

MEHANIČKA ISPITIVANJA POUZDANOSTI MEHANIZMA ZA DVOSTRUKO KRETANJE KONTAKATA VN PREKIDAČA

MECHANICAL RELIABILITY TESTS OF DOUBLE MOTION MECHANISM OF HV CIRCUIT BREAKER

Amer Smajkić^{1,3}, Myoung Hoo Kim², Mahir Muratović^{1,3}, Armin Hajdarović¹, Rasim Gačanović³

Sažetak: Prekidač u visokonaponskom električnom postrojenju je središnji element. Sigurnost sklopnih operacija, a time i opća sigurnost električnog postrojenja, direktno je povezana s pouzdanošću rada prekidača. Prekidači naponskih nivoa iznad 123 kV, koji imaju jedan prekidni element po polu, uglavnom su opremljeni mehanizmom za dvostruko kretanje kontakata u cilju postizanja potrebnih brzina. S obzirom da se ovaj mehanizam nalazi unutar prekidnog elementa, veoma je važna njegova visoka mehanička pouzdanost. U radu je ukratko predstavljen princip rada mehanizma za dvostruko kretanje kontakata, koji je primijenjen na modelu prekidača 420 kV, te je data metodologija testiranja mehaničke pouzdanosti tog mehanizma. Tokom ispitivanja istovremeno su vršena mjerenja i snimanja kretanja oba kontakata, a zatim je izvršena usporedna analiza rezultata dobivenih mjerenjima s rezultatima računarskih simulacija kretanja kontakata. Na kraju, predstavljeni su rezultati ispitivanja mehaničke pouzdanosti mehanizma, na temelju kojih su izvršene korekcije dizajna u cilju optimizacije samog mehanizma.

Ključne riječi: visokonaponski prekidač, dvostruko kretanje kontakata, mehanička ispitivanja, pouzdanost, simulacija

Abstract: Circuit breaker is a central element in electric substations. Safe switching operations, and hence the overall safety of the electrical system, is directly related to the reliability of the circuit breaker. Circuit breakers for voltage levels above 123 kV, with one breaker per pole, are usually equipped with a double motion mechanism for the purpose of achieving the necessary speed. Since the mechanism is installed within the interrupter unit of the circuit breaker, a very high mechanical reliability of the mechanism is of utmost importance. This paper presents the working principle of the double motion mechanism which is applied on a model of a 420 kV circuit breaker, as well as the methodology of mechanical reliability tests of the mechanism. Simultaneous measurements and recordings of travel of both contacts were carried out during the tests and the obtained results were used for comparative analysis with calculation results of contact travels. The paper concludes with the results of mechanical reliability tests, on the basis of changes made in order to optimize the design of the mechanism itself.

Keywords: high voltage circuit breaker, double motion, mechanical tests, reliability, simulation

UVOD

Budući da je prekidač posljednja karika u lancu sistema zaštite, njegova pouzdanost je od presudnog značaja za pouzdanost cijelog elektroenergetskog sistema. [1]. Visokonaponski prekidači vrlo su pouzdane komponente koje trebaju obaviti hiljade *CO* (uklop - isklop) operacija bez kvara [2].

U cilju postizanja potrebnih brzina, za više naponske nivoe uobičajena je upotreba mehanizama za dvostruko kretanje kontakata. Osnovni nedostatak ovog mehanizma je dosta složen mehanički interfejs koji povezuje kontakte i nalazi se u prekidnoj komori prekidača, te mu je teško pri-

stupiti. Također, povećava se broj elemenata u kinematskom lancu, a kako je većina kvarova na prekidačima mehaničke prirode, smanjuje se pouzdanost rada prekidača [3]. Standard IEC 62271-100, da bi prekidač zadovoljio klasu M2, traži 10.000 *CO* operacija bez kvara [4].

To je razlog zašto je neophodno posebnu pažnju posvetiti pouzdanosti ovog mehanizma na nizu mehaničkih ispitivanja u odgovarajućoj laboratoriji. Ispitivanja su vršena u tri ciklusa, u kojima su postepeno povećavana naprezanja mehanizma za dvostruko kretanje kontakata.

1. PRINCIP RADA PRIMIJENJENOG MEHANIZMA ZA DVOSTRUKO KRETANJE KONTAKATA

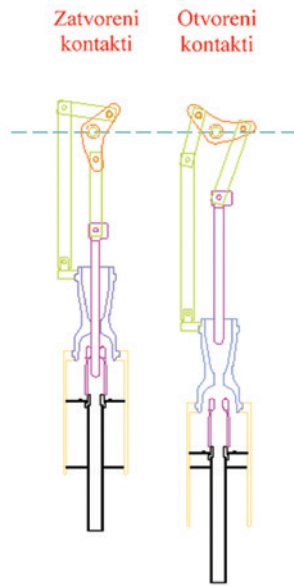
Da bi se izbjegli mehanički udarci u trenutku pokretanja drugog lučnog kontakta, razvijen je mehanizam koji fiksno povezuje drugi lučni kontakt s izolacionom mlaznicom, koja je dalje povezana s glavnim kontaktom.

¹ EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo, Bosna i Hercegovina
amer.smajkic@energobos.com

² ILJIN Electric Co Ltd., R. Korea

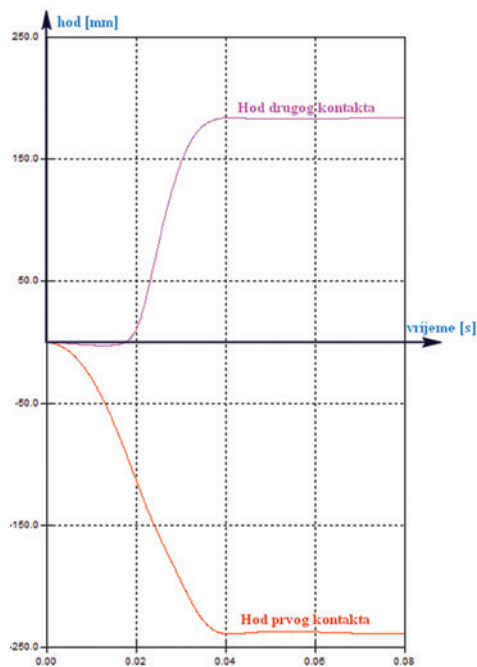
³ Elektrotehnički fakultet Sarajevo, Bosna i Hercegovina
Rad dostavljen: juni 2015. Rad prihvaćen: septembar 2015.

Izgled ovog mehanizma u uklopljenom i iskllopljenom položaju prikazan je na Slici 1 [3].



Slika 1: Ilustracija prekidača s mehanizmom za dvostruko kretanje kontakata

Pravilnim izborom dužina poluga postiže se da drugi kontakt počne svoje kretanje tek nakon što prvi kontakt pređe određeni hod tj. nakon što dođe do razdvajanja kontakata. Hodogrami kontakata prikazani su na Slici 2.



Slika 2: Hodogrami prvog i drugog kontakta

2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA POUZDANOSTI MEHANIZMA ZA DVOSTRUKO KRETANJE KONTAKATA

Na Slici 3 prikazan je ispitni model prekidača s mehanizmom za dvostruko kretanje kontakata tokom mehaničkih ispitivanja u laboratoriji. Budući da je svrha ispitivanja dokazivanje mehaničke pouzdanosti, u cilju minimiziranja

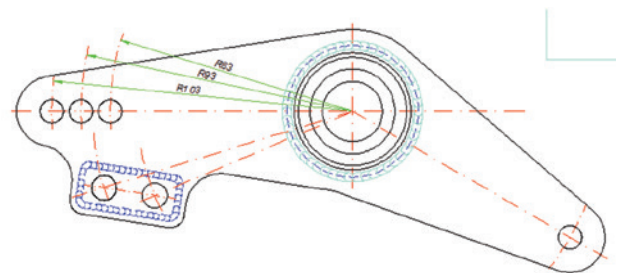
troškova, model je izrađen bez kompresionog cilindra, bez plašta, te samim tim nije napunjen SF6 gasom.



Slika 3: Ispitni model prekidača s mehanizmom za dvostruko kretanje kontakata

Ispitivanje je podjeljeno u tri ciklusa kojima su postepeno povećavana naprezanja na mehanizam za dvostruko kretanje. Da bi se dobilo postepeno povećanje napreznja, izbušene su tri rupe na poluzi mehanizma. Ovisno o tome na koju se rupu izvrši montaža veze s lučnim kontaktom postižu se različiti hodogrami i brzine, a proporcionalno i različita naprezanja na ovaj mehanizam.

Rupe su urezane na krakovima od 83, 93 i 103 mm od centra poluge, pri čemu se postižu hodovi drugog lučnog kontakta od 140, 160, 180 mm respektivno. Izgled ove poluge prikazan je na Slici 4.



Slika 4: Pozicije rupa na dvokrakoj poluzi mehanizma za dvostruko kretanje kontakata

Za sva tri ciklusa ispitivanja postepeno je povećavana brzina isklopa od 6 do 9 m/s koracima od po 0.5 m/s, pri čemu je za svaku brzinu izvršeno po 10 CO operacija, dok je za brzinu od 9 m/s rađeno po 100 CO operacija. Nakon svake faze ispitivanja obavljena je demontaža kompletnog mehanizma i vizuelni pregled svih dijelova. Sve operacije su snimane linearnim enkoderima na oba kontakta.

3. OPAŽANJA TOKOM ISPITIVANJA I IZMJENE U DIZAJNU

Ispitivanje je započeto s najmanjim naprezanjima, na kraku 83 mm i hodu lučnog kontakta od 140 mm. Prva varijanta ovog mehanizma prikazana je na Slici 5.

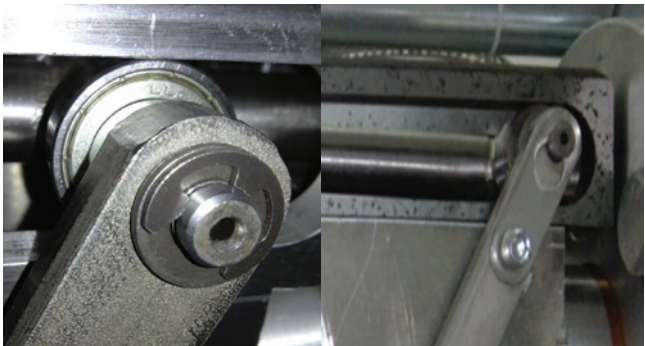


Slika 5: Prva varijanta mehanizma za dvostruko kretanje kontakata

Tokom postepenog povećanja brzine isklopa, proporcionalno su rasla i naprezanja na pojedine dijelove mehanizma, te je usljed toga dolazilo i do nekih kvarova.

Prvi značajniji problem, koji je uočen, je ispadanje sigurnosnog prstena s jedne osovinice što može uzrokovati velike probleme ukoliko se desi unutar realnog, gasom SF6 izolovanog prekidača.

U cilju eliminacije mogućnosti ponovne pojave ovog problema, urađeno je novo rješenje koje koristi pločice umjesto sigurnosnih prstenova. Slika 6 prikazuje sigurnosni prsten koji je ispao iz svoje prvobitne pozicije, kao i novo rješenje sa pločicama.



a) b)

Slika 6: Rješenja učvršćenja poluge mehanizma koristeći: a) sigurnosni prsten, b) pločicu

S obzirom da nisu primijećeni drugi kvarovi na samom mehanizmu tokom prvog ciklusa ispitivanja, pristupilo se demontaži kompletnog mehanizma i reviziji njegovih dijelova. Slika 7 prikazuje sve dijelove mehanizma za dvostruko kretanje kontakata tokom revizije. Uočen je niz nedostataka u dizajnu [5]:

- došlo je do pojave savijanja vođica na pločama (Slika 8),
- uništenje korištenih ležajeva (Slika 9),
- savijanje dvokrake poluge (Slika 10).



Slika 7: Dijelovi mehanizma za dvostruko kretanje kontakata nakon prvog ciklusa ispitivanja



Slika 8: Pojava savijanja vođica na pločama



Slika 9: Uništeni ležaj



Slika 10: Savijanje dvokrake poluge

Prije početka drugog ciklusa ispitivanja bilo je neophodno uraditi određena unapređenja u dizajnu kako bi se otklonili uočeni nedostaci tokom prvog ciklusa ispitivanja. Urađene su sljedeće izmjene [6]:

- umjesto sigurnosnih prstenova koriste se pločice,
- ležajevi su zamijenjeni čahurama,
- gornji dio ploča (vodica) izrađen je od čelika umjesto aluminijuma, te zadebljan za 5 mm,
- dodat je odstožnik kod dvokrakih poluga,
- povećan je prečnik osovinice.

Drugi ciklus ispitivanja rađen je na kraku 93 mm i hodu drugog lučnog kontakta od 160 mm (Slika 11).



Slika 11: Druga varijanta mehanizma za dvostruko kretanje kontakata

Tokom ovog ciklusa ispitivanja došlo je do loma osovinice na dvokrakoj poluzi. Nakon toga redizajnirana je ova osovina tako što je zadebljana na dijelu gdje trpi najveća naprežanja. Slika 12 prikazuje novu i staru izvedbu ove osovinice.



Slika 12: Usporedba nove (lijevo) i stare (desno) izvedbe osovinice

Drugi ciklus ispitivanja uspješno je završen, te se pristupilo demontaži mehanizma za dvostruko kretanje kontakata i inspekciji njegovih dijelova (Slika 13).



Slika 13: Dijelovi mehanizma za dvostruko kretanje kontakata nakon drugog ciklusa ispitivanja

Budući da nisu uočeni nikakvi značajniji nedostaci, za treći ciklus ispitivanja predviđena je samo jedna izmjena i to da kompletne ploče budu izrađene od čelika. Slika 14 prikazuje treću varijantu mehanizma za dvostruko kretanje kontakata.

Ponovljen je postupak ispitivanja po 10 *CO* operacija s brzinama prvog kontakta od 6 - 9 m/s u koracima od po 0.5 m/s.

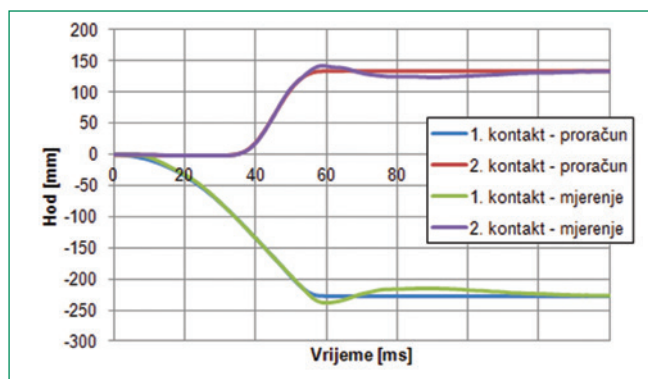


Slika 14: Treća varijanta mehanizma za dvostruko kretanje kontakata

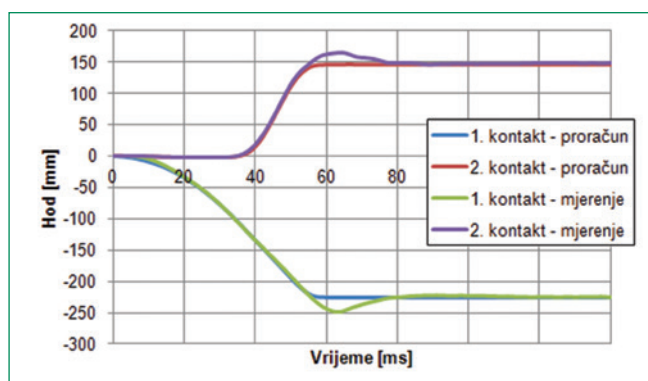
Treći ciklus ispitivanja okončan je bez zabilježenih kvarova na mehanizmu za dvostruko kretanje kontakata, te je ovaj dizajn predložen i kao finalni za ispitivanja koja će uslijediti u laboratoriji velike snage.

4. USPOREDBA MJERENIH I IZRAČUNATIH HODOGRAMA

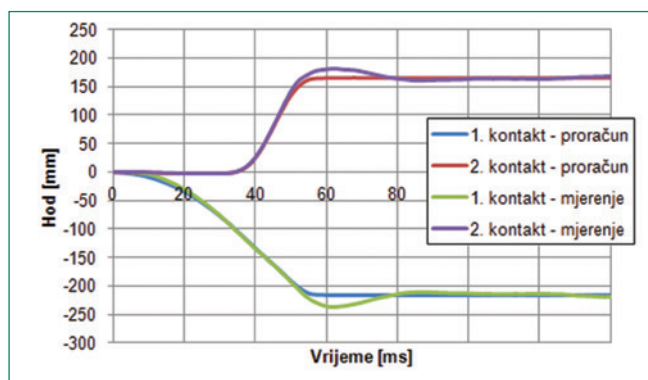
Koristeći EnergoBosov mjerni sistem za istovremeno mjerenje više hodograma [7], vršena su snimanja svih obavljenih operacija. Pored mjerenja hodograma, vršene su i računarske simulacije korišćenjem softvera za simulaciju rada VN SF6 prekidača [8]. Simulacijom je uzeto u obzir da se radi o modelu prekidača bez SF6 gasa i bez kompresionog cilindra. Slika 15, Slika 16 i Slika 17 prikazuju usporedbu mjerenih i izračunatih hodograma prvog i drugog kontakta za sve tri faze ispitivanja.



Slika 15: Usporedba mjerenja i proračuna hodograma prvog i drugog kontakta tokom prvog ciklusa ispitivanja



Slika 16: Usporedba mjerenja i proračuna hodograma prvog i drugog kontakta tokom drugog ciklusa ispitivanja



Slika 17: Usporedba mjerenja i proračuna hodograma prvog i drugog kontakta tokom trećeg ciklusa ispitivanja

Primjetno je dobro slaganje izmjerenih i proračunatih vrijednosti tokom operacije isklopa, osim u završnom dijelu. Problem je posljedica slabe amortizacije, te je i to jedna od stvari koja će biti unaprijeđena promjenom mjesta montaže amortizera. S obzirom da ovo nije problem koji je vezan za sami mehanizam za dvostruko kretanje kontakata, u radu nije detaljno ni razmatran.

5. ZAKLJUČAK

Budući da se mehanizam za dvostruko kretanje kontakata nalazi unutar gasne zone, bilo kakav kvar na mehanizmu bio bi okarakterisan kao veliki kvar, jer je za njegovo otklanjanje neophodno izvršiti evakuaciju gasa SF₆. To je

razlog zašto se pouzdanosti ovoga mehanizma mora posvetiti velika pažnja.

U ovom radu predstavljena je izvedba mehanizma za dvostruko kretanje kontakata koji je primijenjen na modelu prekidača 420 kV. Tokom ispitivanja pouzdanosti ovog mehanizma, koje je provedeno u tri ciklusa, postepeno su povećavana naprezanja kojima je mehanizam izložen. Ukupno je izvršeno više od 700 CO operacija. Uočen je niz nedostataka na početnom dizajnu mehanizma, koji su postepeno otklanjani sve do finalnog dizajna koji će biti korišten za ispitivanja u laboratoriji velike snage.

Osim za unapređenje dizajna samog mehanizma, ova ispitivanja su iskorištena i kako bi se dodatno verificirala računarska simulacija, budući da je ovdje ispitivan specifičan slučaj bez gasa SF₆ i kompresionog cilindra.

LITERATURA

- [1] M. Kapetanović: *High voltage circuit breakers*, ETF Sarajevo, 2011, ISBN 978-9958-629-39-6
- [2] M. Muratović, K. Sokolija, M. Kapetanović: *Modelling of high voltage SF₆ circuit breaker reliability based on Bayesian statistics*, 7th IEEE GCC Conference and Exhibition (GCC), pp. 303 – 308, Doha, 2013.
- [3] A. Smajkić, M. Muratović, M. Kapetanović: *VN prekidači sa dvostrukim kretanjem kontakata – karakteristike i primjena*, 11. Bosanskohercegovačko savjetovanje BH K Cigre, STK A3, R.A3.02., Neum, 2013.
- [4] International Standard IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breaker, Edition 2.0 2008-04.
- [5] *Inspection and photos after first cycle of reliability testing of IDM mechanism*, (neobjavljeno – interni dokument) EnergoBos ILJIN d.o.o Sarajevo, 2015.
- [6] *Preliminary results and analysis after second cycle of reliability testing of IDM mechanism*, (neobjavljeno – interni dokument) EnergoBos ILJIN d.o.o Sarajevo, 2015.
- [7] V. Bećirović, D. Bešlija, A. Smajkić, E. Sokić, M. Kapetanović: *Sistem za istovremeno mjerenje više hodograma u kinematskom lancu VN prekidača*, 12. Bosanskohercegovačko savjetovanje BH K Cigre, STK A3, R.A3.02., Neum, 2015.
- [8] A. Ahmethodžić, M. Kapetanović, Z. Gajić: *Computer Simulation of High Voltage SF₆ Circuit Breakers: Approach to modeling and Application Results*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, No. 4, pp. 1314-1322, August 2011.

BIOGRAFIJE

Amer Smajkić rođen je 1990. godine u Mostaru. Prvi ciklus studija završio je 2011. godine, a drugi ciklus (Master studij) 2013. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu. Na istome fakultetu trenutno je student doktorskoga studija. Zaposlen je u EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo, gdje aktivno radi na projektima razvoja VN prekidača naponskih nivoa 145 kV, 245 kV i 420 kV. Područja interesovanja su mu: razvoj softvera za simulaciju rada VN prekidača, modelovanje i razvoj VN prekidača. Od 2013. godine član je BH K CIGRE.

Myoung Hoo Kim rođen je 1982. godine u Republici Koreji. Prvi ciklus studija završio je 2009. godine na Soongsil

univerzitetu, a drugi ciklus studija 2011. godine na Anyang univerzitetu. Student je doktorskog studija na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu. Od 2011. godine je zaposlen u IJIN Electric Co., Ltd. gdje radi na razvoju VN prekidača naponskih nivoa 145 kV, 245 kV i 420 kV. Područja interesovanja su mu razvoj i ispitivanje VN prekidača, proračun električnih polja i CFD analize.

Mahir Muratović rođen je 1987. godine u Sarajevu. Prvi ciklus studija na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu završio je 2009. godine, a 2011. godine i drugi ciklus studija, master studij. Na istome fakultetu pohađa doktorski studij. Od 2011. godine zaposlen je u EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo i aktivno je angažiran na projektima razvoja VN prekidača naponskih nivoa 145 kV, 245 kV i 420 kV.

Armin Hajdarović rođen je 1989. godine u Mostaru. Godine 2011. završio je prvi ciklus studija na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu, a 2013. godine i drugi ciklus studija, master studij. Zaposlen je u EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo, a područja interesovanja su mu: modelovanje i razvoj VN prekidača, razvoj softvera za simulaciju rada VN prekidača i proračun električnih polja. Angažiran je na projektima razvoja VN prekidača naponskih nivoa 145 kV, 245 kV i 420 kV. Od 2013. godine član je BH K CIGRÉ.

Rasim Gačanović rođen je 1950. godine u Sarajevu, Bosna i Hercegovina. Diplomirao je i magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu 1974., odnosno 1980. godine Doktorsku disertaciju odbranio je 1991. godine na Fakultetu elektrotehnike i računarstva, na Sveučilištu u Zagrebu, u Republici Hrvatskoj.

Dr.sci. Rasim Gačanović redovni je profesor na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu. Prof. Rasim Gačanović je tokom profesionalne karijere radio u Institutu za projektiranje IPS-a Sarajevo, u Istraživačko – razvojnom centru za elektroenergetiku (IRCE) – Energoinvest Sarajevo, Ministarstvu energije Bosne i Hercegovine, Ministarstvu prometa i komunikacija Federacije Bosne i Hercegovine te u Gradskoj upravi Grada Sarajeva. Član je IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., USA, CIGRE (Međunarodno vijeće za velike električne sisteme) - Bosanskohercegovačkog komiteta i uredništva časopisa Bosanskohercegovačka elektrotehnika. Prof. Rasim Gačanović je do sada iz oblasti elektrotehnike objavio preko 50 znanstvenih i stručnih radova i 4 knjige. Polje zanimanja su: električna postrojenja, rasprostiranje elektromagnetskih valova, modeliranje i analiza tranzijentnih stanja u elektroenergetskom sistemu, uzemljenja te računarski podržano projektiranje u elektrotehnici.