

MOGUĆNOST PRIMJENE MONTE KARLO SIMULACIJE PRI PRORAČUNU PARAMETARA POUZDANOSTI U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI

THE POSSIBILITY OF APPLYING MONTE CARLO SIMULATION IN THE CALCULATION OF RELIABILITY PARAMETERS IN THE POWER DISTRIBUTION NETWORK

Milena VUKČEVIĆ, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore, Crna Gora
Vladan RADULOVIĆ, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore, Crna Gora

KRATAK SADRŽAJ

Analize pouzdanosti su nezaobilazni procesi pri planiranju razvoja elektroenergetskih sistema, s obzirom na to da je pouzdanost veoma važna komponenta kvaliteta električne energije, čije narušavanje može prouzrokovati znatne štete različite prirode. Kontinuirano praćenje parametara pouzdanosti u elektrodistributivnim sistemima je danas dobilo na značaju upravo zbog valorizacije šteta nastalih usljed neisporučene električne energije krajnjim potrošačima, što je u skladu sa regulatornim propisima i pravilima.

U radu je dat prikaz mogućnosti primjene Monte Karlo simulacije, kao jedne od metoda za proračun pouzdanosti elektrodistributivnih sistema. Monte Karlo simulacija se izvodi generisanjem slučajnih brojeva, koji u slučaju proračuna i analiza u elektroenergetskim sistemima, mogu da određuju stanja komponenti i stanja sistema. Iz toga proizilazi da se pokazatelji pouzdanosti, koji su predmet ovog rada, i ostale karakteristične veličine izračunavaju iz skupova vrijednosti, koje su dobijene pomenutim slučajnim simulacijama.

Na ovaj način, primjenom Monte Karlo simulacije, može se sprovesti proračun parametara pouzdanosti poput: prosječne učestanosti prekida napajanja sistema, neisporučene energije, prosječnog trajanja prekida napajanja sistema itd. preko kojih se iskazuje mjera pouzdanosti posmatranog sistema. Dakle, ideja ovog rada jeste da se proračunom pokazatelja pouzdanosti primjenom Monte Karlo simulacije, izvrši analiza i procjena pouzdanosti datog sistema prikazane karakteristične topologije.

Ključne reči: pouzdanost, parametri pouzdanosti, Monte Karlo, kvalitet električne energije, elektrodistributivni sistem

ABSTRACT

The reliability analysis is unavoidable processes in planning the development of power systems, considering that reliability is a very important component of power quality. The disruption of power quality can cause considerable damage of various sorts. Continuous monitoring of reliability parameters in power distribution systems has become important nowadays precisely because of the valorization of these damages resulting from an undelivered electricity to consumers, which is in accordance with regulatory regulations and rules.

This paper presents the possibilities of application of Monte Carlo simulation, as one of the methods used to calculate the reliability of power distribution systems. The Monte Carlo simulation is performed by generating random numbers, which in this case of calculations and analysis in power systems, can determine the states of components and states of the system. It causes that reliability indicators, which are the subject of this paper, and other characteristic quantities are calculated from the sets of values obtained by the random simulations.

In this way, the result of an applied Monte Carlo simulation would be the calculation of reliability parameters such as an average frequency of system power outages, undelivered electric energy, an average system power outages time lengths, etc. through which the measure of the reliability of the observed system is expressed. Therefore, the idea of this paper is the calculation of reliability indicators using Monte Carlo simulations for the given system with characteristic topology.

Key words: reliability, reliability parameters, Monte Carlo simulation, quality of supply, power distribution system

1. UVOD

Vrednovanje šteta koje nastaju usljed prekida napajanja potrošača električnom energjom, u novonastalim uslovima liberalizovanog tržišta električne energije, postaje sve značajnija tema. To bi značilo da će pojava konkurencije na tržištu rezultirati zahtjevom da se uzme u obzir i valorizacija šteta koje nastaju zbog neisporučene električne energije. Ovo je samo jedan od razloga značajnih za proračun parametara pouzdanosti elektroenergetskog sistema, koji predstavljaju mjeru pouzdanosti istog. O potrebi da se uvede valorizacija šteta na odgovarajući način govore i iskustva pojedinih zemalja koje su uvele obavezu da se kontinuirano prate pokazatelji pouzdanosti i da se na osnovu njih donose odluke o dozvoljenom profitu i potrebnim investicijama, koji su podjednako bitan faktor kao i pouzdanost svakog elektroenergetskog sistema (1).

Pouzdanost je sposobnost nekog elementa ili sistema da uspješno obavlja predviđene funkcije u određenom vremenskom intervalu i u određenim spoljašnjim uslovima. Proračun i analiza pokazatelja pouzdanosti u svakom sistemu imaju za cilj otkrivanje oblasti ranjivog protoka energije i potrebe pojačanja sistema, kako bi se potrošači nesmetano napajali električnom energijom.

U ovom radu je predstavljena mogućnost primjene Monte Karlo simulacije kao jedne od metoda za proračun parametra SAIDI (System Average Interruption Duration Index) – indeks prosječnog trajanja prekida sistema, u analiziranom području elektrodistributivne mreže. Monte Karlo simulacija se izvodi generisanjem slučajnih brojeva, koja mogu da određuju stanja komponenti i stanja sistema, kao što je to dato u ovom slučaju analize i proračuna sistema. Samim tim, parametar SAIDI se izračunava iz skupova vrijednosti koje su dobijene pomenutim slučajnim simulacijama, pri čemu se nakon toga vrši analiza i poređenje dobijenih rezultata za dva karakteristična slučaja.

Postoji širok spektar i drugih značajnih parametara pouzdanosti sistema, pri čemu je u ovom radu akcenat na proračun SAIDI parametra primjenom Monte Karlo simulacije. Ideja ovog rada jeste da se uoči uticaj konfiguracije i postojanja rezerve u mreži na vrijednost parametra pouzdanosti, prilikom čijeg proračuna se vrši analiza i procjena pouzdanosti posmatranog sistema. U radu je korišten MatlabR2019b programski paket za potrebe simulacije.

2. OSNOVNI KONCEPTI PLANIRANJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Nakon postavljanja globalnih ciljeva planiranja razvoja svakog elektroenergetskog sistema, neophodno je definisati osnovne koncepte i kriterijume prema kojima se planiranje nesmetano obavlja, a to su:

- 1) Koncept sigurnosti;
- 2) Koncept pouzdanosti;
- 3) Koncept kvaliteta električne energije;
- 4) Koncept ekonomičnosti.

Shodno temi rada, akcent je na konceptu sigurnosti i konceptu pouzdanosti sistema.

2.1. Koncept sigurnosti

Elektroenergetski sistem u normalnom stanju sa n elemenata kao što su dalekovodi i transformatori mora obezbijediti kontinuitet rada pri ispadu bilo kojeg elementa u smislu da se ne smije ugroziti napajanje potrošača ili rad elektroenergetskog sistema. To bi značilo da sistem mora biti isplaniran tako da normalno funkcioniše sa najmanje $n-1$ elemenata tj sa konceptom sigurnosti $n-1$, pri čemu je n ukupan broj elemenata podložnih ispada. Priroda elektroenergetskog sistema je takva da ispad jednog elementa često prati ispad drugog ili čak može doći do kaskadnog poremećaja, što dovodi do potpunog ispada sistema. Ispad jednog elementa može da prouzrokuje preopterećenje, koje izaziva reakciju zaštite u sistemu kao i napon ili elektromehaničku nestabilnost. Iz gore navedenog razloga, pored $n-1$ analize je potrebna i verifikacija u radu za $n-2$ kriterijum u planiranju elektroenergetskog sistema, kako bi se postigla odgovarajuća stabilnost u radu sistema.

Navedeni koncept sigurnosti se u toku planiranja koristi kako bi se utvrdila pouzdanost sistema. To omogućava projektantima da odrede koji djelovi sistema moraju da se pojačaju za pouzdan rad sistema. U upravljanju elektroenergetskih sistema se sprovode analize pouzdanosti kako bi se u realnom vremenu ocijenila ranjivost sistema u pogledu mogućih događaja u sistemu. Kada kriterijum $n-1$ nije ispunjen pri upravljanju elektroenergetskim sistemom, operatori se ne mogu odlučiti za dugoročne intervencije u sistemu kao što mogu uraditi prilikom planiranja, već mogu uticati samo na različite manevre prebacivanja, smanjenje prenosa snage na interkonekcijama, podešavanje naponskih profila itd.

Normalno radno stanje sistema je takvo da su frekvencija i napon unutar dozvoljenih granica i da se svi potrošači napajaju prema važećem rasporedu s ispunjenim kriterijumom $n-1$. U slučaju da ovaj kriterijum nije ispunjen,

moraju se preduzeti svi potrebni koraci kako bi se kriterijum ispunio što je prije moguće. Moguće mjere koje treba preuzeti u tom slučaju su:

- aktiviranje odgovarajućih rezervi;
- prekid radova na održavanju prenosnih uređaja (ukoliko je to moguće);
- redukcija napajanja potrošača (ukoliko ova mjera sprečava dalje širenje poremećaja).

Uslovi za ispunjenje n-1 koncepta sigurnosti ne važe za područja u kojima zbog konfiguracionih razloga kriterijum ne može biti ispunjen u radu, poput područja koja se napajaju radijalno.

2.2. Koncept pouzdanosti

Jedan od najvažnijih zadataka u planiranju i eksploataciji elektroenergetskog sistema jeste problem obezbjeđivanja pouzdanosti sistema. Pouzdanost se definiše kao sposobnost nekog elementa ili sistema da predviđene funkcije uspješno obavlja u određenom vremenskom intervalu i u određenim spoljašnjim uslovima. To je ključna komponenta kvaliteta električne energije, pa je tako analiza pouzdanosti neizbježan korak prilikom planiranja razvoja svakog elektroenergetskog sistema (1). Pouzdanost izražava vjerovatnoću ispravnog funkcionisanja sistema, pri čemu se ta vjerovatnoća proračunava preko indeksa pouzdanosti koji međusobno povezuju karakteristične pokazatelje prekida isporuke električne energije i njihove efekte na potrošače. Najveći uticaj na pokazatelje pouzdanosti imaju rezerve sistema, bilo da je riječ o proizvodnim, prenosnim ili distributivnim kapacitetima. Veća rezerva u sistemu obezbjeđuje veću pouzdanost, što se i dokazuje proračunom parametra SAIDI u ovom radu, ali veća pouzdanost svakako da indirektno utiče na veća investiciona ulaganja, pri čemu se ova veća ulaganja obično opravdavaju boljom produktivnošću i sigurnim radom potrošača. Kompromis po pitanju koncepta pouzdanosti je postignut onda kada se obezbijedi maksimalna korist kako za isporučioa električne energije, tako i za potrošače.

3. OSNOVE MONTE KARLO SIMULACIJE

Pouzdanost sistema se može analizirati tako što se generisanjem slučajnih brojeva određuju stanja komponenti i stanja sistema. Iz vrijednosti koje su dobijene pomenutim slučajnim simulacijama proračunavaju se pokazatelji pouzdanosti i različite karakteristične veličine, primjenom statističkih metoda za obradu rezultata posmatranja (2). U ovom radu, u nastavku će se primjenom Monte Karlo simulacije proračunavati vrijednosti parametra SAIDI za dva karakteristična slučaja posmatranog sistema, nakon čega će se analizirati dobijeni rezultati. U analizama pouzdanosti elektroenergetskih sistema primjena Monte Karlo simulacije ima smisla samo kod složenijih sistema tj sistema sa velikim brojem podsistema i sastavnih elemenata. To bi značilo da bi se ova metoda koristila u slučajevima kada je analitičko rješavanje pouzdanosti sistema komplikovano ili čak neizvodljivo zbog složenosti topologije same mreže.

Uopšteno, neka se pretpostavi da je izvedeno m simulacija rada sistema i da je u svakoj od simulacija određen parametar z. Tada bi se srednja vrijednost pomenutog parametra proračunavala kao:

$$z_{sr} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m z_k \quad (1)$$

gdje su sa z_k označene vrijednosti parametra z izračunate u pojedinim simulacijama.

Dakle, ideja Monte Karlo metode je da se, umjesto opisa slučajne pojave pomoću analitičkih veza, izvede simulacija iste pojave u cilju realizovanja iste. To se postiže simuliranjem ili imitacionim modeliranjem pomoću funkcije slučajnih brojeva, pri čemu se u rezultatu, nakon svakog ponavljanja postupka, dobija po jedna realizacija proučavane slučajne pojave. Simulacija se izvodi onoliko broj puta koliko operator odredi, a skup dobijenih realizacija predstavlja statistički materijal, koji se kako je već i navedeno, određenim statističkim metodama obrađuje i interpretira. Iz tog razloga se Monte Karlo naziva i metodom statističkih ispitivanja, a kao nedovoljno precizna definicija može se uzeti da je to numerička metoda kojom se modeliranjem pogodnih, slučajnih promjenljivih rješavaju zadaci različitog (stohastičkog ili determinističkog) karaktera (3).

4. PARAMETRI POUZDANOSTI U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Parametri pouzdanosti predstavljaju mjeru za vrednovanje pouzdanosti elektroenergetskih mreža. Oni se dijele na osnovne i dodatne parametre pouzdanosti. U ovom radu je riječ o dodatnim pokazateljima pouzdanosti, kao

naprednijoj tehnici praćenja pouzdanosti elementa ili elektroenergetskog sistema prilikom njegovog ispada (1). Ovi pokazatelji pouzdanosti se dijele na:

- a) Pokazatelji orijentisani potrošaču
- b) Pokazatelji orijentisani opterećenju i energiji

4.1. Pokazatelji orijentisani potrošaču

Pokazatelji koji su orijentisani potrošaču se odnose na određeno područje potrošnje električne energije s tačno određenim brojem potrošača, posmatrano kroz određeno vremensko razdoblje (4). Neka se pretpostavi da na nekom području potrošnje električne energije ima N_T potrošača, i tokom perioda posmatranja (uobičajeno jedna godina) neka se dogodi m prekida. Svakim i -tim prekidom napajanja koji traje t_i minuta, je zahvaćeno N_i potrošača s ukupnom snagom potrošnje P_i .

SAIFI – indeks prosječne učestanosti prekida sistema (System Average Interruption Frequency Index)

$$SAIFI = \frac{\text{broj zahvaćenih potrošača}}{\text{ukupan broj potrošača}} = \frac{\sum_i \lambda_i \cdot N_i}{\sum_i N_i} = \frac{\sum_i N_c}{N_T} = \frac{N_z}{N_T} \left[\frac{\text{prekid}}{\text{potrošač}} \right] \quad (2)$$

Gdje su:

λ_i – intenzitet otkaza posmatranih potrošača u čvoru i ;

N_i – broj potrošača u čvoru i ;

N_T – ukupan broj potrošača na posmatranom području;

N_c – broj zahvaćenih potrošača u čvoru i ;

N_z – ukupan broj zahvaćenih potrošača na posmatranom području.

Parametar SAIFI se mjeri u jedinicama prekida po potrošačima i obično se mjeri na godišnjem nivou.

CAIFI - indeks prosječne učestanosti prekida potrošača (Customer Average Interruption Frequency Index)

$$CAIFI = \frac{\text{broj zahvaćenih potrošača}}{\text{broj pogođenih potrošača}} = \frac{\sum_i \lambda_i \cdot N_i}{M_i} = \frac{\sum_i N_c}{M_i} = \frac{N_z}{M_i} \left[\frac{\text{prekid}}{\text{potrošač}} \right] \quad (3)$$

Gdje je:

M_i – ukupan broj pogođenih potrošača, pri čemu se ti pogođeni potrošači uzimaju u obzir samo jedanput bez obzira na to koliko su prekida imali u toku godine. Upravo taj imenitelj pravi razliku između ova dva do sada spomenuta parametra.

Parametar CAIFI se mjeri u jedinicama prekida po potrošačima i obično se mjeri na godišnjem nivou.

SAIDI – indeks prosječnog trajanja prekida sistema (System Average Interruption Duration Index)

$$SAIDI = \frac{\text{ukupno trajanje svih prekida sistema}}{\text{ukupan broj potrošača}} = \frac{\sum_i U_i \cdot N_c}{\sum_i N_i} = \frac{d}{N_T} [h] \quad (4)$$

Gdje su:

$U_i [h]$ – godišnje trajanje prekida u čvoru i ;

$d [h]$ – ukupno trajanje svih prekida u sistemu.

Parametar SAIDI se mjeri u jedinicama vremena, često u minutima ili satima i obično se mjeri na godišnjem nivou. Ovi pokazatelji mogu značajno odstupati na različitim područjima potrošnje, a najznačajnija su odstupanja pri podjeli konzuma na pretežno urbano i pretežno ruralno područje potrošnje, s obzirom na to što postoje razlike u izvedbi vodova i opterećenju mreže u pojedinim područjima, kao i u ukupnom broju potrošača. Samim tim, niže vrijednosti pokazatelja SAIFI i SAIDI se očekuju u pretežno urbanim područjima u kojima dominira kablovska mreža, dok se više vrijednosti ovih pokazatelja očekuju u pretežno ruralnim područjima gdje dominira vazдушna mreža (nadzemni vodovi) (5).

CAIDI – indeks prosječnog trajanja prekida potrošača (Customer Average Interruption Duration Index)

$$CAIDI = \frac{\text{ukupno trajanje svih prekida sistema}}{\text{broj zahvaćenih potrošača}} = \frac{\sum_i U_i \cdot N_c}{\sum_i \lambda_i \cdot N_i} = \frac{d}{\sum_i N_c} = \frac{d}{N_z} [h] \quad (5)$$

CAIDI daje prosječno trajanje prekida, koji bi bilo koji potrošač mogao iskusiti. Parametar CAIDI se mjeri u jedinicama vremena, često u minutima ili satima i obično se mjeri na godišnjem nivou.

ASAI – indeks prosječne raspoloživosti napajanja (Average Service Availability Index)

$$ASAI = \frac{8760 \cdot N_T - \sum_i U_i \cdot N_c}{8760 \cdot N_T} = \frac{8760 \cdot N_T - d}{8760 \cdot N_T} \quad (6)$$

Gdje je:

8760 - broj sati u toku godine.

4.2. Pokazatelji orijentisani opterećenju i energiji

ENS - indeks neisporučene energije (Energy Not Suplied Index)

$$ENS = \text{ukupna neisporučena energija} = \sum_i (L_c \cdot U_i) \text{ [kWh]} \quad (7)$$

Gdje je:

L_c [kW] – iznos ispalog prosječnog opterećenja u čvoru i , a jednak je:

$$L_c = L_{pi} \cdot F_{oi} \quad (8)$$

L_{pi} [kW] je vršno opterećenje u čvoru i .

F_{oi} je faktor opterećenja u čvoru i .

AENS - indeks prosječno neisporučene energije (Average Not Suplied Index)

$$AENS = \frac{\text{ukupna neisporučena energija}}{\text{ukupan broj potrošača}} = \frac{\sum_i (L_c \cdot U_i)}{\sum_i N_i} = \frac{ENS}{N_T} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{potrošač}} \right] \quad (9)$$

ACCI - indeks prosječnog ograničenja potrošača (Average Customer Curtailment Index)

$$ACCI = \frac{\sum_i (L_c \cdot U_i)}{M_i} = \frac{ENS}{M_i} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{potrošač}} \right] \quad (10)$$

5. PRIMJENA MONTE KARLO SIMULACIJE PRI PRORAČUNU SAIDI PARAMETRA

Osnovni cilj svakog elektroenergetskog sistema jeste pouzdano i neprekidno napajanje potrošača kvalitetnom električnom energijom. Kako bi se taj proces omogućio, neophodno je u svakom trenutku predvidjeti tok energije i naponske prilike u mreži i time omogućiti optimalno stanje u sistemu. Ta pouzdanost sistema se postiže dovoljnom količinom rezerve koju treba obezbijediti prilikom planiranja elektroenergetskog sistema. Svakako da važi pravilo da što je veća pouzdanost sistema, veća su i finansijska ulaganja u isti tj investicije. Stoga, potrebno je naći kompromis kako bi se zadovoljili aspekti pouzdanosti i investicija sistema.

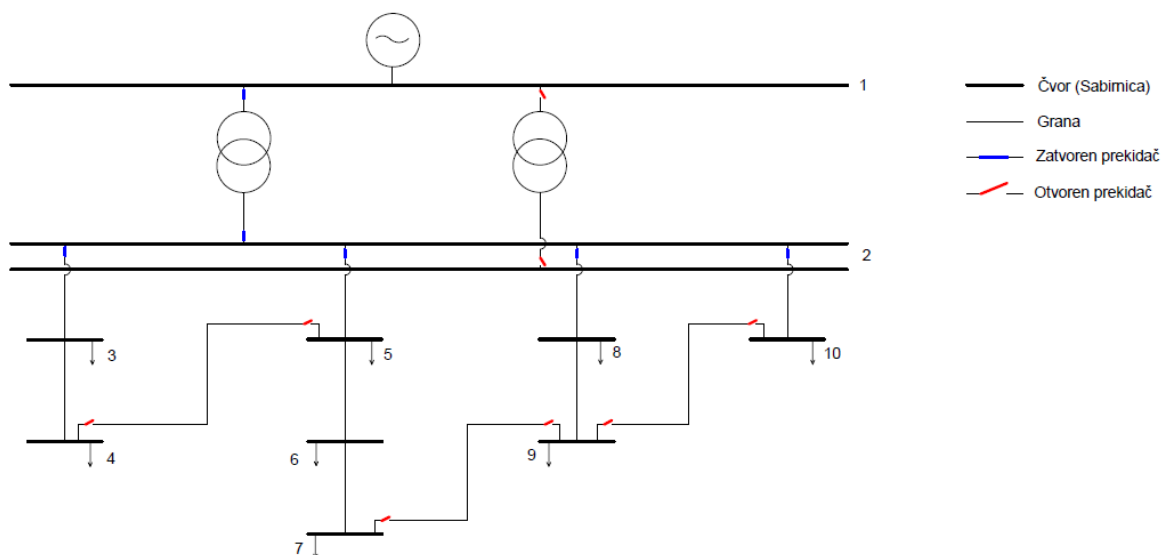
Jedan od načina praćenja pouzdanosti sistema svakako jesu parametri pouzdanosti, čijim proračunima se postiže uvid u stanje sistema sa određenim procentom greške. Kako bi se prikazao značaj parametara pouzdanosti pri analizi pouzdanosti elektroenergetskog sistema, opisan je model kreiran konkretno za potrebe ovog rada i to u dva slučaja:

- Posmatrano područje se napaja radijalno;
- Posmatrano područje se napaja prstenasto.

Za dva gore navedena slučaja prikazan je proračun parametra SAIDI primjenom Monte Karlo simulacije, pri čemu se koristio programski paket Matlab R2019b (6). Monte Karlo simulacija se izvodi generisanjem slučajnih brojeva u vrijednosti od 0 do 1, koja u ovom slučaju određuju raspoloživost grana u posmatranom dijelu mreže kao komponenti sistema, a zatim se parametar SAIDI izračunava iz skupova vrijednosti koje su dobijene pomenutim slučajnim simulacijama. U prvom slučaju, posmatrano područje (konzum) elektrodistributivnog sistema se napaja radijalno (bez rezervnog napajanja). Drugi slučaj karakteriše prstenasta konfiguracija napajanja potrošača, što bi značilo da u sistemu postoji rezervno napajanje u slučaju da dođe do kvara nekog od elemenata. Posmatra se područje elektrodistributivnog sistema od 10 čvorova, pri čemu prvi čvor predstavlja generator, a drugi čvor sabirnički sistem. Pretpostavlja se da preostalih osam čvorova imaju po 100 potrošača u svom području napajanja.

5.1. Radijalna konfiguracija posmatranog područja mreže

U većini savremenih distributivnih sistema praksa je ta da se u normalnim pogonskim uslovima primjenjuje radijalna konfiguracija, tj da za svakog potrošača postoji samo jedna trajektorija koja ga povezuje sa napojnim čvorom (7). Jedni od najvažnijih razloga za primjenu radijalne konfiguracije jesu: jednostavnija realizacija relejne zaštite, značajna redukcija struje kratkih spojeva a samim tim i štete koja tom prilikom nastaje. Radijalno napajanje potrošača se postiže otvaranjem određenog broja prekidača koji povezuju izvode, odnosno radijalne ogranke distributivne mreže, kao što je prikazano na Slici 1. Zbog pojednostavljivanja rada, na Slici 1 i Slici 2 elementi za manipulisanje sistemom (prekidači, rastavljači, zaštita, uzemljenje..) su prikazani simbolično prekidačima, čije su funkcije date na legendi sa strane.

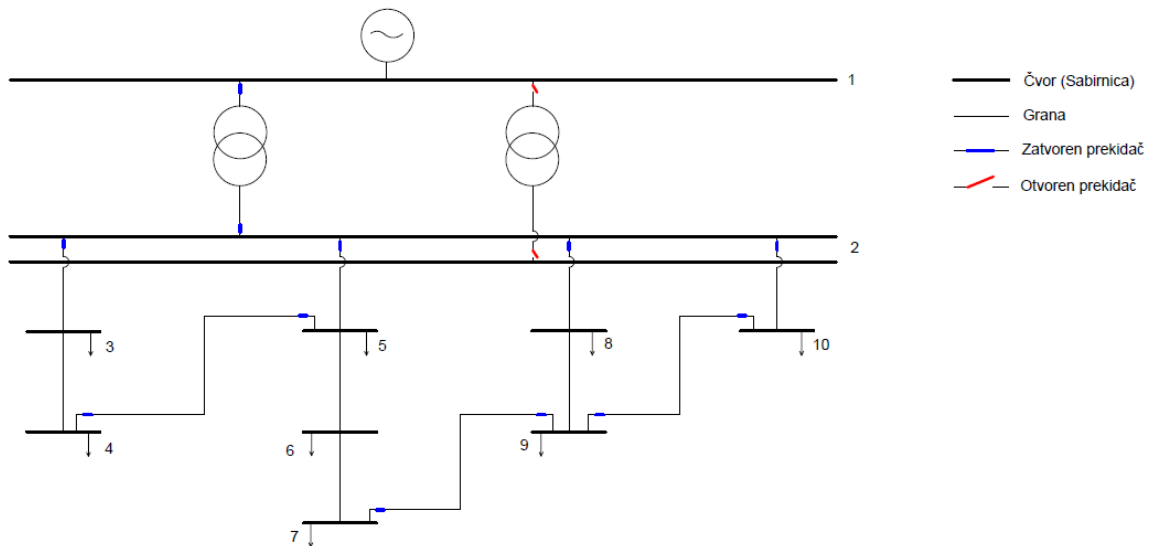


Slika 1. Radijalno napajanje potrošačkog konzuma

Kako se može i uočiti sa slike, posmatra se područje distributivne mreže koje ima radijalnu konfiguraciju. To bi značilo da, u slučaju pojave kvara na dijelu mreže između potrošačkog čvora 3 i 4 ili 8 i 9 itd, krajnji potrošači u ovom dijelu mreže će ostati bez napajanja električnom energijom. Taj prekid napajanja bi se jasno uočio prilikom proračuna parametara pouzdanosti, pri čemu bi se zaključilo da se pouzdanost sistema ne nalazi u odgovarajućem opsegu. U slučaju radijalnog napajanja, izvršen je proračun parametra SAIDI primjenom Monte Karlo simulacije, tj generisanjem slučajnih brojeva od 0 do 1 i na taj način se provjeravala pouzdanost grana u posmatranom dijelu mreže. Na osnovu raspoloživosti grana u tom trenutku se proračunavao parametar SAIDI, čije se vrijednosti upoređuju sa vrijednostima istog parametra u slučaju prstenastog napajanja.

5.2. Prstenasta konfiguracija posmatranog područja mreže

Kako bi se obezbijedila mogućnost napajanja što većeg broja potrošača u slučaju kvara na nekom elementu mreže, distributivne mreže se najčešće planiraju i grade u prstenastim konfiguracijama. Na taj način se u sistemu postiže veća pouzdanost i sigurnije napajanje potrošača električnom energijom. Na Slici 2. je prikazana prstenasta konfiguracija posmatranog dijela elektrodistributivne mreže, koja je uspostavljena zatvaranjem određenih prekidača između potrošačkih čvorova 4 i 5, 7 i 9, 9 i 10. Za ovako dobijenu prstenastu konfiguraciju mreže, izvršen je proračun parametra SAIDI, primjenom Monte Karlo simulacije, čije su vrijednosti prikazane i upoređene u podglavlju 5.3.



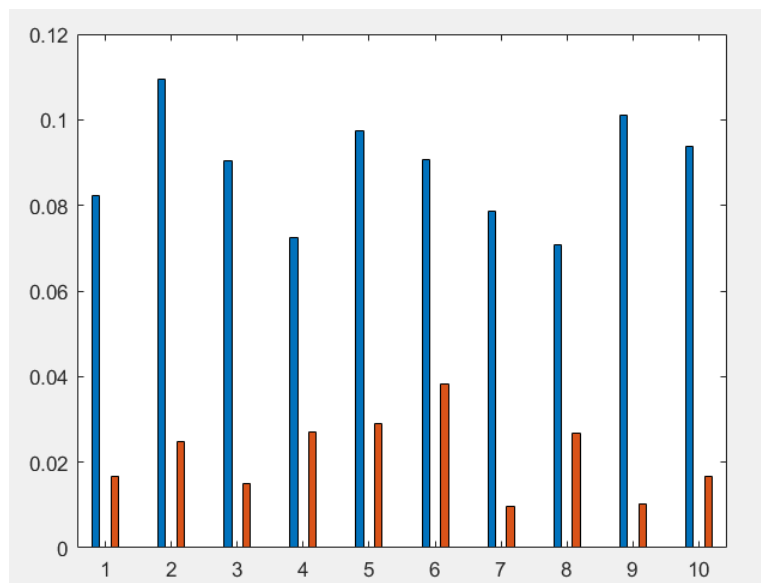
Slika 2. Prstenasto napajanje potrošačkog konzuma

5.3. Komparacija vrijednosti parametra SAIDI za dva analizirana slučaja

U ovom podpoglavlju je ukratko analizirana razlika u vrijednostima proučavanog parametra SAIDI kada se posmatrani sistem napaja radijalno (Slučaj I) i kada se napaja prstenasto (Slučaj II). U obzir je uzeto 10 000 simulacija u programu, pri čemu je vršeno 10 iteracija za svaki slučaj ponaosob, a rezultati proračuna parametra SAIDI su dati u Tabeli I i u vidu grafikona na Slici 3, respektivno.

Tabela 1 – Proračunate vrijednosti SAIDI parametra u 10 iteracija

Konfiguracija	Radijalno napajanje	Prstenasto napajanje
SAIDI [min/potrošač]	0.0822	0.0168
	0.1095	0.0247
	0.0904	0.0151
	0.0724	0.0270
	0.0974	0.0290
	0.0906	0.0384
	0.0787	0.0096
	0.0708	0.0267
	0.1010	0.0103
	0.0937	0.0168



Slika 3. Komparacija vrijednosti parametra SAIDI u slučaju radijalnog (plava) i prstenastog napajanja (crvena)

Pokazatelj SAIDI, kao što je već rečeno, predstavlja indeks prosječnog trajanja prekida sistema i mjeri se u jedinicama vremena, često satima ili minutima (kao u ovom radu) i obično se mjeri na godišnjem nivou. Ono što se moglo očekivati nakon proračuna jeste da će ovaj parametar imati značajno manju vrijednost u drugom slučaju, kada se sistem napaja prstenasto. To bi značilo da u slučaju prekida sistema, postoji rezervno napajanje koje će smanjiti vrijeme trajanja prekida napajanja potrošača i samim tim pozitivno uticati na pouzdanost posmatranog sistema.

Takođe, može se primijetiti da je u svakoj iteraciji drugačija vrijednost proučavanog parametra. Razlog ove pojave jeste što se u programu koristila random funkcija, kao osnovna funkcija karakteristična za Monte Karlo metodu, koja je generisala vrijednosti u opsegu od 0 do 1 i na osnovu toga se kao krajnji rezultat proračunavao SAIDI parametar.

Pouzdanost isporuke električne energije se smatra najvažnijom komponentom kvaliteta električne energije i aktivnosti elektrodistributivnog sistema se moraju razvijati u tom smislu da broj prekida bude što manji, a vrijeme prekida u napajanju što kraće.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan proračun parametra pouzdanosti SAIDI primjenom Monte Karlo simulacije, kao naprednijoj tehnici praćenja pouzdanosti elementa ili sistema, prilikom njegovog ispada ili pojačanja sistema u smislu pouzdanosti. Monte Karlo simulacija je s razvojem tehnologije donijela brojne beneficije po pitanju analize pouzdanosti složenijih mreža, što je primjenom analitičkih metoda bilo poprilično teško ili gotovo nemoguće realizovati.

Pouzdanost i indeksi pouzdanosti su veoma važni faktori u periodu pripreme pogona kao i u procesu planiranja elektroenergetskog sistema, jer predstavljaju pokazatelje u slučaju otkrivanja oblasti ranjivog protoka energije i potrebe pojačanja sistema. Parametar SAIDI proučavan u ovom radu, kao i ostali navedeni parametri, su od velikog značaja jer se mogu koristiti da predvide pouzdanost sistema u budućnosti, a isto tako da opišu pouzdanost sistema u prošlom vremenu.

U radu je posmatran dio elektrodistributivne mreže za koju je izvršen proračun parametra SAIDI i to u dva karakteristična slučaja – kada se potrošač napaja radijalno i kada je konfiguracija tog dijela mreže prstenasta. Analizirane su mjere poboljšanja, u konkretnom slučaju uticaj prstenastog napajanja potrošača na vrijednost parametra SAIDI, što se može i zaključiti dobijenim rezultatima iz simulacije i komparacijom ova dva analizirana slučaja. Dakle, ispostavlja se da je vrijednost proučavanog parametra bila manja u drugom slučaju, kada se konzum napaja prstenasto, što se i očekivalo, jer se na taj način smanjuje vrijeme trajanja prekida napajanja potrošača električnom energijom i poboljšava pouzdanost analiziranog sistema.

Na osnovu rezultata simulacije donešen je zaključak da je svakako pojačavanjem mreže, u vidu dodavanja rezervnih elemenata u sistemu poput vodova, sabirnica itd, značajno poboljšana pouzdanost sistema i time omogućeno kvalitetno napajanje potrošača električnom energijom, što je i glavni predmet interesovanja ovog rada (8).

U daljim istraživanjima se može razmatrati mogućnost proračuna ostalih parametara pouzdanosti poput SAIFI, CAIFI, ENS itd primjenom Monte Carlo simulacije, za potrebe proučavanja uticaja različitih konfiguracija elektridistributivnih mreža na navedene parametre pouzdanosti, a sve u cilju analize pouzdanosti posmatranog sistema.

7. LITERATURA

1. Vukčević M, Radulović V, 2019, "Određivanje i analiza parametara pouzdanosti u elektroenergetskim mrežama", "Crnogorski komitet međunarodnog vijeća za velike električne mreže - CIGRE", 2
2. Nahman J. M, 1992, "Metode analize pouzdanosti elektroenergetskih sistema", "Naučna knjiga", 133
3. Mijajlović M, Milčić D, 2005, "Primena Monte – Carlo simulacije u analizi pouzdanosti sistema", "12th Symposium on thermal science and engineering of SCG"
4. Mikuličić V, Šimić Z, 1995, "Modeli pouzdanosti, raspoloživosti i rizika u elektroenergetskom sustavu 1. dio - Analitičke metode proračuna pouzdanosti i raspoloživosti, "Kigen doo"
5. Komen V, "Pouzdanost Elektroenergetskih mreža"
6. Uskoković Z, Stanković Lj, Đurović I, 1998, "Matlab for windows"
7. Kovački N, 2017, "Operativno planiranje rekonfiguracije distributivnih mreža primenom višekriterijumske optimizacije", 10
8. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, "Power system planning and maintenance", The second laboratory work