

mr.sc. Edina Aganović, dipl.el.ing.
Nezavisni operator sistema u BiH
Hamdije Čemerlića 2, 71 000 Sarajevo
Tel: 033 720-430, 061 802-765

Sarajevo, 28.09.2011. godine

**NAUČNO-NASTAVNOM VIJEĆU
ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U SARAJEVU
Odsjek za elektroenergetiku**

Predmet: Prijava prijedloga teme doktorske disertacije

Obraćam Vam se sa molbom da u skladu sa pravilima i procedurama Univerziteta u Sarajevu i Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu, razmotrite prijedlog teme doktorske disertacije sa radnim naslovom:

**“MAGNETSKO POLJE UNUTAR ELEKTROENERGETSKIH
POSTROJENJA KOD POJAVE STRUJNIH IZOBLIČENJA U MREŽI“**

Prijava sadrži:

1. Prijedlog naslova disertacije na bosanskom i engleskom jeziku
2. Obrazloženje teme
3. Stanje u oblasti kojoj tema pripada
4. Osnovne ciljeve i plan istraživanja
5. Metodologiju istraživanja
6. Očekivani izvorni naučni doprinos disertacije
7. Literaturu

Uz prijavu prilažem:

1. Kratku biografiju sa opisom naučnog i stručnog djelovanja
2. Popis i primjere objavljenih radova

Ostala potrebna dokumentacija za prijavu je priložena kod prvog prijavljivanja teme doktorske disertacije:

3. Izjava da postupak stjecanja akademskog stepena doktora nauka nisam pokrenula ni u jednoj drugoj ustanovi
4. Ovjerena kopija diplome završenog studija
5. Ovjerena kopija diplome o stečenom naučnom stepenu magistra

Napominjem da sam 13.04. 2010. godine predala prvu prijavu teme doktorske disertacije pod nazivom „Istraživanje električnih i magnetskih polja visokonaponskih elemenata elektroenergetskog sistema“, a da je javni razgovor o ispunjenju uslova za pokretanje postupka prihvatanja teme doktorske disertacije održan 01.07.2010. godine. Prema Zapisniku o održanom javnom razgovoru br. 04-06-2273/10 od 09.07.

2010. godine, Odbor za doktorske disertacije je donio zaključak da treba sačiniti novu prijavu u kojoj će biti otklonjeni nedostaci:

- literatura koja se odnosi na predloženu temu nije sveobuhvatno istražena i izučena na način primjeren izradi doktorske disertacije;
- u prijavi nije navedeno da će se u okviru rada razviti model prikladan za izučavanje problema koji kandidat ima namjeru rješavati;
- prijava ne sadrži argumente iz kojih se vidi da bi rezultati ovog istraživanja mogli imati zahtjevani naučni doprinos.

U toku javnog razgovora primjedbe su se odnosile i na preširoko postavljenu temu, pa je u novoj prijavi istraživanje ograničeno na magnetsko polje unutar elektroenergetskog postrojenja kod pojave strujnih izobličenja u mreži. Najznačajniji uticaji na magnetsko polje se javljaju kod specifičnih potrošača kao što su željezara, željeznica itd., koji su problematični sa aspekta kvaliteta električne energije. U tom smislu bi istraživanje bilo provedeno za ove specifične potrošače gdje bi bio kvantificiran uticaj harmonika i strujne nesimetrije na vrijednost magnetskog polja unutar postrojenja na koja su priključeni ovi potrošači.

Tokom izrade nove prijave je puno detaljnije istražena literatura iz navedene oblasti, tako da literatura sadrži 47 radova iz predmetne oblasti.

U proračunima bi se koristio licencirani softver EFC-400, gdje bi bili napravljeni modeli za proračun polja kod pojave strujnih izobličenja u mreži.

Za očekivati je da istraživanje u ovom radu rezultuje naučnim doprinosom, a što je istaknuto u samoj prijavi, tim prije što predmetna tema do sada nije bila dovoljno istražena. Navedenim izmjenama uvažene su primjedbe Odbora za doktorske disertacije i nadam se otklonjeni nedostaci iz prve prijave doktorske teme.

S poštovanjem,

Edina Aganović

1. PRIJEDLOG NASLOVA DISERTACIJE

Bosanski:

“MAGNETSKO POLJE UNUTAR ELEKTROENERGETSKIH POSTROJENJA KOD POJAVE STRUJNIH IZOBLIČENJA U MREŽI“

Engleski:

“MAGNETIC FIELD INSIDE OF ELECTRIC POWER SUBSTATIONS AT THE OCCURRENCE OF CURRENT DISTORTIONS IN NETWORK“

2. OBRAZLOŽENJE TEME

Jedan od najčešćih izvora nejonizirajućeg zračenja kome su ljudi izloženi je magnetsko polje industrijske frekvencije. Prenosni vodovi i elektroenergetska oprema u transformatorskim stanicama uzrokuju stalna i jaka magnetska polja. Efekti magnetskog polja industrijske frekvencije su naročito važni u zonama koje su unutar i u okolini elektroenergetskih postrojenja, radi mogućeg boravka ljudi na tim prostorima. U svijetu su zakonski propisane granične vrijednosti dozvoljenih magnetskih polja kojima može biti izloženo profesionalno osoblje i stanovništvo. Preporučena vrijednost gustine magnetskog fluksa za opštu populaciju, prema najnovijim Smjernicama Međunarodne komisije za zaštitu od nejonizirajućeg zračenja (ICNIRP) [1] iznosi $B=200 \mu T$.

Elektroenergetska postrojenja su sistemi koji sadrže primarnu energetska i sekundarnu elektroničku opremu. Da bi se osiguralo ispravno i pouzdano djelovanje sekundarne elektroničke opreme, potrebno je identificirati i klasificirati, u mjeri u kojoj je to moguće, potencijalne izvore i puteve prenosa smetnji, te utvrditi mjere kojima će se njihov uticaj na funkcionisanje i sigurnost elemenata sekundarnog sistema svesti na prihvatljiv nivo. Pojednostavljeno možemo reći da primarna energetska oprema prouzrokuje elektromagnetske smetnje, a elektronička oprema je podložna djelovanju tih smetnji. Elektromagnetska kompatibilnost je relativno nova disciplina koja proučava interakciju izvora smetnji i primaoca, koju definišemo kao sposobnost elektroničkog, električnog ili elektromehaničkog uređaja ili sistema da djeluje na zadovoljavajući način u svom elektromagnetskom okruženju, tako da ne ometa rad drugih uređaja ili sistema i da sam ne bude ometan da se poremeti njegova osnovna funkcija.

Pošto je magnetsko polje direktno zavisno od struja, to se radi određivanja raspodjele magnetskog polja unutar postrojenja moraju poznavati struje u tom postrojenju. Nakon što su svi strujni izvori tačno određeni, magnetsko polje se proračunava analitički ili numerički.

Glavna oprema u elektroenergetskom postrojenju su vodovi, sabirnice, transformatori, prekidači, itd. Iako su sabirnice i vodovi dominantni izvori struje, odnosno magnetskog polja i drugi strujni izvori mogu dati značajan doprinos magnetskom polju. Ti izvori su povratne struje u neutralnim vodičima, povratne struje u zemlju, kao i vrtložne struje u metalnim strukturama i uzemljenju.

Idealno gledano, valni oblik struje je savršena sinusoida. Međutim, priključenjem nelinearnih opterećenja ovaj valni oblik često postaje izobličen.

Odstupanje od savršenog sinusnog vala može se predstaviti harmonicima - sinusoidalnim komponentama čija je frekvencija cijeli višekratnik osnovne frekvencije. Dakle, čisti strujni sinusni val nema izobličenja, dok nesinusoidalni val ima izobličenja i harmonike. Da bi se odredio stepen harmonijskog izobličenja koristi se izraz ukupno harmonijsko izobličenje (THD – total harmonic distortion). Izraz označava izobličenje kao postotak osnovnog vala (čistog sinusa) struje.

Harmonici se pojavljuju kod bilo koje opreme čija struja ne prati vjerno sinusni oblik napona. Tako naprimjer, većina elektronske opreme koristi istosmjerno napajanje, odnosno AC/DC ispravljač, koji ako nema poseban dodatni aktivni sklop vuče struju u seriji kratkih impulsa.

U visokonaponskoj mreži najveća strujna izobličenja stvaraju nelinearna opterećenja dinamičkog karaktera, kao npr. elektrolučne peći (željezara, električna vuča). Injektiranje viših harmonika struje u mrežu se javlja i kod vjetroagregata sa promjenljivom brzinom vrtnje (kad je generator spojen na mrežu preko energetskog pretvarača).

S obzirom da je magnetsko polje direktno ovisno od struje, nesinusoidalne, ali periodične struje dovode do distorzije magnetskog polja, odnosno magnetskog polja na harmonijskim frekvencijama. Značajni harmonici su uglavnom 3, 5 i 7 višekratnik od osnovne frekvencije 50/60 Hz, a na magnetsko polje naročito utiče 3 harmonik koji ima komponente “u fazi” u sve tri faze.

Priključenjem nesimetričnih opterećenja dolazi do pojave nesimetrije struja, koja se ogleda i u amplitudi i u fazi, što direktno utiče na magnetsko polje. Takođe, ako su struje nesimetrične, povratna struja teče kroz neutralni provodnik, zemlju ili provodnike u zemlji i dovodi do povećanja ukupnog magnetskog polja.

Pošto su nesimetrije struje jako zavisne od opterećenja, magnetsko polje može takođe značajno varirati sa promjenom opterećenja. To je još jedan razlog zašto je suštinski teško predvidjeti vrijednosti magnetskog polja.

U dostupnim modelima za proračune magnetskog polja unutar postrojenja nisu uzeti u obzir uticaji harmonika i nesimetrije struje na magnetsko polje. Osim uticaja na magnetsko polje od faznih vodiča i sabirnica, struje koje se usljed strujnih izobličenja javljaju u neutralnim vodičima i provodnicima u zemlji takođe mogu dati značajan doprinos ukupnom magnetskom polju.

Pošto je magnetsko polje zavisno od struja, koje u zavisnosti od opterećenja mogu varirati unutar širokog područja, čak i u slučaju jednostavnih konfiguracija, procjene zasnovane na izračunavanjima polja mogu biti neodgovarajuće, i gdje je to pogodno, trebaju se potvrditi mjerenjima. Poređenje proračunatih i mjerenih vrijednosti magnetskog polja pokazuje tačnost metode, odnosno modela za proračun polja.

Predmet obrade u doktorskoj disertaciji je istraživanje magnetskog polja u stacionarnim režimima u transformatorskim stanicama kod postojanja strujnih izobličenja u mreži. Konačni cilj je dobijanje što tačnije vrijednosti magnetskog polja u prostorima gdje su smješteni elektronički uređaji i gdje borave povremeno ili stalno ljudi u okviru jednog segmenta elektromagnetske kompatibilnosti.

3. STANJE U OBLASTI KOJOJ TEMA PRIPADA

Magnetsko polje elektroenergetskih vodova i podzemnih kablova je predmet velikog broja istraživanja, još od osamdeset-ih godina prošlog vijeka [2-8].

Manji broj teoretskih i eksperimentalnih istraživanja se bavi analizom magnetskog polja unutar visokonaponskih postrojenja [9-19]. Većina studija koje se bave proračunom magnetskog polja unutar visokonaponskih postrojenja, je bazirana na Bio Savarovom zakonu, a kao izvore struje uzima samo vodove i sabirnice.

Hayashi i saradnici [9] su među prvima razvili program za proračun magnetskog polja unutar postrojenja, koji je bio baziran na analitičkom pristupu. Sabirnice i vodovi su podijeljeni na segmente, a magnetsko polje u nekoj tački se dobije superponiranjem doprinosa svih segmenata. Proračun magnetskog polja je baziran na sljedećim pretpostavkama: strujni izvori su potpuno simetrični, tj. struje u zemlju su zanemarene, zemlja je nemagnetna, zanemarena je distorzija polja na metalnim strukturama opreme, a takođe su zanemareni i ostali strujni izvori kao što su npr. struje indukovane u uzemljenju.

Postrojenje predstavlja složenu koncentraciju izvora magnetskih polja. Osim očiglednih strujnih izvora kao što su vodovi i sabirnice koji značajno utiču na magnetsko polje, doprinos vrijednosti magnetskog polja mogu dati struje u neutralnim vodičima, struje uzemljenja i struje u metalnim strukturama. Trofazne struje i struje u neutralnom vodiču mogu biti izmjerene, međutim znatno teži zadatak je odrediti struje u mreži uzemljenja podstanice i u potpornim metalnim strukturama.

Dawalibi [14] je prvi razmatrao elektromagnetska polja generisana od struja u mreži uzemljenja. U svom istraživanju je razmatrao sopstvenu impedansu provodnika u zemlji i međusobne efekte prouzrokovane blizinom provodnika u podzemnoj mreži.

Mader i Zaffanella [15] su prezentirali model električne mreže i formule za proračun otpora i sopstvene induktanse za sve provodnike i cijevi, kao i međusobnu induktansu između blisko raspoređenih provodnika u distributivnoj mreži, uz zanemarenje puzajućih struja.

Selby i Dawalibi [16] su istraživali proračun raspodjele puzajućih struja u mreži nadzemnih i podzemnih provodnika, uz ograničenje da je struja konstantna duž segmenta provodnika, a takođe nisu razmatrane ni struje indukovane u metalnim strukturama.

Olsen i Lyon [17] su razmatrali strujne izvore od sabirnica i transformatora, a drugi strujni izvori kao što su struje u mreži uzemljenja i indukovane struje u metalnim strukturama nisu razmatrani.

U [18] i [19] je prezentiran matematički model za tačan proračun struja unutar mreže uzemljenja i metalnih struktura. U modelu je mreža uzemljenja podijeljena na konačne elemente i korištene su precizne jednačine za raspodjelu puzajuće struje unutar elementa mreže uzemljenja. Razvijeni model razmatra ne samo puzajuće struje u zemlji, već takođe rezistivne i induktivne efekte i može biti primjenjen za bilo koju konfiguraciju mreže uzemljenja i metalnih struktura. U preporukama za buduća istraživanja u [18], na prvom mjestu je navedeno da se u raspodjelu struja trebaju uključiti i harmonijske struje, kako bi se istražili efekti ovih struja na magnetsko polje. Navedeno je takođe, da su puzajuće struje u različitim metalnim strukturama veoma složene kada se uzmu u obzir harmonijske struje, odnosno da njihovo modelovanje zahtjeva dodatna istraživanja.

U Izvještaju Radne grupe za magnetno polje IEEE [20]- „Magnetno polje elektroenergetskih vodova- teorija i poređenje sa mjerenjima“- dio 2.5 - „Efekat nesimetrije struja na magnetsko polje“ je zaključeno da i mala strujna nesimetrija

može izazvati znatne promjene magnetskog polja. Takođe, u dijelu 2.8 - „Efekat frekvencije i harmonika“ je navedeno da su mjerenja na elektroenergetskim vodovima pokazala harmonijske struje značajne amplitude, koje nastaju usljed nesavršenosti u generatorima i nelinearnih opterećenja, naročito kod HVDC konvertorskih stanica i velikih industrijskih potrošača.

Među radovima koji se bave uticajem strujnih izobličenja na magnetsko polje, možemo izdvojiti eksperimentalna istraživanja na elektroenergetskim vodovima [21], [22], i unutar postrojenja [23].

Rad [21] je razmatrao uticaj nesimetrije struje i strujnih harmonika na raspodjelu magnetskog polja na prenosnoj liniji, gdje je zaključeno da je uticaj nesimetrije struje dosta značajniji od uticaja harmonika.

U radu [22] je razmatran efekat struja trećeg harmonika na raspodjelu magnetskog polja na distributivnim vodovima, gdje je predstavljen uticaj distorzije harmonika (THD) na gustinu magnetskog fluksa. U radu je utvrđeno da distorzija struje trećeg harmonika značajno povećava magnetsko polje na distributivnom vodu, što je naročito izraženo kod trofaznih podzemnih kablova i može rezultirati rizično velikim magnetskim poljem.

Mjerenje sadržaja harmonika u električnom i magnetskom polju unutar elektroenergetskog postrojenja 400/110 kV, koje uključuje i jednu HVDC liniju, je urađeno u [23] gdje su harmonici mjereni do frekvencije 650 Hz. Takođe su date i izmjerene vrijednosti električnog i magnetskog polja za pojedine harmonike.

U [24] je razmatrano električno i magnetsko polje prenosnih vodova i elektroenergetskih postrojenja: TS 110/20 kV, 110 kV SF6 transformatorske stanice, 400 kV rasklopnog postrojenja, 400 kV transformatorske stanice sa DC vezom, distributivne transformatorske stanice i industrijske transformatorske stanice koja napaja elektrolučnu peć. Do prekoračenja graničnih vrijednosti je došlo za slučaj industrijske transformatorske stanice, odnosno kod prenosnog voda koji je napajao elektrolučnu peć. U radu je zaključeno da harmonici mogu stvoriti teškoće zato jer ICNIRP smjernice zahtijevaju smanjenje polja kod pretpostavki vezanih za pojavu harmonika.

U istraženoj literaturi kod procjene magnetskog polja unutar transformatorskih stanica uglavnom su zanemarena strujna izobličenja, koja se u stacionarnom stanju javljaju u mreži, naročito kod priključenja određenih specifičnih potrošača. Procjena uticaja ovih izobličenja dala bi značajan doprinos tačnijem određivanju vrijednosti magnetskog polja.

4. OSNOVNI CILJEVI I PLAN ISTRAŽIVANJA

Cilj ove doktorske disertacije je da se razviju modeli i postupci za što precizniju procjenu magnetnog polja unutar elektroenergetskih postrojenja. Fokus istraživanja bi bio usmjeren na istraživanje uticaja strujnih izobličenja (harmonici, nesimetrija) na vrijednost magnetskog polja u postrojenju. Strujna izobličenja u mrežu uglavnom injektiraju nelinearna i nesimetrična opterećenja i potrebno je istražiti da li je njihov nivo dovoljno visok da rezultira magnetskim poljem koje je rizično za zdravlje ljudi, odnosno ima uticaja na sekundarne krugove u elektroenergetskom postrojenju.

U radu bi se razmatralo više primjera proračuna: elektroenergetsko postrojenje 110/x kV, koje ima priključenog industrijskog potrošača koji pretežno generiše strujne harmonike u mrežu (npr. željezara), elektroenergetsko postrojenje 110/x kV koje ima priključenog potrošača koji pretežno injektira nesimetrije struje u mrežu

(npr. električna željeznica) i jedna distributivna transformatorska stanica 10(20)/0.4 kV (npr. koja napaja neku poslovnu zgradu, radi prisustva elektronske opreme koja se napaja preko AC/DC ispravljača).

Za navedene primjere potrebno je napraviti modele za proračun magnetskog polja, kod pojave strujnih izobličenja u mreži (harmonici, nesimetrija struje) unutar postrojenja, pri čemu bi se koristio licencirani softver EFC-400 [25].

Osnovni element za verifikaciju rezultata dobijenih preko modela za proračun magnetskog polja, kada se izvori polja teško mogu simulirati radi njihovog broja, radnih uslova i složene raspodjele su mjerenja vrijednosti ovih polja.

U radu bi se razvila mjerna metoda za istovremeno mjerenje magnetskog polja, kao i mjerenje struja koje sadrže harmonike i nesimetrije, što podrazumijeva korištenje savremene mjerne i registrirajuće opreme.

Mjerenja struje provesti uz pomoć digitalnog multifunkcijskog instrumenta-analizatora kvaliteta električne energije. Istovremeno provesti i mjerenje magnetskog polja sa instrumentima za mjerenje magnetskog polja industrijske frekvencije: 1-osni B (1-D sonda) i 3-osni B instrument (3-D sonda).

Rezultati proračuna magnetskog polja pomoću softvera bi se upoređivali sa izmjerenim vrijednostima magnetskog polja, kako bi se mogla dati ocjena predloženih modela, odnosno izveli konačni zaključci o uticaju strujnih izobličenja na vrijednost magnetskog polja.

Nakon toga bi se dobivene vrijednosti magnetskog polja upoređivale sa graničnim vrijednostima prema odgovarajućim standardima, kako bi se procijenilo da li je njihov nivo dovoljno visok da ima uticaja na zdravlje ljudi, odnosno na sekundarne krugove u elektroenergetskom postrojenju.

5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U prvom dijelu rada bi bio dat pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti proračuna i mjerenja magnetskog polja unutar elektroenergetskih postrojenja.

U drugom dijelu rada bi na osnovu dostupne naučne literature, bilo urađeno više modela za proračun magnetskog polja unutar postrojenja kod pojave strujnih izobličenja u mreži. Proračuni bi se proveli korištenjem licenciranog softvera EFC-400, a za svaki prethodno navedeni primjer proračuna treba se napraviti model za struje kao i model za geometrijske parametre postrojenja. Programski paket EFC-400 omogućava simulaciju u trodimenzionalnom prostoru. Proračun raspodjele gustoće magnetskog toka se izvodi postupkom temeljenom na primjeni Biot-Savartovog zakona za indukciju ravne strujnice konačne dužine i zakona superpozicije. Gustoća magnetskog toka u svakoj tački prostora može se izračunati superpozicijom doprinosa svakog provodnika kojim teče struja. Prostorni položaj segmenata provodnika, njihove struje i fazni uglovi predstavljaju ulazne veličine za proračun gustoće magnetskog toka u željenim tačkama prostora. Smjer vektora gustoće magnetskog toka je određen sa jediničnim vektorom u cilindričnom koordinatnom sistemu vezanom sa posmatrani segment. Kako je položaj segmenata u prostoru različit, a time i smjerovi vektora indukcije, potrebno je vektor gustoće magnetskog toka razložiti na komponente u smjeru svake koordinatne ose globalnog sistema koji nije vezan za pojedini segment.

U trećem dijelu rada bila bi provedena eksperimentalna istraživanja, kojom prilikom bi bilo izvršeno mjerenje magnetskog polja za odabrane primjere proračuna, kako bi se potvrdili rezultati predloženih modela. Istovremeno sa mjerenjem

magnetskog polja u karakterističnim tačkama u pojedinom postrojenju bi bilo urađeno i mjerenje strujnih izobličenja koji se javljaju u mreži, što bi zahtjevalo definisanje postupka i načina mjerenja.

Odabir tački u kojima će se vršiti mjerenje potrebno je izvršiti na osnovu procjene jačine polja, odnosno na način da se mjerenje vrši na mjestima gdje se očekuju najveće jačine magnetskog polja. Mjerenje magnetskog polja je potrebno sprovesti u skladu sa odredbama norme HRN IEC 61786-2001 [26] - Mjerenje niskofrekventnih magnetskih i električnih polja s obzirom na izloženost ljudi- Posebni zahtjevi za instrumente i upute za i uputstvima datim u Evropskim preporukama ENV 50166 [27].

U posebnom dijelu bi se izvršilo poređenje dobivenih vrijednosti magnetskog polja proračunom i mjerenjem, čime bi se potvrdila valjanost korištenih modela proračuna. Takođe bi bila izvršena i analiza osjetljivosti rezultata u odnosu na složenost modela.

Na kraju bi se izvršio kritički osvrt proračunatih i izmjerenih vrijednosti u odnosu na važeće propise i standarde, predložile mjere za postojeća elektroenergetska postrojenja, odnosno dale upute za postupanje prilikom projektiranja novih postrojenja kao i izbora opreme.

6. OČEKIVANI IZVORNI NAUČNI DOPRINOS DISERTACIJE

U doktorskoj disertaciji je planirana izrada modela za proračun magnetskog polja za dvije transformatorske stanice 110/x kV, i jednu distributivnu transformatorsku stanicu 10(20)/0.4 kV. Modeli za proračun bi bili urađeni korištenjem licenciranog softvera EFC-400, a uzeli bi u obzir strujna izobličenja koja u mrežu injektiraju nelinearna i nesimetrična opterećenja.

Postojeći modeli za proračun magnetskog polja unutar postrojenja uglavnom zanemaruju strujna izobličenja, tako da bi modelovanje njihovog uticaja dalo značajan doprinos u tačnijoj procjeni polja. Ovo je naročito značajno kad elektroenergetskih postrojenja napajaju specifične potrošače koji su problematični sa aspekta kvaliteta električne energije.

U cilju verifikacije rezultata proračuna bila bi provedena eksperimentalna istraživanja za gore navedene primjere postrojenja, uz korištenje savremene mjerne opreme, i uz detaljno obrazloženje procedure mjerenja. U radu bi se razvila mjerna metoda za istovremeno mjerenje magnetskog polja i strujnih izobličenja.

Analiza dobivenih rezultata će biti provedena i sa aspekta elektromagnetske kompatibilnosti uz korištenje međunarodnih standarda i propisa iz ove oblasti.

Doprinosi predložene teze mogu biti sumirani u sljedećem:

- Izrada modela za proračun magnetskog polja unutar postrojenja kod pojave strujnih harmonika u mreži.
- Izrada modela za proračun magnetskog polja unutar postrojenja kod pojave strujnih nesimetrija u mreži.
- Razrada postupaka mjerenja za istovremeno mjerenje magnetskog polja i strujnih izobličenja, kako bi se potvrdila tačnost predloženih modela.
- Procjena da li dobivene vrijednosti magnetskog polja zadovoljavaju vrijednosti predviđene propisima, odnosno koliko su uticaji strujnih izobličenja na magnetsko polje značajni sa aspekta elektromagnetne kompatibilnosti.

7. LITERATURA

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP, "GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 Hz TO 100 kHz)" – Health Physics, December 2010, Volume 99, Number 6
- [2] D.W. Deno, *Transmission Line Reference Book - 345 kV and Above*. 2. p. Palo Alto: 1982, pp. 329-419.
- [3] CIGRE WG 36. 01, 1980, "Electric and magnetic fields produced by transmission lines. Description of phenomena and practical guide for calculation" CIGRE, Ref. 21
- [4] CIGRE Joint task force 36.01/21, 1996, "Magnetic field in HV cable systems 1/ Systems without ferromagnetic component", CIGRE, Ref. 104
- [5] W.T. Kaune and L.E. Zaffanella, "Analysis of Magnetic Fields Produced Far from Electric Power Lines," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 7, no. 4, 1992, pp. 2082-2091.
- [6] F.P. Dawalibi, "Computation of Electromagnetic Fields Produced by Electric Power Lines and Residential Electrical Wiring," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 8, no. 3, 1993, pp. 1285-1293.
- [7] J. A. Faria and M. E. Almeida, "Accurate calculation of magnetic-field intensity due to overhead power lines with or without mitigation loops with or without capacitor compensation", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 22, no. 2, pt. 1, pp. 951–959, Apr. 2007.
- [8] S. Čaršimamović, Z. Bajramović, M. Veleđar, M. Ljevak, S. Nuić, P. Osmokrović, "Impact of the tower dimensions onto levels of ELF electric and magnetic fields of 400 kV overhead lines", 42. Zasjedanje Međunarodne CIGRE, Pariz 2008.
- [9] L. Hayashi, K. Isaka, and Y. Yokoi, "Analysis of 60 Hz magnetic fields near ground level in 187 kV switchyard of a 187/66 kV ac substation", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 7, no. 1, pp. 237–244, Jan. 1992.
- [10] W. K. Daily and F. Dawalibi, "Measurements and calculations of electromagnetic fields in electric power substations", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 9, no. 1, pp. 324–333, Jan. 1994.
- [11] L. Shun-Li, L. E. Ghin, C. -Lien, and H. Tsung-Che Lu, "Power substation magnetic field measurement using digital signal processing techniques", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 14, no. 4, pp. 1221–1227, Oct. 1999.
- [12] K.Sakai, K.Kato. H.Okubo, A.Matsumoto "ELF Magnetic Field Measurement and Calculation in 500kV Gas Insulated Substation", IEEE Press, 2002.
- [13] A. Safigianni and C. G. Tsompanidou, "Electric and magnetic fields measurements in an outdoor electric power substation", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 24, no. 1, Jan. 2009.
- [14] F. Dawalibi, *IEEE Transactions on Power Delivery* 1 (4) (1986) 112–119.
- [15] D.L. Mader, L.E. Zaffanella, *IEEE Transactions on Power Delivery* 8 (1) (1993) 344–350.
- [16] A. Selby, F. Dawalibi, *IEEE Transactions on Power Delivery* 9 (2) (1994) 1069–1078.
- [17] R.G. Olsen, C.E. Lyon, *IEEE Transactions on Power Delivery* 11 (3) (1996) 1563–1570.

- [18] L. Huang, „Modelling of ground grid and metallic structure currents and analysis of their effect on the magnetic field in high voltage AC substations“, dissertation, Ohio State University, 1999.
- [19] L. Huang, D.G. Kasten / *Electric Power Systems Research* 59 (2001) 31–37
- [20] A Report of the IEEE Magnetic Field Task force of the AC Fields Working Group of the Corona and Field Effects Subcommittee of the Transmission and Distribution Committee (R.G.Olsen, D.Deno, R.S.Baishiki and others), "Magnetic Fields Electric Power Lines- Theory and Comparison to Measurements" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.4, Oct.1988, pp. 2127-2136.
- [21] M. Shimizu, K.Kato, H.Okubo, "Magnetic field distribution around power transmission line viewed from actual line current condition" , *High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467), IEE 1999*
- [22] H.A.N. Hejase, A.A. Shaltout, "Impact of Third Harmonic Currents on Magnetic Field Measurements from Distribution Lines", *Electric Power Components and Systems*, 32:353–366, 2004
- [23] T. Keikko, S. Kuusiluoma, T. Sauramaki, L. Korpinen, "Comparison of Electric and Magnetic Fields near 400 kV Electric Substation with Exposure Recommendations of the European Union", *IEEE Press, 2002*
- [24] T.Keikko, „Technical management of the electric and magnetic fields in electric power system“, doctor thesis, Tampere University of technology, 2003
- [25] EFC-400, User Manual
- [26] HRN IEC 61786-2001 - Measurement of low-frequency magnetic and electric field with regard to exposure of human beings-Special requirements for instruments and guidance for measurements
- [27] Evropska preporuka ENV 50166 "People exposure to the electromagnetic radiation on low frequencies", 1995
- [28] Cigré / TF C4.2.05 / Characterisation of magnetic fields / rev 9 / September 2006.
- [29] International Colloquium "Power Frequency Electromagnetic Fields ELF EMF", Session 4- *Session on exposure to ELF fields or magnetic fields*, Sarajevo, juni 2009. godine.
- [30] S.Čaršimamović, M.Raščić, Z.Bajramović, A.Čaršimamović, "Elektromagnetska kompatibilnost u elektroenergetskom sistemu", *Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, 2010.*
- [31] Z.Haznadar, Ž.Štih, *Elektromagnetizam 1 i 2, Zagreb, Školska knjiga, 1997 (sveučilišni udžbenik)*
- [32] A.Tomasović, „Kvaliteta električne energije i negativno povratno djelovanje korisnika mreže na kvalitetu napona“, Kvalifikacijski doktorski ispit, FER Zagreb, 2010.
- [32] H. Trzaska, "Electromagnetic field measurements in the near field", *Noble Publishing, Atlanta, 2001*
- [34] S. Čaršimamović, A.Muharemović, Z.Bajramović, E.Aganović, M. Veleđar, M. Ljevak "Mjerenje i proračun električnih i magnetskih polja ekstremno niskih frekvencija", *VIII Savjetovanje BHK CIGRE, Neum, oktobar 2007.*
- [35] S. Čaršimamović, Z. Bajramović, P. Osmokrović, M. Veleđar, S. Nuić, E.Aganović, M. Ljevak "Istraživanje ELF električnih i magnetskih polja 400 kV i 220 kV zračnih linija u Bosni i Hercegovini", *IX Savjetovanje BHK CIGRE, Neum, septembar 2009.*

- [36] B.Cestnik, K.Grabner, N.Ljubijankić, „Electromagnetic field calculation and measurement of electric power facilities according to Slovenian legislation“, Internal Colloquium *Power Frequency Electromagnetic Fields ELF EMF*, Sarajevo, 2009.
- [37] H.Salkić, V.Madžarević, A.Muharemović, N.Mehinović, „Low frequency, quasi stationary electromagnetic fields of a transformer station“, Internal Colloquium *Power Frequency Electromagnetic Fields ELF EMF*, Sarajevo, 2009.
- [38] B. Vulević, P. Osmokrović
"Evaluation of uncertainty in the measurement of low frequency electric and magnetic fields", *INTERNATIONAL COLLOQUIUM Power Frequency Electromagnetic Fields ELF EMF, Sarajevo 2009*
- [39] BPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML, (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), 1993.
- [40] Edina Dedović, "Doprinos proračunu električnih i magnetskih polja visokonaponskih elemenata elektroenergetskog sistema", Magistarski rad, ETF Sarajevo, novembar 2002. godine
- [41] Edina Dedović, *Electric Field i Magnetic Field*- kompjuterski programi za proračun električnih i magnetskih polja, Sarajevo, 2002. godine
- [42] Mr. Hidajet Salkić, „Proračun niskofrekventnih magnetskih polja u transformatorskim stanicama u uslovima standardizirane elektromagnetske kompatibilnosti“, Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike, 2008
- [43] A.Kusko, M.T.Thompson, "Power Quality in Electrical Systems", *McGraw-Hill NY*, 2007.
- [44] O.Andersson, „Mjerenje kvaliteta električne energije na postrojenju 110 kV Mittal u Bosni i Hercegovini“, Izvještaj STRI za NOS BIH, 2008,
- [45] M.Lasić, A.Tomasović, S.Nekić, M.Veža, J.Šimić, D.Škrlec, „Utjecaj vjetroagregata sa promjenljivom brzinom vrtnje na kvalitetu napona“, 1. savjetovanje HO CIRED, Šibenik, 18-21.05.2008
- [46] B.Milešević, A.Pavić, I.Periša, D.Hrkec, „Postrojenje za sekcioniranje željezničke 25 kV, 50 Hz mreže kao izvor elektromagnetskog polja, 2. savjetovanje HO CIRED, Umag, 16-19.05.2010
- [47] D.Poljak, "Izloženost ljudi nejonizirajućem zračenju", *Kigen d.o.o. Zagreb*, 2006