanja maksimalne ekonomičnosti u radu sistema uz uvažavanje granica sigurnosti,
- 5) upravljanja opterećenjem – prognoza potrošnje električne energije pomaže pri donošenju odluka kad su u pitanju regulacija opterećenja i smanjivanje napona,
- 6) simulacionih „šta ako” analiza (engl. „What if analysis”).

NAPOMENA:

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

2.1 Podela funkcija prognoze

Funkcije prognoze razlikuju se u zavisnosti od vremenskog horizonta za koji se proračunavaju i uobičajeno se dele u sledeće kategorije [1]:

- 1) NTLF (engl. „Near Term Load Forecast“) – kratkoročna prognoza u užem smislu sa vremenskim horizontom od naredna 24 sata i satnom vremenskom diskretizacijom,
- 2) STLF (engl. „Short Term Load Forecast“) – kratkoročna prognoza sa vremenskim horizontom od narednih 8 dana i satnom vremenskom diskretizacijom,
- 3) MTLF (engl. „Medium Term Load Forecast“) – srednjeročna prognoza sa vremenskim horizontom od narednih 8 dana i dnevnom vremenskom diskretizacijom,
- 4) LTLF (engl. „Long Term Load Forecast“) – dugoročna prognoza sa vremenskim horizontom od 1 do 15 narednih godina i godišnjom vremenskom diskretizacijom.

2.2 Metodologija za proračun kratkoročne prognoze potrošnje električne energije

Rezultati kratkoročne prognoze koji će biti iskorišćeni u ovom radu, dobijeni su na osnovu proračuna koji se zasniva na primeni metode vektora podrške (engl. Support Vector Machine, SVM) kao jedne vrste nadgledanog mašinskog učenja. Kratkoročna prognoza daje predviđanje opterećenja distributivne mreže (DM) za narednih 8 dana počevši od ponoći narednog dana u odnosu na trenutak izvršavanja funkcije. Rezultati prognoze prikazuju se najčešće u jednočasovnim vremenskim intervalima [3].

Funkcija zahteva sledeće ulazne parametre [3]:

- 1) istorijska opterećenja,
- 2) istorijski vremenski uslovi,
- 3) prognozirani vremenski uslovi,
- 4) tipovi dana u periodu prognoze.

Izlaz iz funkcije predstavljaju satne vrednosti potrošnje odn. aktivnih i reaktivnih opterećenja za narednih 8 dana počevši od ponoći narednog dana u odnosu na vreme pokretanja funkcije.

Istorijska opterećenja

Kvalitet i količina dostupnih istorijskih opterećenja u velikoj meri utiče na kvalitet izlaza koji daje funkcija. Ona se funkciji prosleđuju kao niz istorijskih (estimiranih, ostvarenih) vrednosti opterećenja (aktivnih i reaktivnih), za deo DM ili prenosne mreže (PM) za koji se izvršava funkcija za vremenski period od 8 dana.

Vremenske promenljive

Proces potrošnje električne energije u tesnoj je vezi sa vremenskim uslovima, pogotovu u područjima gde se električni uređaji za klimatizaciju intenzivno koriste. Neke od vremenskih promenljivih na čiju upotrebu se može često naići su temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, brzina vetra, pokrivenost oblacima [4]. Među svim navedenim vremenskim promenljivim, ubedljivo najviše i najčešće korišćena je temperatura vazduha. U obzir se mogu uzeti i drugi vremenski uslovi (brzina vetra, oblačnost, padavine itd.) u zavisnosti od geografskih i klimatskih osobina oblasti DM i njihovog uticaja na potrošnju električne energije.

Tipovi dana

Karakteristike procesa potrošnje u toku dana mogu biti različite kada se radi o različitim danima u toku jedne nedelje, zbog mnogih uticaja. Na primer, zgrade u kojima se nalaze većinom poslovni prostori mogu tokom vikenda biti zatvorene, što rezultira znatno smanjenom potrošnjom u odnosu na radne dane. Takođe, ljudi ustaju kasnije tokom vikenda, pa je vrhunac jutarnje potrošnje pomećen za jedan do dva časa unapred u odnosu na radne dane. Podele na tipove dana razlikuju se od zemlje do zemlje. S obzirom na različite običaje unutar tih zemalja (radni dani u nedelji, praznici itd.) ponašanje potrošača je drugačije, a konsekvantno i proces potrošnje električne energije [4].

3. PODELA I PRINCIP RADA PREKOSTRUJNE ZAŠTITE

Prekostrujna zaštita je uređaj koji reaguje na veličinu struje u šticeu delu mreže, odn. deluje kada struja pređe određenu, unapred podešenu vrednost. Služi za eliminaciju opasnih pogonskih stanja u električnim mrežama. Postoje dve vrste opasnih pogonskih stanja:

- 1) preopterećenje vodova,
- 2) kratki spojevi i zemljospoj.

Prekostrujna zaštita je najjednostavnija i najčešće primenjivana zaštita u sredjenaponskim mrežama. Primenjuje se uspešno u mrežama sa radijalnom konfiguracijom. Pobudni element zaštite je prekostrujni relej.

Postoje dve grupe prekostrujnih releja prema vremenu reagovanja [5]:

- 1) *trenutni*, kod kojih je delovanje trenutno (takav način delovanja koristi se u slučaju struja velikih intenziteta, a ovaj tip releja se uobičajeno obeležava sa $I>>$),
- 2) *sa vremenskim članom*, kod kojih delovanje sledi nakon određene vremenske pauze zadate vremenskim podešenjem (uobičajena oznaka je $I>$).

U zavisnosti od načina priključenja na kontrolisanu veličinu prekostrujni releji se mogu podeliti na [5]:

- 1) primarne prekostrujne okidače,
- 2) sekundarne prekostrujne releje.

3.1 Sekundarni prekostrujni releji

Sekundarni prekostrujni releji koriste se u kombinaciji sa strujnim transformatorima za galvansko razdvajanje kola. Prekostrujni relej ($I>$) se vezuje u sekundarno kolo strujnog transformatora, a jedan od sekundarnih krajeva strujnog transformatora se uzemljuje iz razloga sigurnosti. Ako struja premaši podešenu vrednost, zatvaraju se kontakti releja čime se zatvaraju kontakti kola koje se napaja iz izvora napajanja (izvora komandnog napona). Na taj način vrši se signalizacija ili se deluje na komandno kolo prekidača [5].

Prema vremenskoj karakteristici sekundarni prekostrujni releji se dele na:

- 1) trenutne prekostrujne releje,
- 2) releje sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom,
- 3) releje sa strujno zavisnom vremenskom karakteristikom.

Prekostrujni releji sa strujno nezavisnom karakteristikom pobuđuju se kada struja premaši određenu vrednost, ali se njima deluje tek nakon nekog vremena.

Upravo po tome se ovi releji razlikuju od trenutnih gde uglavnom nema razlike između pojmova pobuđivanje i delovanje. Vreme delovanja ne zavisi od iznosa struje koja teče kroz relej [5].

Pomoću prekostrujnih releja sa nezavisnom karakteristikom može se jednostavno postići selektivnost delovanja zaštite stepenovanjem vremena delovanja zaštite od potrošača ka izvoru napajanja. Između svake dve na red postavljene zaštite mora se postići određen stepen selektivnosti koji se kreće od 0.25 do 0.5s [5].

Struja podešenja releja I_{pod} definiše se na sledeći način (relacija 3.1.1) [5]:

$$I_{pod} = \frac{k_{sigurnosti} \cdot k_{spoja} \cdot I_{radnomax}}{a \cdot n_{SMT}}, \quad (3.1.1)$$

gde su:

$k_{sigurnosti}$ – koeficijent sigurnosti (od 1.1 do 1.2),
 k_{spoja} – koeficijent spoja releja na strujne merne transformatore (kod spoja na fazne struje vrednost koeficijenta je 1, a kod spoja na razliku struja dva transformatora kvadratni koren iz 3 ,

$I_{radno max}$ – najveća pogonska struja,
 a – koeficijent otpuštanja releja (od 0.85 do 0.95) i
 n_{SMT} – odnos transformacije strujnog TR za koji je vezan relej.

Vrednosti struja podešenja prekostrujne zaštite i struja podešenja releja brojno se razlikuju za odnos transformacije strujnog mernog transformatora n_{SMT} .

Nakon izbora vremenskog i strujnog podešenja prekostrujne zaštite, potrebno je proveriti osetljivost. Struja podešenja releja mora biti manja od minimalne vrednosti struje kratkog spoja kod kvara na kraju osnovne i rezervne zone delovanja. Osetljivost zaštite definisana je koeficijentom osetljivosti k_{os} (relacija 3.1.2):

$$k_{os} = \frac{I_{kmin}}{I_{pod} \cdot n_{SMT}}, \quad (3.1.2)$$

gde je:

I_{kmin} – minimalna vrednost struje kratkog spoja.

Keficijent osetljivosti bi trebalo da je veći od 1.5 kod kvara na kraju osnovne zone šticećenja, a veći od 1.2 kod kvara na kraju rezervne zone šticećenja. Minimalna struja kratkog spoja se određuje deterministički. Bira se takvo uklopno stanje za koje se na kraju zone šticećenja ima najmanja struja kratkog spoja, a takođe se bira i tip kratkog spoja za koji je struja minimalna [5].

4. ANALIZA REZULTATA PROGNOZE U SVRHU DETEKCIJE (NEŽELJENOG) REAGOVANJA RELEJA

U ovom delu rada biće analizirani prognozirani režimi test DM za naredna 24h sa praktičnim benefitom proaktivne detekcije neželjenog reagovanja prekostrujnih releja na moguće preopterećenje SN vodova. Ideja je da se razmatranjem dijagrama opterećenja u bliskoj budućnosti

blagovremeno detektuje i upozori na potencijalne ispravan, ali neželjen rad zaštite.

4.1 SN test mreža

Mreža se sastoji iz transformatorske stanice TS 110/20 kV/kV, 4 distributivna SN izvoda 20 kV i TS 20/0.4 kV/kV kojima je predstavljena potrošnja. Mreža sadrži uređaje relejne zaštite postavljene na početku svakog SN izvoda, što je uobičajeno u mrežama evropskog tipa. Primenjeni releji su sa strujno nezavisnom karakteristikom. Kako je mreža građena radijalno, u TS 20/0.4 kV/kV na ostalim deonicama ugrađeni su samo rastavljači. Prilikom pojave kvara na bilo kom radijalnom izvodu zaštita na njegovom početku isključuje ceo izvod trenutno ili sa malim vremenskim kašnjenjem.

4.1 Podešenja prekostrujnih zaštita u test mreži

U tabeli 4.1.1 date su proračunate maksimalne radne struje po svakom izvodu.

Tabela 4.1.1 – Vrednosti maksimalnih radnih struja po svakom SN izvodu

Oznaka izvoda	M1	M2	M3	M4
$I_{radnomax}$ [A]	101	115.5	170.3	57.7

Podešenja prekostrujnih ($I_{>z}$) zaštita izračunata su prema relaciji 3.1.1, a vrednosti struja podešenja prikazane su u tabeli 4.1.2 kao i parametri koji figurišu u relaciji 3.1.1.

Tabela 4.1.2 – Podešenja i parametri prekostrujnih zaštita po izvodima

Oznaka izvoda	$I_{>z}$ [A]	$k_{sigurnostia}$	a	$I_{radnomax}$
M1	131.3	1.3	0.85	101
M2	173.2			115.5
M3	255.5			170.3
M4	86.6			57.7

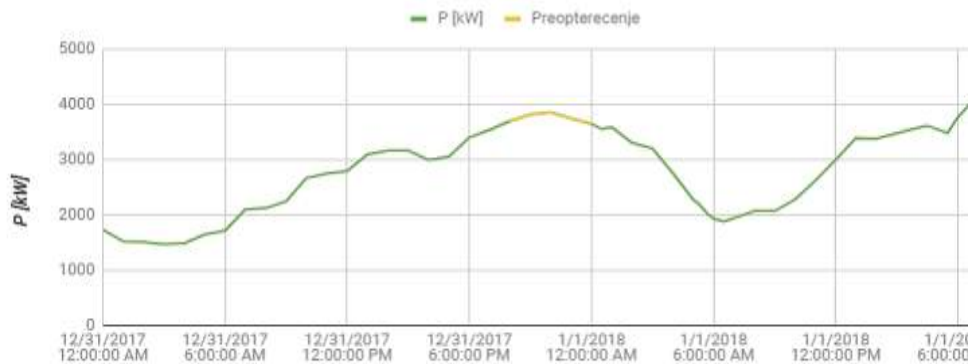
Rezultati kratkoročne prognoze režima mreže za vremenski opseg od 24 sata analizirani su za dva karakteristična dana. To su:

- 1) karakterističan letnji dan,
- 2) karakterističan praznični zimski dan.

Analiza se sastoji u sledećem: Za svako stanje (sat) za koje se vrši prognoza, uzima se vrednost struje kroz prekidač na početku izvoda i poredi sa vrednošću struje podešenja prekostrujne zaštite. Ukoliko je vrednost struje kroz prekidač veća od podešenja zaštite, proverava se da li je trajanje intenziteta te struje u granicama dozvoljenih vrednosti u termičkom smislu. Ukoliko se ispostavi da je preopterećenje kratkotrajno i u granicama dozvoljenih vrednosti, a zaštita bude osetljiva na njega, zaključuje se da bi došlo do neželjenog reagovanja releja i prestanka napajanja potrošača na analiziranom izvodu.

4.3 Analiza dijagrama opterećenja za letnji dan

Za analizu je odabran radni dan, jer je uobičajeno potrošnja izraženija i veća radnim nego neradnim danom.



Slika 4.4.1 – Prognozirani dijagram potrošnje za karakteristični zimski dan

Odabran letnji dan karakteriše i izrazito visoka dnevna temperatura (sa dnevnim prosekom oko 30°C) što rezultuje u povećanom korišćenju rashladnih uređaja, a samim tim znatno utiče i na potrošnju struje i oblik dnevnog dijagrama opterećenja. Pomenuti vremenski uslovi uvaženi su prilikom izvršavanja funkcije prognoze opterećenja.

Analizom prognoziranih vrednosti opterećenja SN izvoda i poređenjem intenziteta radne struje za svako stanje (sat) sa podešenjem zaštite, zaključeno je da nema perioda sa preopterećenjem te da za ovaj slučaj (analiziran letnji dan) ne bi došlo do ispravnog, ali neželjenog reagovanja releja usled preopterećenja.

4.4 Analiza dijagrama opterećenja za zimski dan

Za analizu je odabran novogodišnji praznik, odn. 31.decembar i 1. januar. Pretpostavljeno je da izabrane zimske dane karakteriše izrazito niska temperatura sa dnevnim prosekom od -10°C i ta činjenica je uzeta u obzir prilikom proračuna prognoze opterećenja. Niske temperature utiču na povećanu upotrebu grejnih tela (TA peći, grejalice, toplotne pumpe) koja su najveći potrošači u domaćinstvu. Na dodatno povećanje potrošnje u ovoj situaciji ima uticaja i upotreba ulične i druge novogodišnje rasvete.

Analizom prognoziranih dijagrama opterećenja SN izvoda ustanovljeno je da je funkcija prognozirala preopterećenje izvoda M1 u periodu od 21:00 do 23:59 31. januara, i od 18:00 do 20:00 1. januara. Dijagram opterećenja za izvod M1 prikazan je na slici 4.4.1. Intenzitet radne struje izvoda M1 u periodu preopterećenja, 31. decembra od 22:00 do 23:59, kreće se u opsegu (107 ÷ 111 A). Ove vrednosti su veće od vrednosti maksimalne radne struje proračunate za izvod M1 (101 A), ali opet manje od vrednosti podešenja zaštite. Međutim kako je preopterećenje kraćeg trajanja, a prosečna temperatura vazduha -10°C (vod se sporije zagreva), štice element bi se kratkoročno mogao preopteretiti u periodu povećane potrošnje, te je zaključak da bi došlo do preopterećenja ali ne i do nepotrebnog reagovanja zaštite i ispada izvoda M1 iz pogona.

5. ZAKLJUČAK

Funkcije prognoze potrošnje električne energije prvobitno su najveću ulogu imale u planiranju EES-a, odnosno u istraživanju i određivanju optimalnih mera razvoja EES-a

u budućnosti (planovi izgradnje novih kapaciteta, angažovanje agregata, itd). Međutim poslednjih decenija razvojem preciznijih algoritama kratkoročnog predviđanja potrošnje, ova funkcija počela je da dobija sve veći značaj i u pogledu održavanja i operativnih poslova omogućujući donošenje pravovremenih odluka o manipulaciji. Na taj način utiče se i na povećanje pouzdanosti i sigurnosti elektroenergetskog sistema u neposrednoj budućnosti.

U ovom radu je opisan i analiziran još jedan benefit funkcija prognoze, a to je njihova primena u analizi pogona mreže. Proaktivna detekcija reagovanja relejnih uređaja na preopterećenje u mreži omogućuje preventivno delovanje i poboljšanje performansi jedne mreže. Primena adaptivne zaštite bi svakako bila sigurnije rešenje, ali je nekada upitna njena ekonomska isplativost. Uvidom u stanje mreže u budućnosti moglo bi se blagovremeno reagovati na prognozirana preopterećenja, izvršiti prepodešnje releja ili adekvatna promena topologije, u zavisnosti da li je reagovanje releja opravdano ili ipak bezrazložno.

6. LITERATURA

- [1] Ilija Vujošević, „Eksploatacija i planiranje elektroenergetskih sistema”, Elektrotehnički fakultet, Podgorica, 2005.
- [2] Milan Čalović, Andrija Sarić i Predrag Stefanov, „Eksploatacija elektro-energetskih sistema u uslovima slobodnog tržišta“, Tehnički fakultet, Čačak, 2005.
- [3] Miloš Božić „Kratkoročna prognoza potrošnje električne energije zasnovana na metodama veštačke inteligencije“, doktorska disertacija, Niš, 2014.
- [4] Slobodan Ilić, „Kratkoročno predviđanje električne energije u velikim elektroenergetskim sistemima“, doktorska disertacija, Novi Sad, 2013.
- [5] Duško Bekut, „Relejna zaštita“, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2013.

Kratka biografija:



Jelena Ninković rođena je u Šapcu 1992. godine. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi 2016. godine i nakon toga upisala master studije na istom fakultetu.