

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

Предмет: Извештај комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата, мр Славољуба Марковића дипл.ел.инг.

На 741. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду одржаној 27.XII 2011. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације мр Славољуба Марковића дипл.ел.инг., под насловом „Електромагнетске карактеристике повратног удара атмосферског пражњења“. После прегледа урађене докторске дисертације подносимо Наставно-научном већу Електротехничког факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација мр Славољуба Марковића дипл.ел.инг., под насловом „Електромагнетске карактеристике повратног удара атмосферског пражњења“ је написана латиницом на 153 стране, при чему је списак литературе написан на 9 страна.

Хронологија одобравања и израде докторске дисертације

На седници Комисије за трећи степен студија Електротехничког факултета одржаној 6.VI 2006. године констатовано је да је кандидат Славољуб Марковић пријавио докторску дисертацију под насловом „Електромагнетске карактеристике повратног удара атмосферског пражњења“. У сагласности са Правилником о докторским студијама на Електротехничком факултету, Наставно-научном већу Електротехничког факултета је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Јован Цветић, ред.проф, др Антоније Ђорђевић, ред. проф и др Милан Савић, ред. проф., сви са Електротехничког факултета. За ментора израде дисертације је предложен др Јован Цветић, ред. проф. На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 13.VI 2006. године, је прихваћен предлог Комисије за трећи степен студија Електротехничког факултета и потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме као и предложени ментор. На основу извештаја Комисије за оцену услова и прихватање теме и пратеће документације докторске дисертације „Електромагнетске карактеристике повратног удара атмосферског пражњења“ предложена тема је усвојена на седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 27.XI 2007. године, а 14.II 2008. године од стране Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду.

На седници комисије Комисије за трећи степен студија одржаној 14.XII 2011. године закључено је да је мр Славољуба Марковића дипл.ел.инг. предао урађену докторску дисертацију, па је на основу увида у њу и пратећих докумената, а у складу са Правилником о докторским студијама на Електротехничком факултету, Комисија за трећи степен студија потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање комисије за преглед и оцену докторске дисертације. Комисија за трећи степен студија је предложила Наставно-научном већу Електротехничког факултета Комисију за преглед и оцену у следећем саставу: др Јован Цветић, ред.проф, др Бранко Колунџија, ред.проф и др Славољуб Алексић, ред.проф.(Електронски факултет - Ниш).

На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 27.XII 2011. године, прихваћен је предлог Комисије за трећи степен студија, с тим што је Комисија за преглед и оцену урађене докторске дисертације проширена са два члана, др Миланом Савићем, ред. проф. и др Предрагом Осмоковићем, ред. проф.

Место докторске дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација мр Славољуба Марковића по садржају, добијеним и објављеним резултатима се може сврстати у неколико научних области односно она има мултидисциплинарни карактер. Пошто се проблем атмосферског пражњења анализира коришћењем Максвелових једначина дисертација се може сврстати у ширу научну област електромагнетике тј. електромагнетске компатибилности. У дисертацији се користе елементи теорије гасних пражњења па дисертација припада и областима физичке електронике гасова и физике плазме.

Биографски подаци о кандидату

Славољуб Марковић је рођен 18. VI 1952. године у Чачку. Основну школу и гимназију је завршио у Јагодини. Године 1976. дипломирао је на Електротехничком факултету. По дипломирању радио је на развоју примене радијационих технологија у Индустрији каблова у Јагодини у Центру за развој и истраживање. Од 1981. године је запослен на Електротехничком факултету. Магистрирао је 1987. године. Бави се електромагнетиком, посебно нискофреквентним пољима, нумеричким методима и експерименталним радом. Као аутор или коаутор је објавио два рада у реномираним страним часописима из области електромагнетске компатибилности (IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility) физике и електродинимике атмосфере (Atmospheric Research) као и 16 радова на домаћим и страним конференцијама. Учествовао је у раду на три пројекта од којих су два била за потребе индустрије. Написао је два помоћна уџбеника.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Електромагнетске карактеристике повратног удара атмосферског пражњења“ је подељена на Увод, 8 глава и Закључак, а после сваке главе је дата листа референци. Главе дисертације имају следеће наслове: 1. Атмосфера Земље и атмосферска пражњења, 2. Модели повратног удара атмосферског пражњења, 3. Физичке основе генералисаног ТЦС модела повратног удара атмосферског пражњења, 4. Струја атмосферског пражњења у тачки удара, 5. Иницијално подужно наелектрисање у каналу атмосферског пражњења, 6. Динамика пражњења канала АП са константном просторном густином наелектрисања, 7. Динамика пражњења канала АП са константном просторном густином наелектрисања – Примена на експерименталне резултате и 8. Динамика пражњења канала АП са константним електричним пољем у делу корона-омотача – Теоријска разматрања и израчунавања на основу мерења.

Кратак приказ појединих поглавља

У првој глави су изнете неке основне чињенице у вези са конфигурацијом атмосфере и опаженим појавама у њој. Посебна пажња је посвећена атмосферским пражњењима (АП) облак-земља почевши од пробоја у облаку па до формирања канала АП. На крају главе су презентовани основни параметри муња и неке мање познате али корисне чињенице у вези са АП.

Друга глава тезе је посвећена повратном удару АП. Изнете су основне физичке и електричне карактеристике четири познате групе модела које описују повратни удар. Посебна пажња је посвећена тзв. инжењерским моделима који су у широј употреби у електротехници. Представљени су најпознатији и најједноставнији модели који су били основа за развој сложенијих и бољих модела. То су: Уманов модел (transmission line model, ТЛ модел), модел Лина и сарадника, група модела који представљају модификацију ТЛ модела тј. МТЛЛ и МТЛЕ модели, Хајдлеров модел путујућег струјног извора (traveling current source model, ТЦС модел) и Диендорфер-Уманов модел, који представља побољшани ТЦС модел.

Трећа глава се бави физичким основама генералисаног ТЦС модела (ГТЦС) повратног удара атмосферског пражњења. Објашњене су особине ГТЦС модела који у највећој мери отклања недостатке предходних, инжењерских модела. Показано је како се генерише струја дуж канала АП и како се израчунава скаларна, дводимензиона функција тзв. функција пражњења канала при повратном удару.

Четврта глава тезе је посвећена избору аналитичких функција којима се, за задовољавајућом тачношћу, може представити струја у бази канала при повратном удару АП. Све поменуте функције се мање-више успешно уклапају у резултате експерименталних мерења. Поред осталог, избор ових функција зависи и од тога да ли се једноставно могу интегралити и да ли имају непрекидне изводе (први и други извод). Са једне стране се приликом избора поменуте функције траже што једноставнији аналитички облици, а са друге стране функција треба да се уклопи у резултате мерења са што мањом грешком. Ово су често контрадикторни услови па се због тога у литератури може наћи велики број функција чија употреба највише зависи од конкретног проблема који се решава. На пример, ако се ради о проблему загревања или механичког напрезања објекта услед директног удара АП није битно да ли су функција струје и њени изводи каузални или нису. Због тога се могу усвојити аналитички облици функције струје примењујући само критеријум минималне грешке при уклапању са експерименталним подацима. Међутим, ако је проблем везан за прорачун индиректних ефеката при удару (нпр. индуковане струје и напони у металним структурама објекта у близини удара изазване електромагнетским зрачењем из канала АП) онда је потребно да су функција струје и њени изводи непрекидни у околини почетног тренутка.

Пета глава тезе је посвећена одређивању расподеле почетног подужног наелектрисања у каналу која је створена непосредно пре повратног удара. Ради усвајања аналитичког израза за функцију која може да моделује почетну расподелу наелектрисања дуж канала детаљно је анализирана могућа квалитативна расподела подужног наелектрисања дуж канала која се формира при кретању степ- и дарт-лидера. Ова расподела је директна последица процеса који прате пропагацију обе врсте лидера. У савременој литератури постоји обиље експерименталних података о особинама степ- и дарт-лидера нпр. њихове брзине и начини

пропагације, врсте лидера, гранање, дужине корака и др. У овој глави су изложени елементи постојећих теорија степ- и дарт-лидера постављених на основу експерименталних и теоријских разматрања. Теоријски је анализирана статичка расподела наелектрисања дуж идеално проводног, непокретног или покретног, вертикалног проводника изнад идеалне земље. Затим се разматра квалитативна расподела наелектрисања у вертикалном проводнику када се он креће у серији дискретних корака ка земљи између којих су временске паузе. Последња анализа одговара расподели подужног наелектрисања у каналу степ-лидера. Разматрана је могућа расподела наелектрисања код наелектрисаног проводника који се креће вертикално и глатко ка земљи неком константном брзином (много мањом од брзине светлости). Ова анализа квалитативно одређује начин расподеле подужног наелектрисања дарт-лидера који претходи наредним ударима, а чије кретање не показује постојање корака односно одвија се мање-више константном брзином.

У глави шест ове тезе је усвојен модел канала АП са језгром и корона омотачем у облику дугачког, правог цилиндра, управног на земљу. Корона омотач је подељен на две зоне, зону 1 и 2. У овом моделу корона-омотача просторна густина наелектрисања је константна у зонама 1 и 2 током повратног удара. Канал АП се састоји од танког врло проводног језгра (пречника реда величине центиметра) и две зоне (слоја) од којих је зона 1 ближе језгру претежно позитивно наелектрисана. У слоју који обухвата зону 1, тј. у зони 2, постоји само негативно наелектрисање. Разматрени су физички процеси непосредно пре као и за време повратног удара и изведени су одговарајући изрази за полупречнике зона 1 и 2 као и за брзине експанзије и сажимања њихових граничних површи.

У седмој глави тезе је повезивањем експерименталних резултата из мерења врло блиског електричног поља, ГТЦС модела и модела корона-омотача са константном просторном густином наелектрисања одређена функција пражњења канала. Снимљени временски дијаграми за вертикалне и радијалне компоненте електричног поља показују облик негативних импулса (референтни смер вертикалне компоненте поља је од земље ка облаку, а радијалног од осе канала) са предњом ивицом која одговара фази лидера и задњом која је генерисана повратним ударом. Импулсни облици хоризонталног (претежно радијалног) електричног поља су измерени за осам удара у опсегу од 495 kV/m до 1,2 MV/m са средњом вредношћу од 821 kV/m. Удар са највећом вредношћу радијалног поља од 1,2 MV/m, измереног на удаљености од 0.1m од језгра канала и одговарајућа симултано измерена јачина струје у тачки удара су искоришћени за израчунавања функцију пражњења канала. На основу овога је израчунат полупречник омотача короне као и његова радијална брзина у функцији од времена. Такође, на основу теоријске анализе изложене у Главама III и VI, израчунато је подужно наелектрисање у функцији висине канала као и брзина таласног фронта повратног удара у доњим деловима канала близу земље.

У осмој глави тезе је коришћен нови модел корона-омотача АП са константним електричним пољем у зони 1. У савременој литератури (у моделима корона-омотача АП који су примењени на ТЛ моделе повратног удара) су предложене две идеје са различитом физиком у корона-омотачу у односу на модел анализиран у Главама VI и VII. У литератури је показано да оба модела корона-омотача дају сличне резултате за све ТЛ моделе повратног удара уколико је временска константа смањена наелектрисања (која моделује амбиполарну дифузију негативног наелектрисања из зоне 2 у зону 1) реда величине неколико стотина микросекунди. У овој глави је усвојен и анализиран модел са сажимањем и променљивим полупречником зоне 2 уз претпоставку о константној вредности електричног поља унутар зоне 1 као што потврђују експериментални резултати из лабораторијских мерења. Изведени су изрази за електрично поље и геометријске параметре и њихове односе у корона-омотачу, за обе зоне и изван омотача. Резултати мерења јачине електричног поља у непосредној близини канала објављени у литератури су примењени и у новом моделу корона-омотача. На основу тих резултата израчунати су полупречници зона 1 и 2, затим брзине кретања спољних површи обе зоне у функцији од времена. Утврђено је да овај модел корона-омотача предвиђа мање вредности полупречника зоне 1 као и мању брзину кретања њене граничне површи током пражњења, односно општа електродинамика повратног удара је спорија.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост и оригиналност

Проблематика дисертације је веома актуелна са теоријског и практичног становишта. Предложена су два потпуно нова модела корона-омотача канала при повратном удару чија се предвиђања добро слажу са бројним резултатима мерења у реалним условима која су добијена током низа година у разним студијама.

Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у раду је бројна али пажљиво одабрана. Садржи најновије радове релевантне за дисертацију као и класичне радове из одговарајуће проблематике чији су аутори најпознатији експерти из области атмосферских пражњења, физике електричних гасних пражњења и електромагнетике.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У дисертацији су примењени елементи Максвелове електромагнетске теорије као и елементи теорије гасних пражњења. У нумеричким симулацијама коришћен је софтверски пакет Matlab. Коришћене теорије и софтверски пакет су подобни за разматрање проблема повратног удара атмосферског пражњења. То потврђују и добијени теоријски резултати који се веома добро слажу са потпуно независним мерењима обављеним знатно раније у разним студијама.

Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Резултати које даје дисертација су актуелни у теорији АП са становишта усавршавања и побољшавања модела повратног удара и разумевања физике нагло створене плазме у каналу атмосферског пражњења. Постављени су нови модели корона-омотача канала повратног удара и њихова предвиђања су верификована резултатима експеримената који су објављени у литератури.

Оцена способности кандидата за самостални рад

Кандидат Славољуб Марковић је највећој мери самостално написао докторску дисертацију на основу праћења актуелне научне и стручне литературе. У тезу је уградио сопствене нове идеје и моделе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса

У овој дисертацији су остварени следећи научни доприноси: - 1. теоријски је анализиран нови модел АП са језгром и корона-омотачем и константном просторном густином наелектрисања, 2. теоријски је анализиран нови модел корона-омотача АП са константним електричним пољем - 3. неки од теоријских резултата су потврђени резултатима мерења у бројним независним студијама.

Критичка анализа резултата истраживања

Добијени резултати су показали да генералисани ТЦС модел повратног удара боље описује динамику АП при повратном удару од осталих инжењерских модела (ТЛ модели) јер они не могу да предвиде ни брзину таласног фронта повратног удара као ни подужно наелектрисање у каналу. Поред тога примењени модели корона-омотача су показали да електрично поље (у овом случају електростатичко) има доминантан утицај на динамику АП током повратног удара. Међутим, иако су добијени теоријски резултати показали добро слагање са експерименталним резултатима у даљој анализи динамике повратног удара АП потребно је да се укључи и утицај генерисаног магнетског поља унутар канала. Посматрано са аспекта електромагнетике, променљиво магнетско поље генерише вртложно електрично поље које мења постојеће електростатичко поље и тиме повратно директно утиче на динамику пражњења. Поред тога, гледано са аспекта физике нагло створене плазме, магнетско поље ствара неколико значајних дрифтова (ExB дрифт, grad B дрифт, дијамагнетски дрифт и др.) и утиче на дифузију наелектрисаних честица у каналу што може значајно да промени динамику пражњења. Такође је без утицаја магнетског поља немогуће објаснити одсуство z-pinch-a (з-пинч) на дужини канала од неколико километара што за последицу има успостављање непрекинутог тока наелектрисања односно одржавање самог АП до потпуног пражњења канала.

Очекивана примена резултата у пракси

Што се тиче практичне примене, очекује се да ће се нови модели корона-омотача повратног удара користити у пројектовању заштите инсталација и уређаја од атмосферских пражњења. Даљим усавршавањем модела и укључивањем утицаја магнетског поља у динамику пражњења објасниће се одсуство z-pinch-a што може да помогне у разумевању механизма одржавања стабилне плазме која има примену у разним гранама технике.

Верификовани научни доприноси

Добијени резултати у дисертацији су публиковани у реномираним часописима са SCI листе и на иностраној конференцији:

1. J.Cvetic, F.Heidler, S.Markovic, R.Radosavljevic, P.Osmokrovic: „Dynamics of a Lightning Corona Sheath - a Constant field Approach Using the Generalized Traveling Current Source Return Stroke Model”, Atmospheric Research, January 2012, accepted for publication.

3. M.Taušanović, S.Marković, S.Marjanović, J.Cvetić, M.Cvejić: „Dynamics of Lightning Channel Corona Sheath Using a Generalized Traveling-Current-Source Return Stroke Model - Theory and Calculations”, IEEE Transaction on EMC, Vol.52, Issue:3, pp.649-656, August 2010.

2. J.Cvetić, S.Marković, M.Taušanović: „Luminosity Characteristics of the Traveling Current Source Return Stroke Models“, 18th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, München, 24- 28. sept. 2007.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација мр Славољуба Марковића, под насловом „Електромагнетске карактеристике повратног удара атмосферског пражњења“ представља оригиналан и савремен научни допринос кроз свеобухватно сагледавање проблема истраживања и моделирања повратног удара атмосферског пражњења. Оцењујући докторску дисертацију, и чињеницу да је предмет дисертације врло актуелан у савременим научним круговима као и да су научни резултати верификовани објављивањем у релевантним часописима са SCI листе Комисија констатује да је кандидат мр Славољуб Марковић испунио све потребне услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, па са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да прихвати овај Извештај и у складу са законском процедуром, упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на усвајање и давање одобрења кандидату за усмену одбрану.

Чланови Комисије:

др Јован Цветић, ред. проф.
(Електротехнички факултет Универзитета у Београду)

др Бранко Колунџија, ред. проф.
(Електротехнички факултет Универзитета у Београду)

др Славољуб Алексић, ред. проф.
(Електронски факултет Универзитета у Нишу)

др Милан Савић, ред. проф.
(Електротехнички факултет Универзитета у Београду)

др Предраг Осмоковић, ред. проф.
(Електротехнички факултет Универзитета у Београду)

У Београду 25. јануар 2012. год.