

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Датум и орган који је именовao комисију 25.6.2020. решењем бр. 012-199/53-2019, Наставно-научно веће Факултета техничких наука 2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: <ol style="list-style-type: none"> 1. др Владимир Стрезоски, редовни професор, уно Електроенергетика, изабран у звање 6.6.1995. год., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду 2. др Андрија Сарић, редовни професор, уно Електроенергетика, изабран у звање 1.1.2015. год., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду 3. др Душко Бекут, редовни професор, уно Електроенергетика, изабран у звање 13.10.2004. год., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду 4. др Лука Стрезоски, доцент, уно Електроенергетика, изабран у звање 1.3.2018. год., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду 5. др Александар Савић, ванредни професор, уно Електроенергетски системи, изабран у звање 18.11.2018. год., Електротехнички факултет, Универзитет у Београду 6. др Предраг Видовић, ванредни професор, уно Електроенергетика, изабран у звање 10.7.2020. год., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду |
| II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Марко, Здравко, Обренић 2. Датум рођења, општина, држава: 7.6.1990., Београд, Република Србија 3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Енергетика, електроника и телекомуникације, Електроенергетика – електроенергетски системи, мастер инжењер електротехнике и рачунарства 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2014., Енергетика, електроника и телекомуникације 5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: – |
| <ol style="list-style-type: none"> 6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: – |
| III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: |
| <p style="text-align: center;">Прорачун кратких спојева са уваженим неизвесностима производње и потрошње</p> |

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација је написана на 130 страна. Садржи 10 поглавља, 14 табела, 49 слика и 148 навода из литературе. Кључна документација је написана на српском и енглеском језику.

Дисертација се састоји од следећих глава:

1. Увод
2. Математички модели елемената дистрибутивних мрежа
3. Интервална аритметика
4. Корелација снага производње и потрошње
5. Прорачун кратких спојева
6. Алгоритам за прорачун кратких спојева заснован на корелисаним интервалима
7. Нумеричка верификација алгоритма за прорачун кратких спојева заснованог на корелисаним интервалима
8. Закључак
9. Прилози
10. Литература

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Научна студија представљена у дисертацији бави се прорачуном кратких спојева у коме су уважене неизвесности производње традиционалних и савремених, електронски спрегнутих дистрибуираних генератора и неизвесности потрошње потрошача. Предложени прорачун кратких спојева заснован је на принципу декомпозиције-суперпозиције. Неизвесности су моделоване интервалима и директно су уважене у прорачуну. Поред тога у прорачуну су уважене корелације између производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача чије је моделовање и коришћење у интервалној аритметици детаљно описано у дисертацији. Развијен је нови алгоритам за прорачун кратких спојева који је првенствено намењен за савремене дистрибутивне мреже са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача.

Комисија сматра да је наслов дисертације јасно формулисан и да јасно указује на предмет истраживања и садржај рада у оквиру дисертације.

Прва глава

Ова глава представља увод у којем је кандидат указао на тренутно стање у области истраживања. Затим, кандидат је указао на значај и потребу директног уважавања неизвесности производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача у прорачуну кратких спојева пре свега дистрибутивних мрежа са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача. Неизвесности су моделоване интервалима и уважене у математичким моделима дистрибуираних генератора и потрошача. Поред тога кандидат је указао на потребу да се просторно-временске корелације између производње и потрошње моделују и уваже у прорачуну кратких спојева у циљу смањења њихове укупне неизвесности. Дефинисани су предмет и циљ истраживања, са нагласком на очекиване резултате.

Комисија сматра да су проблем, предмет и циљ истраживања у дисертацији постављени концизно и јасно и да су успешно водили кандидата кроз рад на изабраној теми. Такође, дат је свеобухватан и користан приказ научне литературе у области. Наведене су постојеће процедуре за уважавање неизвесности производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача у прорачуну кратких спојева у коме је директно уважавање неизвесности компликовано и практично непримењиво на мрежама малих димензија са неколико стотина чворова и са малим бројем дистрибуираних генератора и потрошача, а комплексност и непримењивост на мрежама великих димензија је још више изражена.

Друга глава

У другој глави дисертације кандидат је представио математичке моделе елемената дистрибутивних мрежа који се користе за извођење математичког модела мреже у симетричном и несиметричном режиму. У тој глави издвојени су модели редних и оточних елемената од којих су за моделовање неизвесности производње и потрошње у прорачуну кратких спојева посебно битни математички модели дистрибуираних генератора и потрошача. У првом делу ове главе приказан је нелинеаран модел потрошача. Јасно су приказани линеарни модели који се користе за прорачун кратких спојева а изведени су из нелинеарног модела потрошача. У другом делу ове главе приказани су модели традиционалних и електронски спрегнутих дистрибуираних генератора. Прво су приказани традиционални дистрибуирани генератори у традиционалним мрежама који су директно прикључени на мрежу и имају највећи допринос вредностима струја кратких спојева. Њихови математички модели за прорачун кратких спојева представљени су Тевененовим еквивалентима чији се параметри мењају у временским секвенцама. Затим, приказани су дистрибуирани генератори засновани на инверторима који имају могућност да ограниче своје струје кратких спојева. Посебно су издвојени математички модели два типа дистрибуираних генератора заснованих на инверторима: двострано напајане асинхроне машине и погонска кола свих редоследа и временских секвенци. У трећем делу друге главе приказани су математички модели кондензатора и пригушница, често присутних елемената у дистрибутивним мрежама за компензацију реактивне снаге и ограничење струја кратких спојева. У четвртм и петом делу представљени су математички

модел основних редних елемената мрежа: секција водова и трансформатора. Математички модел секције вода приказан је за n -фазну секцију јер се у дистрибутивним мрежама поред трофазних често срећу двофазне и једнофазне секције. Математички модел трансформатора изведен је за трофазне уравнотежене трансформаторе и он је формално исти код трофазних неуравнотежених трансформатора и код једнофазних трансформатора

Комисија сматра да су обрађени математички модели свих елемената који су неопходни да се у потпуности сагледају и разумеју математички поступци за прорачун кратких спојева електроенергетских мрежа. Јасно и детаљно су представљени математички модели дистрибуираних генератора и потрошача који су кључни за моделовање неизвесности производње и потрошње у прорачуну кратких спојева.

Трећа глава

У трећој глави јасно су представљене дефиниције и теореме интервалне аритметике да би се могле разумети све карактеристике интервала које су неопходне за њихово коришћење у прорачуну кратких спојева. У првом делу те главе приказане су основне дефиниције и теореме скупова на основу којих су дефинисани основни концепти интервалне аритметике. Представљен је класичан, Муров, реални интервал као затворен, непрекидан скуп реалних бројева. Након тога је јасно дефинисана РДМ варијабла – други тип представе интервала којим се превазилазе проблеми практичне примене реалних интервала, као што је на пример решавање једначина. Затим, дефинисане су основне аритметичке операције над класичним и РДМ интервалима и основни закони (комутативност, асоцијативност и дистрибутивност) у циљу свеобухватног разумевања интервалне аритметике. Јасно су приказане предности коришћења РДМ уместо Мурове интервалне аритметике. Поред тога дефинисани су комплексни бројеви представљени интервалима и основне аритметичке операције са таквом представом комплексних бројева. У другом делу треће главе приказане су основне теореме функција са интервалима које се могу применити и на претходно поменуто основне операције над реалним интервалима и комплексним бројевима представљеним интервалима. Посебно је истакнут проблем зависности у интервалној аритметици и јасно је приказана могућност превазилажења тог проблема на основу познавања монотоности функције. У трећем делу треће главе дефинисани су системи линеарних једначина са интервалима. Дефинисани су интервални вектор и интервална матрица као основни елементи неопходни за матричну формулацију интервалних линеарних једначина. Посебно су истакнуте основне аритметичке операције са интервалним матрицама које се користе приликом решавања система интервалних линеарних једначина и јасно је показано да је тај систем решив.

Комисија сматра да су јасно и довољно детаљно представљени интервали кроз дефиниције и теореме које су врло прецизно формулисане. На основу изнетих опсежних теоријских разматрања која се односе на разумевање и коришћење интервала у системима линеарних једначина, као и на проблеме који се јављају приликом њиховог решавања, кандидат је успешно обрадио све математичке елементе неопходне за уважавање интервала у прорачуну кратких спојева.

Четврта глава

У четвртој глави прво су математички дефинисане корелације, а затим је приказан прорачун корелација између снага производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача које су уважене у интервалној аритметици. Енергија ветра и сунца представљају облике енергије који се масовно користе у савременим електроенергетским системима и њихова доступност је изразито стохастичне природе. Због тога су у четвртој глави јасно изложени разлози због којих су на малим географским подручјима производња соларних и ветрогенератора и потрошња потрошача просторно-временски зависни и ту зависност је неопходно искористити за смањење укупне неизвесности производње и потрошње на тим географским подручјима. У првом делу четврте главе представљен је Пирсонов корелациони коефицијент и приказане су основне дефиниције из теорије вероватноће неопходне за јасно разумевање свих потребних математичких елемената за прорачун корелационих коефицијената. У другом делу четврте главе прво су представљени међусобно зависни временски подаци на локацијама где се налазе дистрибуирани генератори и потрошачи који су неопходни за прорачун корелација. Затим је истакнут проблем велике димензионалности временских података добијених из историјске базе и временске прогнозе, који

се користе за прорачун корелација, и јасно је објашњен ефикасан начин на који би се тај проблем превазишао кластеровањем података применом класификације самоорганизованим мапама вештачких неуронских мрежа који представља метод ненадгледаног машинског учења. Поред тога указано је на проблем прорачуна корелација за дистрибуиране генераторе и потрошаче који нису телеметрирани и јасно је изложен ефикасан начин на који би се тај проблем превазишао применом метода заснованог на вештачким неуронским мрежама – похрањивање унапред са пропагацијом уназад, који представља метод надгледаног машинског учења. Након тога јасно су изложена разматрања у вези са уважавањем корелационих коефицијената у интервалној аритметици и избором начина на који ће се представити интервал да би се корелације могле једноставно и ефикасно уважити. Дефинисан је корелациони коефицијент између два интервала којима се моделују неизвесности и прецизно је приказан начин на који се уважавањем корелационог коефицијента у аритметичким операцијама са та два интервала може сузити резултујући интервал и тиме смањити неизвесност резултата.

Комисија је мишљења да су корелације прецизно дефинисане и да је њихов прорачун јасно и детаљно изложен. Јасно је указано на потребе и могућности уважавања корелација између производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача када се разматра њихов збирни утицај на електроенергетски систем. Детаљно су изнета разматрања у вези са практичним проблемима коришћења велике количине података и недостатака мерења снага производње и потрошње у дистрибутивним мрежама са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача. На крају истакнута је предност коришћења РДМ интервалне аритметике у односу на класичну Мурову аритметику и јасно је приказан начин уважавања корелација у интервалној аритметици.

Пета глава

У петој глави прво су изложена општа разматрања о прорачуну кратких спојева где су јасно и детаљно описане четири декомпозиције на којима је заснован прорачун режима мреже са кратким спојем. Јасно су описани услови који су потребни да би се извршиле декомпозиције динамичког, несиметричног режима са кратким спојем и детаљно су изложене декомпозиције режима са кратким спојем на једносмеран и наизменичан режим, наизменичног режима на познат наизменичан режим кола пре кратког споја и режим Δ -кола, режима Δ -кола на субтранзитни, транзитни и устаљени режим и на крају субтранзитног, транзитног и устаљеног режима из фазног у домен симетричних компоненти. Прорачун режима са кратким спојем своди се на прорачун једносмерног и три режима Δ -кола за све три временске секвенце. Прецизно и детаљно је изведен математички модел Δ -кола за трофазне уравнотежене мреже који се једноставно може генерализовати на миксоване неуравнотежене мреже. Потпун математички модел Δ -кола изведен је у фазном и у домену симетричних компоненти. Јасно је изложен прорачун режима Δ -кола који се своди на решавање комплексних, спрегнутих, линеарних, алгебарских једначина у фазном домену или у домену симетричних компоненти. Посебно су истакнута два поступка за одређивање кључних непознатих величина. Поред тога истакнута су два случаја одређивања Тевеновог еквивалента: за пасивно и за активно Δ -коло. У другом делу пете главе приказани су репрезентативни поступци за прорачун кратких спојева. Детаљно су представљени поступци из три најпопуларнија стандарда за прорачун кратких спојева: интернационални стандард IEC 60909-0, амерички стандард IEEE C37.010 и стандард Велике Британије ER G7/4. Јасно је приказано да се поступци за прорачун кратких спојева у стандардима релативно једноставно могу извршити без употребе рачунара јер се базирају пре свега на препорукама у којима постоји пуно занемарења и апроксимација. Због тога се тим стандардима добијају непрецизне вредности струја кратких спојева, али су оне задовољавајуће прецизности у анализама у којима се користе минималне и максималне вредности струја које иду на страну сигурности. Затим су детаљно представљени репрезентативни поступци за добијање прецизнијих резултата прорачуна кратких спојева: канонични модел који представља поступак заснован на чворовима и који се примењује у преносним и дистрибутивним мрежама, хибридни компензациони метод који представља поступак заснован на гранам и који се примењује у дистрибутивним мрежама и поступак заснован на методу контурних струја који се примењује у дистрибутивним мрежама. У њима су уважени сви елементи мрежа за разлику од поступака дефинисаних у стандардима и ти елементи су детаљније моделовани због чега се поступци који дају прецизније резултате морају практично вршити уз

помоћ рачунара. Сви наведени поступци представљају поступке за прорачун режима линеарног Δ -кола. На крају другог дела пете главе јасно је приказан поступак за прорачун једносмерне компоненте.

Комисија сматра да је прорачун кратких спојева детаљно теоријски размотрен и да су јасно и детаљно изложени репрезентативни поступци за прорачун кратких спојева. Детаљно је изведен и прецизно је формулисан математички модел за прорачун кратких спојева који се може применити на свим врстама мрежа, а затим је на основу тог математичког модела јасно изложен прорачун режима са кратким спојем. Кандидат је кроз свеобухватан опис репрезентативних поступака за прорачун кратких спојева јасно указао на њихове специфичности и домен примене. У тим поступцима јасно су изложени методи и прецизно формулисани модели који се у њима користе.

Шеста глава

У шестој глави приказан је алгоритам за прорачун кратких спојева у коме су уважене неизвесности производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача. Неизвесности су моделоване интервалима и директно уважене у прорачуну кратких спојева. Корелације између неизвесне производње и потрошње моделоване су корелисаним интервалима на којима је заснован предложени алгоритам за прорачун кратких спојева. Јасно и детаљно су представљени сви кораци алгоритма које чине: прорачун режима пре кратког споја, прорачун еквивалентних импеданси/адмитанси у Δ -колу, прорачун струја кратких спојева у Δ -колу, прорачун наизменичног режима кола са кратким спојем и реконструкција режима тог кола. Режим кола пре кратког споја израчунат је итеративним прорачуном токова снага са корелисаним интервалима који је у дисертацији генерализован на неуравнотежене и миксоване дистрибутивне мреже. Тај прорачун токова снага изведен је из два поступка: директног поступка заснованог на методу контурних струја и поступка чишћења унапред-уназад. У делу директног поступка који се користи у прорачуну токова снага неизвесности производње и потрошње моделоване су интервалима и уважене су корелације између њих. На тај начин је јасно приказано како су неизвесности уважене у режиму кола пре кратког споја. У прорачуну еквивалентних импеданси/адмитанси у Δ -колу прво су одређени математички модели дистрибуираних генератора и потрошача и прецизно је дефинисан начин на који су моделоване неизвесности. Затим је прецизно описан начин на који је израчуната Тевененова матрица импеданси виђена од места кратког споја ка остатку кола користећи модификовани поступак за прорачун токова снага. Истакнуто је да се поступак за прорачун струја кратких спојева у Δ -колу може применити за све три временске секвенце. У том поступку прецизно и детаљно је представљен прорачун кључних непознатих величина који је изведен из математичког модела ансамбла кратког споја кога чине релације услова кратког споја, релације инсертованих идеалних напонских генератора и релације утицаја остатка Δ -кола на режим чвора са кратким спојем. Прорачун режима Δ -кола врши се прорачуном токова снага користећи претходно израчунате кључне непознате величине. На крају је јасно описана реконструкција режима кола са кратким спојем применом принципа суперпозиције прво на режим кола пре кратког споја и режим Δ -кола а затим на наизменичан и једносмеран режим кола са кратким спојем. У алгоритму је јасно истакнуто да су корелације између производње и потрошње уважене у прорачуну режима кола пре кратког споја, у прорачуну Тевененове матрице импеданси виђене од места кратког споја ка остатку кола и у прорачуну режима Δ -кола. На тај начин се добијају реалистичније вредности режимских величина.

Комисија сматра да предложени алгоритам за прорачун кратких спојева који је заснован на корелисаним интервалима директно уважава неизвесности производње и потрошње и у потпуности одговара постављеном циљу истраживања дефинисаном у дисертацији. У корацима алгоритма за прорачун кратких спојева заснованог на принципу декомпозиције-суперпозиције прецизно су изведени модели дистрибуираних генератора и потрошача у којима су уважене неизвесности и прецизно су изведене процедуре које се користе у тим корацима.

Седма глава

У седмој глави извршена је нумеричка верификација развијеног алгоритма за прорачун кратких спојева заснованог на корелисаним интервалима. Представљена је анализа резултата прорачуна на

примерима дистрибутивних мрежа мале и велике димензије. У примерима су приказани упоредни резултати прорачуна кратких спојева са детерминистичким приступом, приступом са класичним и са корелисаним интервалима. Поред тога дат је пример координације прекострујне заштите у коме се користи развијени алгоритам за прорачун кратких спојева за добијање режима са кратким спојем и на тај начин је приказана примена развијеног алгоритма у другом прорачуну. Резултати предложеног алгоритма за прорачун кратких спојева верификовани су софтвером који је развијен и написан у програмском језику C#. У примеру на малој дистрибутивној мрежи са 6 чворова приказани су резултати прорачуна кратких спојева са детерминистичким приступом, приступом са класичним и са корелисаним интервалима за једнофазне, двофазне, двофазне са земљом, трофазне и трофазне са земљом кратке спојеве симулиране у свим чворовима дистрибутивне мреже. На основу резултата закључено је да прорачун кратких спојева који користи приступ са корелисаним интервалима даје много уже интервале струја кратких спојева од приступа са класичним интервалима. Истакнут је значајан утицај типа кратког споја на неизвесности струја кратких спојева. Размотрени су утицаји неизвесности производње и потрошње на неизвесности струја кратких спојева као и утицај удаљености дистрибуираних генератора и потрошача у односу на место кратког споја. Закључено је да што су даље симулирани кратки спојеви од елемената који имају моделоване неизвесности, неизвесности струја кратких спојева су мање. Поред тога показано је да су ширине интервала струја кратких спојева у фазама које нису обухваћене кратким спојем занемарљиве у односу на фазе обухваћене кратким спојем. Из резултата се јасно види да прорачун кратких спојева са детерминистичким приступом даје струје кратких спојева које су једнаке централним вредностима интервала струја кратких спојева добијених приступом са класичним и корелисаним интервалима и на тај начин је доказано да се уважавањем интервала у прорачуну кратких спојева добијају доследни резултати. У примеру на великој дистрибутивној мрежи са 1003 чвора приказани су резултати прорачуна кратких спојева добијени детерминистичким приступом, приступом са класичним и са корелисаним интервалима за једнофазни, двофазни, двофазни са земљом, трофазни и трофазни са земљом кратак спој који су симулирани на крају једног извода. На том примеру је јасно показано да предложени алгоритам може ефикасно да се примени на реалним мрежама велике димензије са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача. Посебно су анализирани утицаји варијација корелационих коефицијената и варијација неизвесности дистрибуираних генератора и потрошача на неизвесности струја кратких спојева. Симулиране су вредности корелационих коефицијената од -1 до 0 , док су неизвесности потрошње симулиране од 5% до 30% а неизвесности производње од 5% до 10% . Резултати потврђују да варијације корелационих коефицијената и неизвесности производње и потрошње битно утичу на варијације неизвесности струја кратких спојева. У овом примеру истакнуто је да мали број корелисаних елемената доводи до малих разлика у резултатима добијеним приступом са класичним и корелисаним интервалима. На крају у примеру координације прекострујне заштите на IEEE мрежи са 13 чворова приказано је коришћење реалистичнијих резултата предложеног алгоритма у другом прорачуну у односу на резултате детерминистичког алгоритма. Проблем координације прекострујне заштите формулисан је као нелинеарни оптимизациони проблем са ограничењима који је након линеаризације и уважавања интервала сведен на линеарни оптимизациони проблем са интервалима. Тај проблем је решен налажењем јаког решења трансформисаног интервалног линеарног програма који је развијен и написан у програмском пакету MATLAB. У том примеру истакнут је случај да степен временске селективности прекострујних релеја није задовољен када се користе резултати детерминистичког прорачуна кратких спојева, док тај проблем не постоји када се користе резултати предложеног алгоритма.

На основу извршених експерименталних провера и спроведене свеобухватне анализе и дискусије добијених резултата, комисија сматра да је предложени алгоритам за прорачун кратких спојева заснован на корелисаним интервалима робусан, те да је верификован на свим типовима кратких спојева како у малој тако и у реалној мрежи велике димензије. Предложени алгоритам може да се ефикасно користити у другим прорачунима који ће онда дати квалитетније резултате на основу реалистичнијег режима мреже са кратким спојем.

Осма глава

У осмој глави су изнети закључци о оствареним резултатима истраживања. Такође, дате су

смернице за даља истраживања у области.

Комисија сматра да су закључци донети на бази изложених резултата и да потврђују значај предложеног прорачуна кратких спојева са уваженим неизвесностима производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача.

Девета глава

У деветој глави дати су прилози који су важни за материју која се обрађује али су издвојени да се не би оптерећивао основни део дисертације. Обрађени су: прорачун редних и оточних параметара водова голих проводника, математички модели режима ансамбла кратких спојева и прорачун струја на месту кратког споја.

Комисија сматра да прилози у потпуности употпуњавају основни део дисертације.

Десета глава

Десета глава садржи списак коришћене литературе.

Комисија сматра да је коришћена литература актуелна и правилно изабрана. Ослањајући се на референтну литературу, кандидат је успешно усмерио своје истраживање према теми дисертације, тј. на уважавање неизвесности производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача у прорачуну кратких спојева.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у међународном часопису (M23)

1. **Obrenić MZ**, Vidović PM, Strezoski LV. A novel intervals-based algorithm for the distribution short-circuit calculation. *Electrical Engineering* 2019; 101(4): 1145-1162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00853-2>

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

2. Vidović PM, **Obrenić MZ**, Strezoski LV, Sarić AT. Uvažavanje neizvesnosti potrošnje i proizvodnje u proračunima tokova snaga i kratkih spojeva. Rad prihvaćen za 12. savetovanje o elektrodistributivnim mrežama CIRED Srbija, Kopaonik, 28. septembar – 2. oktobar 2020.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Фокус научне расправе изложене у дисертацији усмерен је на проблем уважавања неизвесности производње и потрошње у прорачуну кратких спојева мрежа великих димензија, пре свега дистрибутивних, са великим бројем традиционалних дистрибуираних генератора и оних који су на мрежу прикључени преко уређаја енергетске електронике и великим бројем потрошача. При томе су постигнути сви циљеви који су постављени у овој дисертацији.

Утврђено је да постојећи поступци за прорачун кратких спојева са уваженим неизвесностима имају недостатке због којих су непримењиви у савременим дистрибутивним мрежама великих димензија. Истакнута је немогућност тих поступака да директно уваже неизвесности у прорачуну кратких спојева чак и на мрежама малих димензија са неколико стотина чворова. Због тога је развијен поступак за прорачун кратких спојева у коме су неизвесности производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача моделоване интервалима и директно уважене у прорачуну. На тај начин је постигнуто да се све предности интервалне аритметике искористе у прорачуну кратких спојева и једноставно уваже неизвесности. Додатно у циљу смањења укупне неизвесности производње и потрошње у развијеном поступку су уважени корелисани интервали којима су директно моделоване корелације између производње и потрошње у прорачуну кратких спојева. У савременим дистрибутивним мрежама постоји велики број дистрибуираних генератора и потрошача и уважавање неизвесности толико великог броја елемената утицало би на нереалне неизвесности режимских величина и довело до неупотребљивих резултата па су применом корелација значајно смањене неизвесности режимских величина.

Резултати предложеног алгоритма могу се користити у другим прорачунима који користе прорачун кратких спојева (нпр. релејна заштита, избор прекидачке опреме...). На тај начин ти прорачуни би дали квалитетније резултате на основу реалистичнијег режима мреже са кратким спојем. На примеру координације прекострујне заштите приказано је коришћење максималних и минималних вредности интервала струја кратких спојева које су резултат предложеног поступка за прорачун кратких спојева са уваженим неизвесностима производње и потрошње.

Нови алгоритам, заснован на принципу декомпозиције-суперпозиције, развијен је у фазном домену да би се једноставно уважили једнофазни и двофазни отцепи који се појављују у миксованим дистрибутивним мрежама, као и неуравнотежени елементи и потрошачи. У првом кораку развијеног алгоритма за прорачун режима пре кратког споја користи се прорачун токова снага са корелисаним интервалима који је у дисертацији генерализован на миксоване, неуравнотежене дистрибутивне мреже узимањем у обзир одговарајућих фаза елемената у фазном домену. На тај начин су у режиму пре кратког споја уважене неизвесности. Неизвесности производње уважене су у прорачуну режима пре кратког споја а последично и у прорачуну режима Δ -кола где су инсертовани идеални напонски генератори на месту кратког споја са напонима из режима пре кратког споја. Неизвесности потрошње уважене су у прорачуну режима пре кратког споја, прорачуну еквивалентних импеданси/адмитанси у Δ -колу, где су представљени линеарним моделима у интервалној форми, и директно су уважене у прорачуну режима Δ -кола својим линеарним моделима у интервалној форми и индиректно преко идеалних напонских генератора инсертованих на месту кратког споја. У релацијама за прорачун кључних непознатих величина, изведених из математичких модела ансамбла кратких спојева, детерминистичке вредности напона и импеданси замењене су интервалима и на тај начин су, поред импеданси/адмитанси потрошача, уважене неизвесности у Δ -колу.

Резултати предложеног алгоритма за прорачун кратких спојева који је заснован на корелисаним интервалима верификовани су софтвером који је развијен користећи се програмским језиком C#. Доказано је да се предложени алгоритам може успешно применити за прорачуне кратких спојева мрежа великих димензија са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача. Резултати предложеног алгоритма и детерминистичког прорачуна показују да се проширењем аритметике реалних бројева у прорачуну кратких спојева интервалном аритметиком добијају доследни резултати.

Резултати предложеног алгоритма искоришћени су у прорачуну координације прекострујне заштите и тиме је отворен пут ка примени тих резултата у другим прорачунима као што су локација квара, провера капацитета прекидача и осигурача итд. Поред тога предложена су унапређења алгоритма коришћењем АЕ интервала (affine arithmetic intervals) и коришћењем

других техника за решавање система линеарних једначина у циљу елиминисања интервалног проблема зависности, као и детаљнијим моделовањем неизвесности уважавањем вероватноће у интервалима што је започето у дисертацији на примеру два интервала са униформном расподелом вероватноће.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Прегледом докторске дисертације Комисија закључује да је приказ дисертације јасно структуриран, прегледан, систематичан и у складу са темом дисертације. Тумачење резултата је аргументовано, а изведени закључци проистичу из добијених резултата истраживања. Извршена је софтверска провера докторске дисертације на плагијаризам у библиотеци ФТН софтвером за детекцију плагијаризма iThenticate.

У складу са наведеним Комисија **ПОЗИТИВНО** оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Да. Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Да. Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе који се захтевају у радovima овакве врсте.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Анализирајући доступну литературу из области, кандидат је систематично и јасно приказао поступке за прорачун кратких спојева у којима су уважене неизвесности производње дистрибуираних генератора и потрошње потрошача као и немогућност директног уважавања неизвесности у тим прорачунима и немогућност њихове примене на реалним мрежама великих димензија са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача. Кандидат је показао да у литератури тренутно не постоји поступак за прорачун кратких спојева који је заснован на интервалима којима се ефикасно уважавају неизвесности производње и потрошње.

Моделовањем неизвесности производње и потрошње интервалима и уважавањем интервала у прорачуну кратких спојева омогућено је директно уважавање неизвесности у прорачуну кратких спојева. На тај начин је постигнуто да се све погодности интервалне аритметике могу користити у прорачуну кратких спојева. Доказано је да се проширењем аритметике са реалним бројевима у прорачуну кратких спојева интервалном аритметиком добијају доследни резултати. У циљу смањења неизвесности режимских величина због великог броја дистрибуираних генератора и потрошача у савременим дистрибутивним мрежама великих димензија, корелације између производње и потрошње директно су уважене у прорачуну. Предложени алгоритам даје израчунат режим са кратким спојем који је доста реалистичнији од режима са кратким спојем израчунатим детерминистичким алгоритмима. Због тога је показано да се резултати предложеног алгоритма могу користити у другим прорачунима након чега ће други прорачуни моћи да дају квалитетније резултате.

Предложени алгоритам за прорачун кратких спојева који је заснован на корелисаним интервалима верификован је развијеним софтвером. На основу те верификације и свеобухватне анализе резултата прорачуна утврђено је да је прорачун робусан и да се може успешно применити за прорачуне кратких спојева мрежа великих димензија са великим бројем дистрибуираних генератора и потрошача.

| |
|---|
| 4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Дисертација нема недостатке који би значајније утицали на резултате истраживања. |
| X ПРЕДЛОГ: На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже: |
| Да се докторска дисертација кандидата Марка Обренића под насловом “Прорачун кратких спојева са уваженим неизвесностима производње и потрошње” прихвати, а кандидату одобри одбрана. |

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Владимир Стрезоски, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник комисије

Др Андрија Сарић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

Др Душко Бекут, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

Др Лука Стрезоски, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

Др Александар Савић, ванредни професор,
Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, члан

Др Предраг Видовић, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.