



UPRAVLJANJE NEPLANIRANIM ISPADIMA U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

UNPLANNED OUTAGE MANAGEMENT IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS

Aleksandra Tešić, Vladan Krsman, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su obrađeni tipični procesi upravljanja neplaniranim ispadima koji su posljedica trajnih kvarova u radijalnim distributivnim mrežama u normalnim uslovima. Prikazane su razlike između upravljanja neplaniranim ispadima u neautomatizovanim i automatizovanim distributivnim mrežama. Dat je osvrt na prednosti koje se dobijaju automatizacijom distributivne mreže.

Ključne riječi: Neplanirani ispad, Distributivna mreža, Proces upravljanja

Abstract – This paper describes typical business processes for managing unplanned outages due to permanent faults in radial distribution networks under normal conditions. Differences between managing unplanned outages in non-automated and automated distribution networks are presented. A review of the benefits obtained from automatization of the distribution network is given.

Keywords: Unplanned outage, Distribution network, Business process

1. UVOD

Elektroenergetski sistem je složen tehnički sistem koji se bavi proizvodnjom, prenosom, distribucijom i potrošnjom električne energije, odnosno u okviru koga se vrše elektroenergetske transformacije iz električne energije ili u električnu energiju, njene unutrašnje transformacije, prenos i distribucija [1]. Kao dio elektroenergetskog sistema, elektrodistributivni sistem ima zadatak da raspodijeli i distribuira električnu energiju, od napojnih transformatorskih stanica do svakog potrošača.

Elektrodistributivni sistem, odnosno distributivnu električnu mrežu čine elektroenergetski objekti putem kojih se vrši distribucija električne energije do krajnjih potrošača. Distributivna mreža mora da bude izgrađena tako da i pri najvećim opterećenjima može da obavlja svoju funkciju, te da bude otporna na kvarove i poremećaje, odnosno da ih dovoljno brzo eliminiše i smanji trajanje prekida napajanja što je moguće više. To se postiže optimalnim upravljanjem naponskim prilikama, opterećenjima elemenata i gubicima u distributivnom sistemu, a takođe i uspostavljanjem preduzeća koja će biti zadužena za distribuciju električne energije. Ta preduzeća su distributivna preduzeća.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Vladan Krsman, docent.

2. ORGANIZACIJA DISTRIBUTIVNOG PREDUZEĆA

Distributivna preduzeća se najčešće sastoje od slijedećih dijelova: kontrolni centar, departman za planiranje i investicije, departman za organizaciju posada, departman za odnose sa potrošačima i departman za informaciono-komunikacione tehnologije.

Kontrolni centar je glavni dio svakog distributivnog preduzeća. Kontrolna soba je operativni dio kontrolnog centra u kome se vrši nadzor i upravljanje svim aktivnostima u velikim distributivnim mrežama [2]. Kontrolna soba je uglavnom opremljena kontrolnim pločama i aplikacijama za praćenje, kontrolu i upravljanje distributivnom mrežom.

U svakodnevnim aktivnostima distributivnog preduzeća učestvuju nekoliko tipičnih korisnika, koji se mogu klasifikovati na: operatore – odgovorne za upravljanje mrežom, analizu primljenih promjena u polju, praćenje i kontrolisanje telemetrisanih tačaka u sistemu, donošenje odluka u oblastima za koje su nadležni da bi sistem bio siguran i pouzdan i da bi se obezbijedila sigurnost ekipa na terenu; dispečere – odgovorne za raspoređivanje i slanje posada na teren; osoblje na terenu – razne ekipe odgovorne za popravke ili održavanje mreže u polju.

3. ELEMENTARNE KARAKTERISTIKE DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Distributivne mreže su konstruisane i planirane tako da se napajanje vrši u smjeru iz napojne transformatorske stanice VN/SN ka individualnim potrošačima, preko monofaznih, dvofaznih i trofaznih vodova. Vodovi povezuju napojnu transformatorsku stanicu VN/SN (110/35 kV/kV, 110/20 kV/kV, 110/10 kV/kV), sa transformatorskim stanicama SN/NN (35/0.4 kV/kV, 20/0.4 kV/kV, 10/0.4 kV/kV). Napajanje krajnjih potrošača na NN dijelu mreže se takođe vrši putem nadzemnih ili kablovskih vodova [2].

Svaki SN izvod na svom početku, odnosno u napojnoj TS VN/SN ima izvodni prekidač i relejnu zaštitu. Glavni zadatak izvodnih prekidača je da provode radne struje u svakodnevnom radu i da u kombinaciji sa zaštitnim relejom prekinu struju kvara ako se kratak spoj desi negdje na izvodu. U slučaju kvara u distributivnoj mreži, izvodni prekidači imaju zadatak da lokalizuju kvar, tako da što je moguće manje korisnika ostane bez napajanja. Većina kvarova na nadzemnim vodovima imaju prolazni karakter. Zbog toga se ugrađuju prekidači sa automatskim ponovnim uključanjem (APU, eng. *recloser*). Oni obez-

bjeđuju da nakon prekidanja struje kvara prekidač čeka neko predefinisano vrijeme i poslije toga se ponovo zatvara. Ako je kvar prolazan, prekidač ostaje u zatvorenom položaju (izvod je napojen i nikakvi dalji koraci nisu potrebni). Međutim, ako je kvar i dalje prisutan prekidač će ponovo prekinuti struju kvara, ostati otvoren neko vrijeme i ponovo se zatvoriti pod dejstvom APU.

Ako je i posle ovoga kvar još uvek prisutan prekidač će se otvoriti i ostati u tom položaju. Izvodni prekidači su najčešće telemetrisani, odnosno pod SCADA-om (eng. *Supervisory Control and Data Acquisition* – sistem za mjerenje, praćenje i kontrolu industrijskih sistema).

Linijski prekidači koji se nalaze duž izvoda su veoma često pod SCADA-om, dok osigurači koji štite TS SN/NN nisu pod SCADA-om, kao ni osigurači u NN dijelu distributivne mreže. SCADA prikuplja informacije sa elemenata u distributivnoj mreži, čime se omogućava praćenje stanja distributivne mreže u realnom vremenu i donošenje odluka u skladu sa trenutnim stanjem distributivne mreže.

4. ISPAD I U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Neplanirani ispadi u elektrodistributivnim mrežama su najčešće posljedica kvarova u mreži koji uzrokuju otvaranje rasklopnih uređaja. Kvarovi mogu biti posljedica starosti ili neispravnosti opreme, električnih ili mehaničkih naprezanja, ali mogu biti uzrokovani i uticajima aktivnosti ljudi ili životinja, spoljašnjim faktorima kao što su vegetacija ili vremenski uslovi. S obzirom na to da su distributivne mreže uglavnom radijalne strukture, svaki ispad u mreži uzrokuje prekid isporuke električne energije potrošačima i to rezultuje neplaniranim ispadom. Distributivna preduzeća su u obavezi da u što kraćem vremenskom roku poprave kvar u mreži i da vrate napajanje potrošačima.

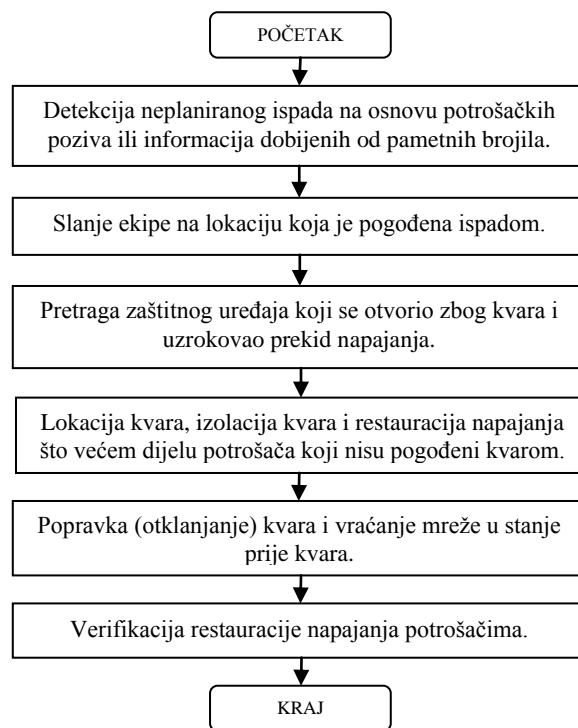
U kablovskim mrežama uzrok kvarova je najčešće starenje vodova, pojava i širenje parcijalnih pražnjenja u izolaciji kao i kidanje kablovskih vodova uslijed radova građevinskih mašina. Kvarovi u kablovskim mrežama su najčešće trajne prirode i zbog toga se ne mogu otkloniti korišćenjem prekidača sa APU [2].

U nadzemnim mrežama najčešći uzroci kvarova su naleti ptica, narasla vegetacija, atmosferska pražnjenja, zagađenost atmosfere, kidanje užadi usljed dodatnog opterećenja, vandalizam, starenje materijala od koga je napravljen vod i slično. Velika većina ovih kvarova je prolaznog karaktera.

U distributivnim preduzećima se razlikuje proces upravljanja neplaniranim ispadima, koji su posljedica trajnih kvarova, na neautomatizovanom dijelu distributivne mreže i proces upravljanja neplaniranim ispadima, koji su posljedica trajnih kvarova, na automatizovanom dijelu distributivne mreže.

5. NEPLANIRANI ISPAD U DUBINI MREŽE

Neplanirani ispad u dubini mreže je posljedica trajnog kvara koji nije uspješno eliminisan prekidačem sa APU.



Slika 5.1 – Algoritam upravljanja neplaniranim ispadom u dubini mreže

Na slici 5.1 prikazan je algoritam po kome se vrši upravljanje neplaniranim ispadom u dubini mreže, od detekcije samog ispada, preko otklanjanja kvara koji je prouzrokovao ispad, pa do vraćanja mreže u stanje prije kvara i verifikacije restauracije napajanja potrošačima.

Prvi korak u procesu upravljanja neplaniranim ispadom u dubini mreže je sama detekcija ispada. Pošto se radi o ispadu na netelemetrisanom uređaju, prve informacije o samom postojanju ispada se dobijaju preko korisničkih poziva. Ukoliko distributivno preduzeće koristi naprednu mjernu infrastrukturu (eng. *Advanced Metering Infrastructure* – AMI), informacije o ispadu se mogu dobiti i preko pametnih brojlja. Nakon detekcije ispada, procjenom lokacija sa kojih su prijavljeni pozivi ili na kojima se nalaze pametna brojlja, sistem može da odredi zaštitni uređaj koji se otvorio i uzrokovao prekid napajanja [3]. U sistemu se automatski kreira incident (softverski entitet) na zaštitnom uređaju, koji sadrži sve informacije o ispadu koje su potrebne operatoru u svrhu lakšeg dispečinga.

Operator u kontrolnoj sobi ima uvid u incidente koji trenutno postoje u sistemu. Nakon detekcije novog incidenta u sistemu, pristupa se njegovoj analizi. Operator vrši dodjelu najbliže ekipe koja ima vještine potrebne za detektovani tip ispada i obavještava ekipu da je potrebno da pristupe lokaciji na kojoj se desio ispad [4].

Nakon što ekipa stigne na lokaciju, vrši se provjera statusa zaštitnog uređaja. Ako je uređaj otvoren, incident se potvrđuje. Ako je uređaj zatvoren, ekipa traži novi zaštitni uređaj koji se otvorio i uzrokovao ispad, odnosno prekid napajanja. Suštinski, to je prvi korak koji ekipa mora da izvrši - da ustanovi koji zaštitni uređaj je otvoren. Drugi korak je pronalaženje same lokacije kvara, odnosno neispravne opreme. Nakon lokacije kvara, ekipa na osnovu instrukcija dobijenih od operatora vrši izolaciju

kvara otvaranjem rastavljača snage kako bi se odvojio dio mreže na kome je kvar. Zatim se vrši vraćanje napajanja dijelu mreže koji nije pogođen kvarom, kako bi se u što kraćem vremenskom roku vratilo napajanje što većem broju potrošača, preko alternativnih izvora - zatvaranjem normalno otvorenih rastavljača snage ka drugim izvodima. Nakon restauracije napajanja potrošačima koji se nalaze u dijelu izvoda koji nije pogođen kvarom, ekipa popravljiva kvar i oblast u mreži se vraća u normalno stanje, odnosno stanje koje je bilo prije kvara. Ukoliko ekipa nema potrebnu opremu da bi se otklonio kvar, operator mora angažovati neki spoljni departman, npr. departman za planiranje i investicije kako bi se izvršila zamjena opreme u polju.

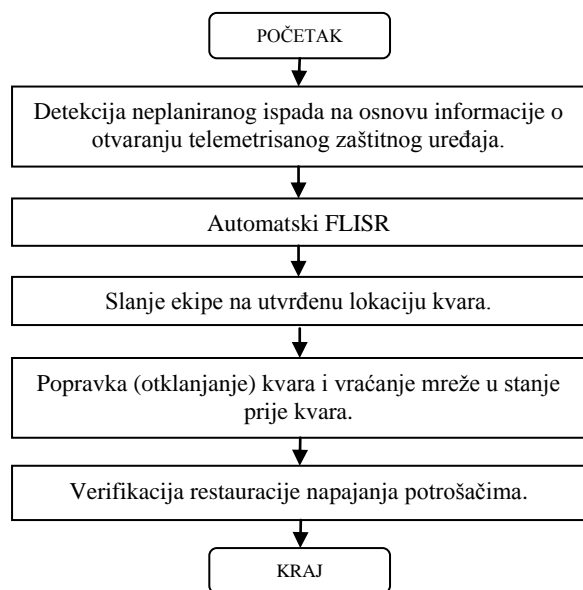
Kada se obnovi napajanje, potrebno je proći postupak verifikacije restauracije napajanja potrošača. Ta provjera se može sprovesti na dva načina:

- Preko telefonskog poziva – agenti u korisničkom centru pozivaju pojedinačne potrošače i pitaju da li im je vraćeno napajanje. Potrošači ili potvrđuju da im je napajanje vraćeno ili prijavljuju da su još uvijek bez napajanja.
- Preko pametnih brojlila – u distributivnim preduzećima sa AMI sistemom moguće je preko statusa pametnih brojlila pojedinačnih potrošača provjeriti da li im je vraćeno napajanje.

Kada je sav rad u polju završen i verifikovana restauracija napajanja, operator zatvara incident, koji se nakon toga smješta u bazu podataka odakle se može koristiti za potrebe raznih dnevnih, mjesečnih i godišnjih izvještaja.

6. NEPLANIRANI ISPAD NA AUTOMATIZOVANOM DIJELU MREŽE

Neplanirani ispad na automatizovanom dijelu mreže je takođe posljedica trajnog kvara koji nije uspješno eliminisan prekidačem sa APU.



Slika 6.1 – Algoritam upravljanja neplaniranim ispadom u automatizovanom dijelu mreže

Na slici 6.1 prikazan je algoritam po kome se vrši upravljanje neplaniranim ispadom u automatizovanom

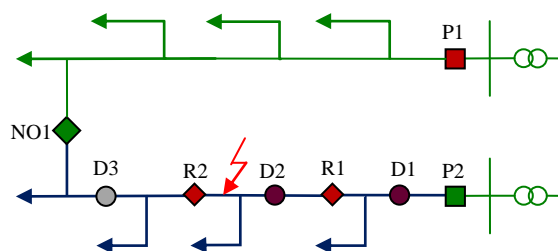
dijelu mreže, od detekcije ispada, preko izvršavanja automatskog FLISR-a (eng. *Fault Location, Isolation and Service Restoration* - proces lokacije kvara, izolacije dijela mreže na kome je kvar i restauracije napajanja dijelu mreže koji nije pogođen kvarom) i otklanjanja kvara, do vraćanja mreže u stanje prije kvara i verifikacije restauracije napajanja potrošačima.

Ukoliko su uređaji u napojnoj transformatorskoj stanici telemetrisani, kada se izvodni prekidač otvori uslijed kvara, ta informacija je odmah dostupna operatoru u kontrolnom centru. Nakon detekcije ispada, odnosno informacije da se desio neplanirani ispad na telemetrisanom izvodnom prekidaču, sistem automatski kreira incident [4].

S obzirom na to da otvaranjem izvodnog prekidača veliki broj potrošača ostaje bez napajanja, distributivnom preduzeću je u cilju da se vrijeme trajanja prekida napajanja smanji što je moguće više. Nakon detekcije ispada, vrši se lokacija kvara. Za lokaciju kvara se mogu koristiti mnogobrojni savremeni uređaji, a neki od njih su [2]:

- Detektori kvara – uređaji koji daju informaciju o tome da li je struja kvara protekla vodom na kome se nalazi detektor kvara. U slučaju naglog povećanja struje uzrokovanog kvarom, detektor se aktivira.
- Snimači kvara – uređaji čija je uloga da izmjere vrijednosti napona i struje kvara.

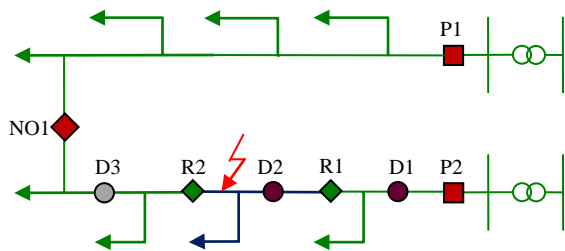
Ukoliko su detektori i snimači kvara telemetrisani, operator ima sve potrebne informacije da izvrši lokaciju kvara pokretanjem odgovarajuće softverske funkcije. Ulazni parametar za funkciju je zaštitni uređaj koji se otvorio uslijed kvara na šticeom dijelu mreže. Na osnovu statusa detektora kvara i vrijednosti napona i struja izmjerenih pomoću snimača kvara, kao i podataka o topologiji mreže, moguće je odrediti lokaciju kvara. Dodatno, operator ima mogućnost i ručnog unošenja dodatnih podataka koji mogu biti od koristi. Glavni cilj funkcije za lokaciju kvara je određivanje minimalnog skupa dijelova izvoda na kojima se pretpostavlja da je došlo do kvara, kao i procenta za svaki dio izvoda koji pokazuje kolika je vjerovatnoća da se kvar desio baš na tom dijelu. Što je veći broj detektora kvarova u mreži, rezultati funkcije će biti precizniji. Rezultati funkcije se mogu koristiti kao pomoć ekipama na terenu da brže lociraju kvar ili u automatskoj lokaciji kvara, praćenom automatskom izolacijom dijela mreže na kome se desio kvar i restauracijom napajanja preostalim dijelom mreže koji nije pogođen kvarom.



Slika 6.2 – Distributivna mreža sa kvarom na dijelu izvoda

Prilikom kvara na sekciji izvoda kao na slici 6.2, pod uticajem struje kvara aktivirani su detektori kvara D1 i D2. Pošto je kvar trajne prirode, prekidač P2 se otvorio i ostao u tom položaju, čime je uzrokovan prekid napajanja na dijelu izvoda ispod njega. Na osnovu aktiviranih detektora kvara, rezultat lokacije kvara je upravo sekcija izvoda na kojoj se desio kvar. U narednom koraku potrebno je izvršiti izolaciju tog dijela izvoda. To se omogućava otvaranjem rastavljača snage. Ukoliko su oni telemetrisani, otvaranje se može izvršiti direktno iz kontrolnog centra, a u suprotnom se mora poslati ekipa na teren koja će izvršiti potrebne akcije. Pošto je dio mreže razmatran u ovom primjeru telemetrisan, otvaranje rastavljača snage R1 i R2 se vrši automatski, bez potrebe za slanjem ekipa na teren.

Nakon izolacije dijela izvoda na kome se desio kvar, može se vratiti napajanje potrošačima koji se nalaze u zdravom dijelu izvoda, zatvaranjem normalno otvorenih rastavljača snage ka drugim izvodima. Skup uređaja čijim će se zatvaranjem vratiti napajanje svim dijelovima izvoda bez kvara se može dobiti pomoću funkcije za restauraciju napajanja. Ulazni podaci za funkciju su elementi, odnosno dijelovi izvoda kojima je potrebno vratiti napajanje i dijelovi izvoda koji moraju ostati bez napajanja, odnosno dijelovi izvoda na kojima je kvar. Funkcija prilikom traženja uređaja čijim će se zatvaranjem vratiti napajanje dijelovima izvoda može uzeti u obzir i potencijalna preopterećenja izvoda koji se koriste kao alternativni izvor napajanja, kao i preopterećenja zdravih dijelova izvoda kojima se vraća napajanje. Predloženi skup akcija se može izvršiti automatski, u slučaju da su predloženi uređaji telemetrisani, ili ručno – slanjem ekipa na teren. S obzirom na to da je dio distributivne mreže koji se razmatra u ovom primjeru telemetrisan, automatski se vrši zatvaranje normalno otvorenog rastavljača NO1 i prekidača P2.



Slika 6.3 - Distributivna mreža nakon izvršenog automatskog FLISR-a

Na slici 6.3 je prikazan izgled distributivne mreže nakon izvršenog automatskog FLISR-a. Potrošači koji su bez napajanja su samo oni potrošači koji se nalaze između rastavljača snage R1 i R2. Nakon izvršenog automatskog FLISR-a, operator šalje ekipu na utvrđenu lokaciju na kojoj se desio kvar. Ekipa treba da pristupi lokaciji na kojoj je utvrđeno da je kvar, da otkrije uzrok kvara i da pristupi njegovom otklanjanju. Ako ekipa ne može da izvrši popravku kvara, operator će inicirati zahtjev departmanu za planiranje i investicije, kako bi se izvršila zamjena opreme koja je u kvaru. Kada je kvar otklonjen, mreža se vraća u normalno stanje, odnosno stanje koje je bilo prije kvara.

Nakon što je obnovljeno napajanje, vrši se postupak verifikacije restauracije napajanja potrošača. Kada je utvrđeno da je svim potrošačima vraćeno napajanje, operator zatvara incident koji se zatim smješta u bazu podataka, odakle je dostupan za potrebe raznih izvještaja.

7. ZAKLJUČAK

Distributivna preduzeća u svakodnevnim aktivnostima obavljaju odgovarajuće procese upravljanja neplaniranim aktivnostima. Svi članovi osoblja distributivnog preduzeća imaju odgovarajuće uloge u tim procesima.

U slučaju da je distributivna mreža neautomatizovana i ukoliko se ne koriste napredna tehnička rješenja, u procesu upravljanja neplaniranim ispadom lokacija kvara traje jako dugo – nekoliko sati, pa čak i do 24h. Prije same lokacije kvara, ekipe na terenu moraju da pronađu zaštitni uređaj koji se otvorio i uzrokovao prekid napajanja, što takođe može da potraje ukoliko je dio mreže pogođen ispadom veliki. Za to vrijeme potrošači ostaju bez napajanja. Da bi se trajanje prekida napajanja potrošača smanjilo, koriste se napredna tehnička rješenja. Jedno od njih je i automatizacija distributivne mreže, pod kojom se podrazumijeva primjena SCADA sistema i softvera za upravljanje distributivnom mrežom – DMS (eng. *Distribution Management System*) u distributivnim preduzećima, sa daljinskom kontrolom svih napojnih transformatorskih stanica VN/SN i RTU (eng. *remote terminal units*) kod telemetrisanih SN prekidača i detektora kvara u dijelu distributivne mreže (10-20% od ukupne opreme) [5].

Upotrebom naprednih tehničkih rješenja se olakšava i ubrzava upravljanje pomenutim procesima, što se direktno odražava na profitabilnost distributivnog preduzeća.

8. LITERATURA

- [1] Vladimir Strezoski: *Osnovi elektroenergetike*, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2014.
- [2] Miroslav Nimrihter: *Elektrodistributivni sistemi*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [3] Stuart Borlase: *Smart Grids: Infrastructure, Technology and Solutions*, Taylor & Francis Group, LCC, Boca Raton, Florida, 2013.
- [4] Vladan Krsman, Pisani materijal, Novi Sad, 2016.
- [5] Nenad Katic: *Menadžment sistemi u elektroenergetici DMS*, skripta, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

Kratka biografija:

Aleksandra Tešić rođena je u Tuzli 1992. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranila je 2016. godine.

Vladan Krsman rođen je u Sarajevu 1985. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je 2017. godine na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektroenergetski sistemi.