

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija za studije II stepena Elektrotehničkoj fakulteta u Beogradu na sednici održanoj 28.05.2013. godine imenovala nas je za članove komisije za pregled i ocenu master rada dipl. ing. Milana Ignjatovića pod nazivom „Uticaj jačine probojnog električnog polja u korona omotaču na dinamiku povratnog udara atmosferskog pražnjenja“. Komisija je pregledala rad i Nastavno-naučnom veću ETFa podnosi sledeći

### IZVEŠTAJ

#### 1. Osnovni podaci o kandidatu

Milan D. Ignjatović je rođen 8.11.1989. godine u Beogradu. Završio je Gimnaziju u Obrenovcu, prirodno-matematički smer sa odličnim uspehom. Elektrotehnički fakultet u Beogradu upisao je 2008. godine. Diplomirao je 2012. godine na odseku za Fizičku elektroniku, smer Nanoelektronika, optoelektronika i laserska tehnika sa prosečnom ocenom 8.58. Master studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je upisao u oktobru 2012. godine na odseku za Fizičku elektroniku, smer Nanoelektronika, optoelektronika i laserska tehnika. Položio je sve ispite sa prosečnom ocenom 10.

#### 2. Cilj rada

Najnovije tehnike triggerovanja atmosferskih pražnjenja (AP) oblak-zemlja omogućile su precizna merenja intenziteta horizontalnog i vertikalnog električnog polja u blizini tačke udara na rastojanju od svega 10 cm od jezgra kanala. Istovremeno je merena i struja u tački udara što je omogućilo preciznije određivanje parametara u raznim modelima povratnog udara AP i njihovu proveru validnosti. U ovom master radu je korišćen generalisani model povratnog udara sa putujućim strujnim izvorom (GTCS). Ovo je jedan od najboljih inženjerskih modela koji pored jednostavnosti daje i mogućnost povezivanja spoljnjih parametara (struja u tački udara, brzina povratnog udara, izračeni elektromagnetski spektar LEMP i dr) sa parametrima koji definišu dinamiku omotača kanala (funkcija pražnjenja kanala, provodljivost, temperatura, pokretljivost nosilaca u kanalu i dr).

Najnovija merenja dinamike AP ukazuju da postoje efekti koje može teorijski da modeluje GTCS model kao i da objasni fizička dešavanja za vreme povratnog udara. Očekuje se da nova proračunata funkcija pražnjenja kanala potvrdi postojanje aksijalnog magnetskog polja koje stabilizuje plazmeni kanal tokom pražnjenja.

Prvi zadatak ovog master rada je bio izračunavanje funkcije pražnjenja kanala i optimalne gustine naelektrisanja unutar korona omotača kanala na osnovu izmerenog LEMPa i struje u tački udara, koristeći GTCS model, Maxwelllove jednačine i osnovne jednačine MHD modela plazme. Drugi zadatak je da se na osnovu proračunate gustine naelektrisanja izračuna nova dinamika korona omotača odnosno uticaj različitih vrednosti probojnog električnog polja na površi zona 1 i 2 na brzina sažimanja omotača.

#### 3. Analiza rada

Obim rada je 57 strana, sa 37 slika koji predstavljaju eksperimentalne rezultate i teorijske proračune i 12 citiranih referenci. Rad se sastoji od osam tematskih celina – uvoda i pet poglavlja, zaključka i spiska citirane literature.

U prvom poglavlju, u uvodu, razmatrana je elektrodinamika atmosfere a posebno je razmatran mehanizam nastanka AP. U ovom radu je detaljnije analizirana elektrodinamika negativnog AP koje je sa inženjerskog aspekta najvažnije s obzirom da predstavlja oko 80% svih AP oblak-Zemlja.

U drugom poglavlju su izložene teorijske osnove raznih inženjerskih modela AP koji se koriste pri proračunima zaštite od direktnog i indirektnog udara, Transmission Line (TL) modela, Traveling Current Source (TCS) modela i Diendorfer-Uman (DU) modela. Detaljno su analizirane prednosti i nedostaci ovih modela i njihov uticaj na izračeni LEMP kao i na druge fizičke karakteristike pri povratnom udaru. Izložene su i fizičke osnove generalisanog TCS modela. Posebno je analizirana inicijalna poduzna količina naelektrisanja u kanalu i njen uticaj na jačinu struje duž kanala i izračunavanje funkcije pražnjenja kanala AP. Pomenute funkcije su izračunate za konkretne vrednosti prosečnih parametara struje u tački udara.

U trećem poglavlju je izvršeno fitovanje krivih izmerenog radijalnog električnog polja i struje u tački udara sa analitičkim funkcijama. Odabrane su funkcije koje su dale vrlo malu grešku fitovanja prema R-square testu. Polje i struja su modelovani sa po dve funkcije, jednom brzom koja ima malo vreme uspona i veći maksimum i drugom znatno sporijom. Ovakva podela je dala najbolje rezultate, a isprobane su desetine drugih mogućnosti fitovanja sa jednom funkcijom i kombinacijom raznih oblika analitičkih funkcija. Ovo je veoma važan rezultat sam za sebe jer pokazuje da u bazi kanala postoje dve struje, jedna brza komponenta koja najverovatnije potiče iz jezgra kanala AP i koja prva stiže u tačku udara i druga sporija komponenta koja potiče iz viših slojeva u kanalu, a izvor su joj naelektrisanja iz korona omotača.

U četvrtom poglavlju je razvijen GTCS model sa refleksijama od baze kanala i mesta talasnog fronta povratnog udara. Ovo je veoma važno s obzirom da se refleksije dešavaju usled nagle promene karakteristične impedanse kanala što jako utiče na podužne parametre kanala AP. Menjaju se podužno naelektrisanje i brzina povratnog udara što povratno utiče na dinamiku AP jer se menja funkcija pražnjenja kanala. Pored toga za inženjersku praksu je ovo od velikog značaja jer je moguće izvršiti analizu uticaja impedanse uzemljivača (ili pogođenog objekta) na dinamiku AP.

U petom poglavlju je usvojen model korona omotača sa konstatnom prostornom gustinom naelektrisanja. Izvršen je numerički proračun prostorne gustine naelektrisanja kanala na osnovu GTCS modela sa refleksijama. Primenjen je Gaussov zakon i izračunata vremenska promena poluprečnika zona 1 i 2. Zatim je izvršena korekcija izračunatih poluprečnika odnosno korekcija rezultata za prostornu gustinu naelektrisanja koje je dao Gaussov zakon uz uračunavanje prostornog naelektrisanja duž celog kanala AP. Ispitivan je uticaj jačine probojnog električnog polja na dinamiku zona 1 i 2.

U šestom poglavlju je teorijski objašnjena dinamika kanala AP pri konstantnoj prostornoj gustini naelektrisanja unutar korona omotača. Sva izvođenja važe za optimizovane gustine koje su dobijene u petom poglavlju rada. Utvrđeno je da se dinamika omotača kanala ubrzava u donjim delovima kanala u blizini zemlje a usporava u višim delovima u odnosu na predhodne rezultate u literaturi. Brzina sažimanja korona omotača su i dalje mnogo manje od brzine povratnog udara koja iznosi oko trećine brzine svetlosti.

U zaključku master rada se konstatuje da je GTCS model opravdao epitet veoma dobrog i fizički utemeljenog modela koji je jedini do sada dao više detalja u dinamici omotača AP pri povratnom udaru bez uvođenja brojnih fizičkih parametara i komplikovanih relacija među njima. Funkcija pražnjenja kanala je izračunata na osnovu merenja vertikalnog elektrostatičkog polja na 15m od jezgra u toku povratnog udara. Ovako izračunata funkcija pokazuje mnogo bolje rezultate od funkcije dobijene iz merenja polja na 10cm. Ovaj neobičan rezultat se može objasniti time da jako em zračenje iz kanala na vrlo malim rastojanjima koje nije vezano sa elektrostatičkim poljem unosi promene u funkciju pražnjenja. Na rastojanjima od 15m uticaj ovih izračenih komponenti je zanemarljiv.

Treba naglasiti da su glavni doprinosi u ovom radu daleko prevazišli nivo koji se traži od master rada. O tome najbolje govori podatak da je autor ovog master rada prvopotpisani autor na radu poslatom na recenziju u uglednom časopisu Journal of Atmospheric Research i čije se objavljivanje očekuje narednih meseci.

#### 4. Zaključak i predlog

Na osnovu svega izloženog, imajući u vidu sadržaj i kvalitet priloženog rada, rezultate i zaključke do kojih je kandidat u svom samostalnom radu došao, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad kandidata Milana Ignjatovića pod naslovom „Uticaj jačine probojnog električnog polja u korona omotaču na dinamiku povratnog udara atmosferskog pražnjenja“ prihvati kao master rad i kandidatu omogući usmenu odbranu.

U Beogradu, 02. jun.2013.

Članovi komisije:



prof. dr Jovan Cvetic



prof. dr Predrag Marinković