

ПРЕКОСТРУЈНА ЗАШТИТА СРЕДЊЕНАПОНСКИХ САБИРНИЦА**MEDIUM VOLTAGE BUSBAR OVERCURRENT RELAY PROTECTION**

Јована ЈЕВТИЋ, Електротехнички факултет, Србија
Зоран СТОЈАНОВИЋ, Електротехнички факултет, Србија

КРАТАК САДРЖАЈ

Иако су сабирнице једноставан елемент постројења, самим тим и јако поуздан, до кварова на њима ипак може доћи и то најчешће тако што се квар са неког другог елемента пренесе на сабирнице. Постоје два концепта за заштиту сабирница: заштита без посебних сабирничких заштита, која се примењује у случају када струје квара нису велике и када сваки од елемената повезаних на сабирнице има своју заштиту, и заштита са посебним сабирничким заштитима, у случају да су струје квара јако велике или ако се селективност или задовољавајућа брзина реаговања не може другачије постићи. Заштита сабирница без посебних сабирничких заштита може се реализовати применом прекострујних или дистантних релеја, док се посебне сабирничке заштите заснивају на диференцијалном принципу. У овом раду анализирана је и тестирана прекострујна заштита сабирница, која се као решење примењује у дистрибутивним мрежама. Шему на којој је вршено тестирање чини напојна мрежа, трансформатор, два одвода и потрошња на сваком од одвода. На главном доводу, као и на почетку сваког одвода имплементирана је двоканална прекострујна заштита у дигиталној форми, која прихвата тренутне вредности струјних сигнала, врши њихово семпловање и нумерички их обрађује. Критеријум за реаговање заштите је интензитет фазних струја, при чему је реализована блокада заштите на главном доводу у случају квара који се десио на неком од одвода, ради задржавања селективности. Заштита је моделована у програмском пакету Matlab и његовом модулу Simulink. Тестирање заштите вршено је за различите врсте кварова, као и за различите удаљености од места уградње релеја. Извршене симулације и њихови резултати могу допринети доношењу закључака везаних за практичну примену прекострујне заштите сабирница, као и потврђивању онога што се теоријски обрађује.

Кључне речи: заштита сабирница, дистрибутивне мреже, прекострујна заштита, дигитални релеји

SUMMARY

Although busbars are a simple element of the system, and therefore very reliable, they can still be malfunctioned, most often by transferring the fault from another element to the busbars. There are two concepts for busbar protection: protection without special busbar protection, which applies when the fault currents are not large and when each of the elements connected to the buses has its own protection, and protection with special bus protection if the fault currents are very high or if selectivity or satisfactory response rate cannot be achieved in a different way. Busbar protection without special busbar protection can be realized by using overcurrent or distance relays, while special bus protection is based on the differential principle. This paper analyzes and tests overcurrent busbar protection, which is used as a solution in distribution networks. The scheme that was tested consists of a strong grid, a transformer, two outgoing lines and the consumption of each of the outgoing line. At the main incoming line, as well as at the beginning of each outgoing line, two-channel digital overcurrent protection is implemented, which accepts current values of current signals, samples them and processes them numerically. The criterion for protection tripping is the intensity of phase currents, whereby a blockage of protection at the main incoming line is realized in the case of a fault occurring on one of the outgoing lines, to maintain selectivity. The protection is modeled in the Matlab software package and its Simulink module. Protection testing was performed for different types of faults, as well as for different distances from the relay installation location. The simulations performed and their results can contribute to drawing conclusions regarding the practical application of overcurrent bus protection, as well as validating what is theoretically handled.

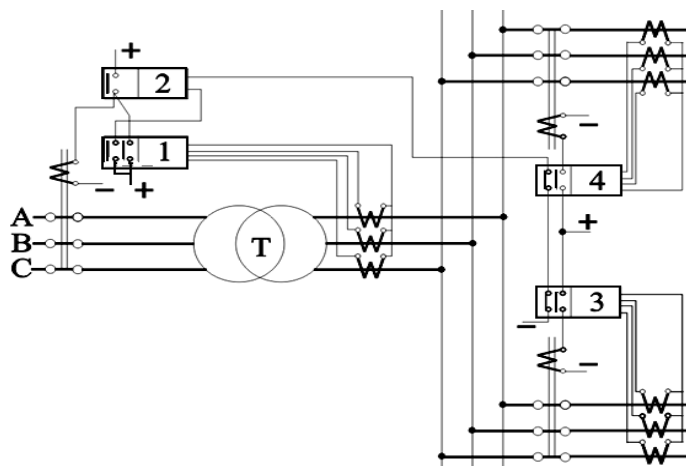
Keywords: busbar protection, distribution grids, overcurrent protection, digital relays

УВОД

Заштита сабирница, као елемента на коме се кварови не дешавају често, врши се због постојања могућности преноса квара са неког од елемената повезаних на сабирнице, на пример, неправилне манипулације растављачем. Сабирнице се могу штитити без посебне сабирничке заштите, где се за заштиту користе заштитни уређаји елемената повезаних на сабирнице, који ће квар на сабирницама видети у другом или трећем степену, и са посебном сабирничком заштитом, која се примењује у случају великих струја квара. Посебна сабирничка заштита реализује се помоћу диференцијалне заштите, због потребне брзине. Предмет овог рада је прекострујна заштита сабирница, а она спада у заштиту сабирница без посебне сабирничке заштите. Стога се примењује на средњем напону, док се на високом напону примењује посебна сабирничка заштита. Поред прекострујних релеја, заштита сабирница без посебних сабирничких заштита може се реализовати и дистантним релејима.

ПРЕКОСТРУЈНА ЗАШТИТА САБИРНИЦА

Оваква заштита нашла је примену на средњем напону, најчешће као решење у дистрибутивним мрежама [1]. На Слици 1 приказана је шема средњенапонског постројења са једним доводом и два одвода, на којој се могу уочити 3 прекострујна двокалнална релеја, тј. сваки са по два контакта. Од та два контакта, леви контакт је брзи, без временске задршке, тј. краткоспојни, а десни је прекострујни са временском задршком која се може подешавати. На релејима 3 и 4 краткоспојни контакти су мирни, док су прекострујни радни, док су на релеју 1 оба контакта радна. Такође, постоји и један временски, помоћни, релеј и он је на слици означен бројем 2.



СЛИКА 1: ШЕМА ПРЕКОСТРУЈНЕ ЗАШТИТЕ САБИРНИЦА

Принцип рада заштите је следећи. У случају квара на једном од два одвода, нпр. горњем, квар ће видети заштита 1 и 4. Заштита 4 краткоспојним каналом отвара мирни контакт и тако блокира временски релеј 2, кога је одмах по регистровању квара активирала заштита 1 својим краткоспојним каналом. Блокадом релеја 2 постигнута је и блокада заштите 1 и спречено је да та заштита отвори главни прекидач и искључи цело постројење. Заштита 4 тада после временског затезања затвара свој прекострујни члан и искључује прекидач на воду.

У случају квара на сабирницама, њега ће видети само заштита на доводу, тј. заштита 1 ће затворити свој краткоспојни члан и после подешеног времена t_2 искључити прекидач. Временски релеј 2 сада није блокиран јер квар на сабирницама не активира релеје на одводима.

Ова заштита омогућава и резервирање у случају отказа прекидача или основне заштите одвода. Примера ради, за квар на првом одводу, заштита 4 својим краткоспојним каналом блокира временски релеј 2 и након временске задршке t_4 шаље налог за отварање прекидача. У случају отказа овог прекидача, квар ће отклонити заштита 1 после времена t_1 својим прекострујним каналом, који није повезан на временски релеј, па стога није ни блокиран (због селективности, требало би да важи $t_1 > (t_3, t_4)$, где су t_3 и t_4

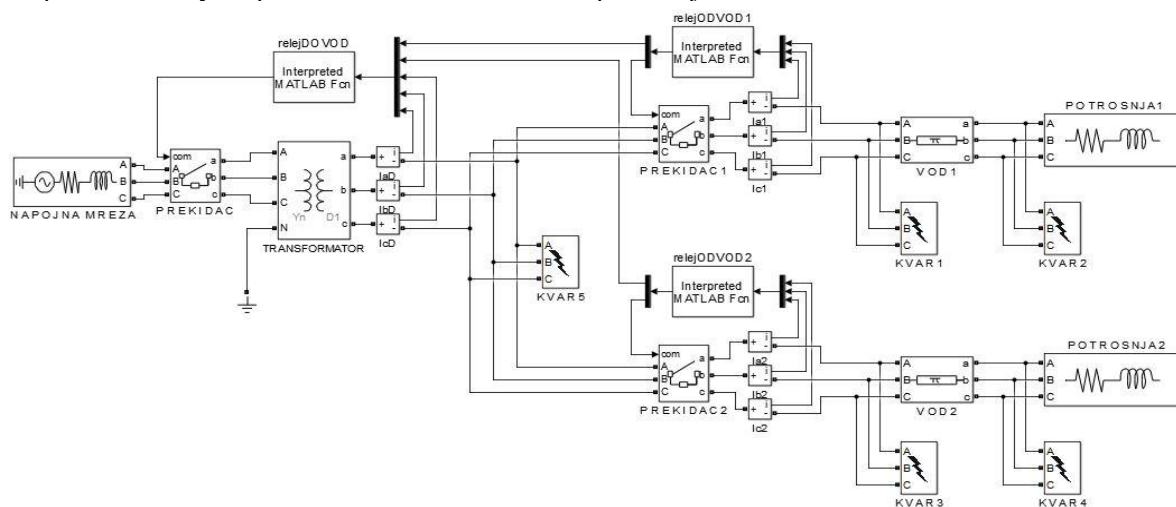
временска подешања прекострујних канала заштита 3 и 4). Њен прекострујни канал повезан је директно на главни прекидач, чиме ће бити искључено цело постројење. У случају квара на неком од одвода и отказа заштите на том одводу, опет ће реаговати заштита 1 и искључити главни прекидача и цело постројење после t_2 (сада временски релеј 2 није блокиран). Дакле, заштита 1, поред тога што представља заштиту сабирница, она је и резервна заштита у случају отказа прекидача или заштите на неком од одвода.

СИМУЛАЦИЈА ПРЕКОСТРУЈНЕ ЗАШТИТЕ САБИРНИЦА

Прекострујна заштита моделована је у програмском пакету Matlab и његовом додатном модулу Simulink [2]. У Simulink-у је моделован систем који чине два одвода и један главни довод, који се штите прекострујним двоканалним релејима.

Simulink модел

Шема представљена у Simulink-у садржи напојну мрежу, представљену преко блока Three-Phase Source, трансформатор у виду блока Three-Phase Transformer, два одвода која су представљена преко π шеме (блокови Three-Phase PI Section Line), а потрошња је представљена преко блокова Three-Phase Series RLC Load. У свакој фази на доводу и одводима постоје блокови за мерење струје. Ови блокови имају улогу струјних трансформатора, који прослеђују тренутне вредности струја прекострујним релејима. Прекострујна заштита реализована је на доводу и на одводима помоћу блока MATLAB Function, која са подешеном фреквенцијом позива одговарајућу m-датотеку. У m-датотеци сигнали се обрађују, при чему се проверава да ли је неки од услова за реаовање релеја испуњен и као излазни подаци прослеђују се управљачки сигнали ка прекидачу. Кварови потребни за симулацију сабирничке заштите реализовани су преко блока Three-Phase fault, у оквиру кога је могуће задати врсту квара, тренутак квара и прелазну отпорност на месту квара. Описани Simulink модел приказан је на Слици 2.



СЛИКА 2: SIMULINK МОДЕЛ ПРЕКОСТРУЈНЕ ЗАШТИТЕ САБИРНИЦА

Алгоритам прекострујне заштите сабирница

Блок MATLAB Function представља „хардверски“ део симулиране прекострујне заштите сабирница. Његова улога је да врши одабирање тренутних вредности струја које се доводе прекострујној заштити. Подешено време извршавања Matlab функције је 1 ms, и оно је независно од корака прорачуна читаве симулације. Софтверски део представља програм који блок MATLAB Function позива. Како у систему постоје три релеја, у симулацији постоје три различите функције, којима се прослеђују различити одбирци струја. Matlab функцији, за релеј који се налази на главном доводу, помоћу блока MATLAB Function прослеђују се одбирци фазних струја, укупно три величине, као и два дискретна улаза, којима се врши повезивање са заштитима које се налазе на одводима, тј. преко којих се врши блокада заштите на главном доводу у случајевима када она не би требало да реагује. За естимацију фазора струја користи се

Фуријеова нерекурзивна метода, при чему се естимира само основни хармоник струје. Фазор основног хармоника струје, када се користи косинусни Фуријеов ред, може се одредити преко израза:

$$\underline{I} \cong \frac{\sqrt{2}}{m} \left[\sum_{n=1}^m i_n \cos \left[\frac{2\pi}{m} n \right] - j \left[\sum_{n=1}^m i_n \sin \left[\frac{2\pi}{m} n \right] \right] \right] = I_r + jI_i \quad (1)$$

где су: m – број одбирака у прозору података, који је једнак једној основној периоди сигнала, i_n – n -ти одбирак струје, $\cos \left[\frac{2\pi}{m} n \right]$ – косинусни коефицијенти Фуријеовог реда, $\sin \left[\frac{2\pi}{m} n \right]$ – синусни коефицијенти Фуријеовог реда; I_r и I_i – реална и имагинарна компонента фазора основног хармоника струје.

Ефективна вредност основног хармоника струје може се израчунати као:

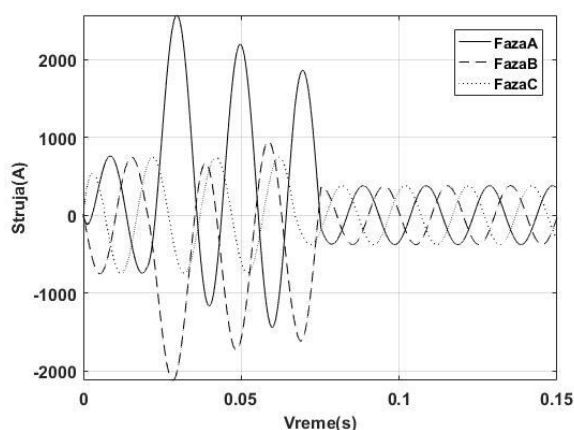
$$I = \sqrt{I_r^2 + I_i^2} \quad (2)$$

Одбирци струја i_n складиште се у одређеним регистрима (прозор података), при чему свака величина има свој регистар. Када са А/Д конвертора стигне нови одбирак, врши се ажурирање регистра. Убацивање новог одбирка у регистар спроводи се тако што се најстарији, тј. први одбирак избаци, а остали одбирци се помере за једно место налево, док се нови одбирак убаци на последње место у регистру, које је после померања осталих одбирака остало упражњено. Након што су одређени фазори свих потребних величина, прелази се проверу услова реаговања релеја. Уколико се детектују струје веће од подешене струје релеја, активира се временски релеј у форми бројача. Инкрементација бројача за 1 одговара периоди одабирања А/Д конвертора, и у конкретном случају износи 1 ms. Ако бројач изброји време потребно за реавање одговарајуће заштите, а струјни услов је и даље испуњен, заштита реагује и шаље налог за искључење одговарајућег прекидача.

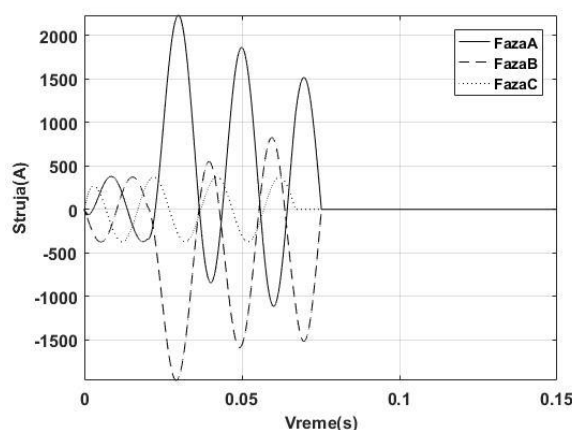
РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

Релеји на одводима имају струјна подешења од 280 А, а временско подешење од 40 ms (t_3, t_4). Релеј који се налази на доводу има струјно подешење од 550 А, а два временска подешења 20 ms (t_2) и 80 ms (t_1). Оваква временска затезања, иако не одговарају реалности, омогућавају кратко трајање саме симулације и јасне и прегледне таласне облике добијених струја и напона.

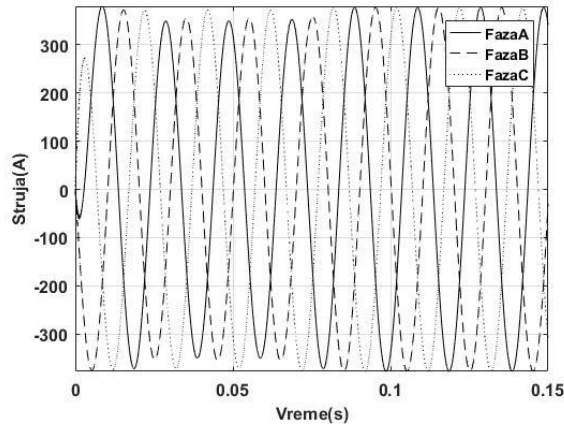
Први симулирани квар је квар на крају горњег одвода, између фаза А и В у тренутку 0.02s од почетка симулације. На сликама 1.1, 1.2, 1.3 приказани су графици струја измерених на доводу, као и струја на оба одвода.



СЛИКА 1.1: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОВОДУ



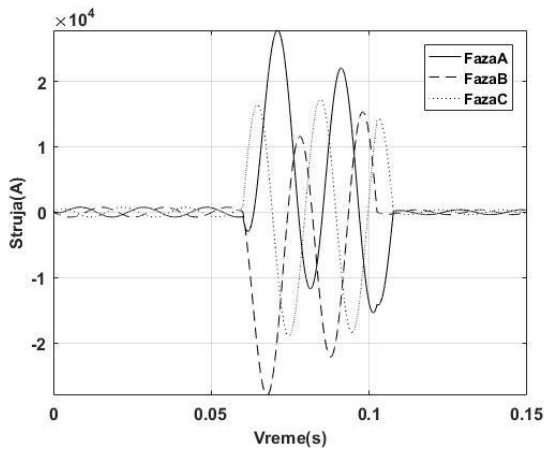
СЛИКА 1.2: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ГОРЊЕМ ОДВОДУ



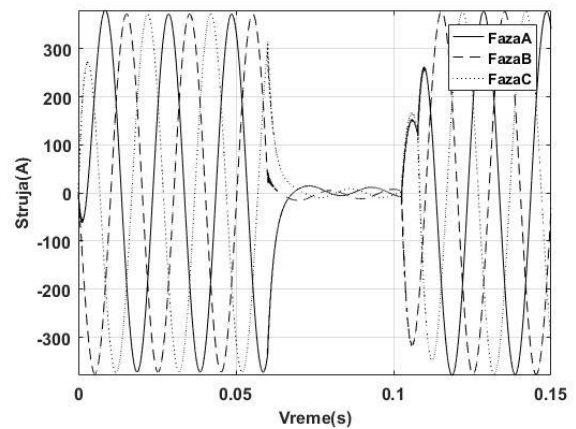
СЛИКА 1.3: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОЊЕМ ОДВОДУ

Заштита горњег одвода је правилно реаговала и искључила прекидач, јер је струја на горњем одводу (Слика 1.2.), након временског затезања од 40 ms, пала на нулу. Струје регистроване на доводу, после појаве и искључења квара, задржавају вредност струје која се имала на једном одводу у радном режиму, јер је сада само један одвод у погону (Слика 1.1). Одвод без квара задржао је своје струје на радној вредности (Слика 1.3). Може се закључити да је заштита у овом тесту селективно искључила вод са кваром, иако је симулиран квар на крају одвода, који карактеришу релативно мале струје квара, због велике импедансе петље квара.

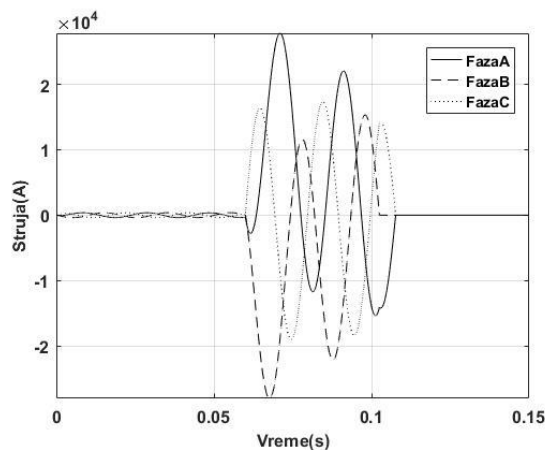
Наредни симулиран квар јесте трофазни кратак спој на самом почетку доњег одвода. Да би селективност заштите била задовољена, овај квар би требало да искључи заштита на том одводу, да не би дошло до искључења целог постројења. На сликама 2.1, 2.2, 2.3 приказани су графици струја измерених на доводу, као и струја на оба одвода.



СЛИКА 2.1: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОВОДУ



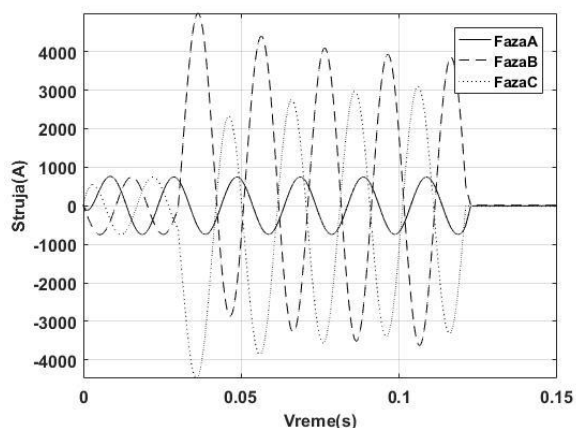
СЛИКА 2.2: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ГОРЊЕМ ОДВОДУ



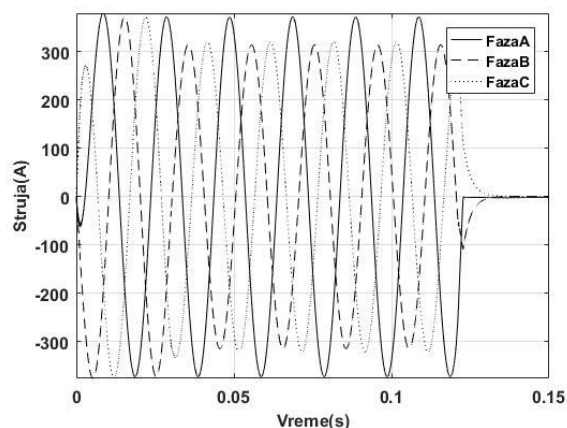
СЛИКА 2.3: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОЊЕМ ОДВОДУ

Заштита је успешно одреаговала и искључила прекидач на доњем одводу, па су струје након отклањања квара једнаке нули (Слика 2.3). Струје на горњем одводу се након отклањања квара враћају на радну вредност (Слика 2.2), док струје на доводу добијају вредност радне струје која се имала на одводима пре квара, јер само један од одвода остаје у погону након квара (Слика 2.1). Квар настаје у 0.06 s, заштита га искључује за 40 ms. Дакле, квар је искључен око 0.1 s.

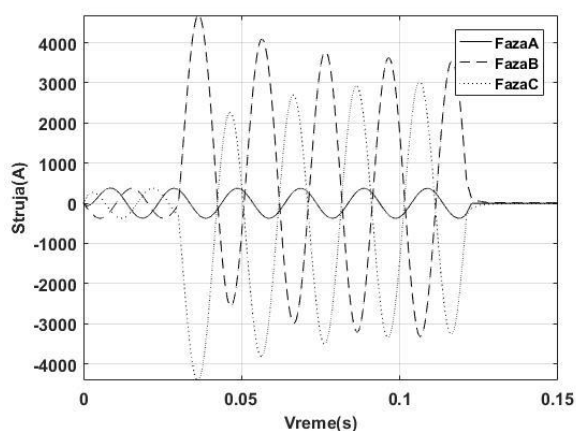
У следећем тесту симулиран је отказ прекидача за квар између фаза В и С на доњем одводу. Овај случај реализован је прекидањем комуникације између релеја и прекидача на доњем одводу. На сликама 3.1, 3.2, 3.3 приказани су графици струја измерених на доводу, као и струја на оба одвода. Квар отклања заштита на доводу након 80 ms (временско затезање заштите од отказа прекидача мора бити дуже од временског затезања заштита на одводима), јер је прекидач на одводу отказао, због чега се искључује цело постројење.



СЛИКА 3.1: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОВОДУ

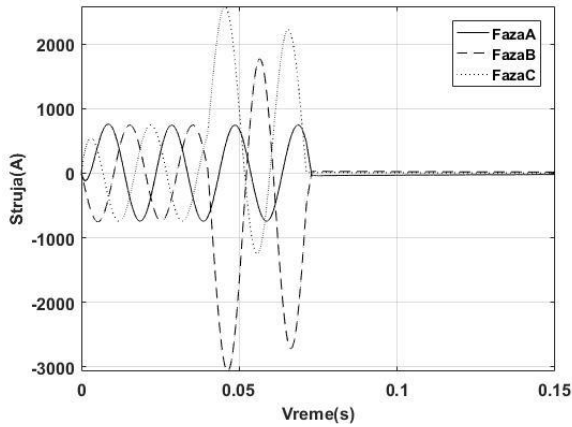


СЛИКА 3.2: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ГОРЊЕМ ОДВОДУ

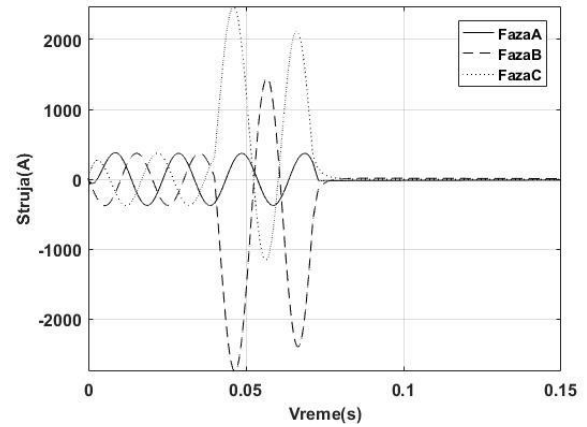


СЛИКА 3.3: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОЊЕМ ОДВОДУ

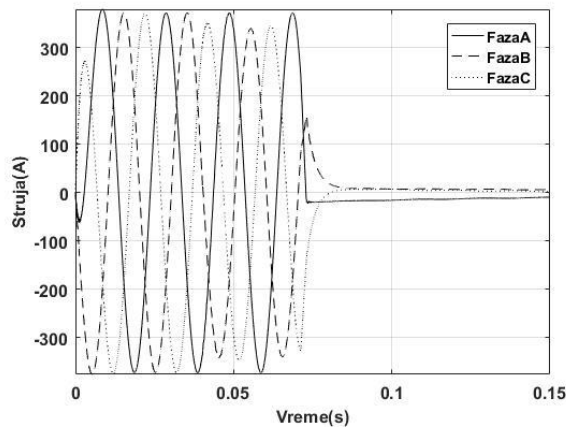
У четвртном тесту приказан је случај отказа заштите на одводу за случај квара између фаза В и С са земљом на горњем одводу. Отказ заштите реализован је њеним блокирањем у Simulink-у. На сликама 4.1, 4.2, 4.3 приказани су графици струја измерених на доводу, као и струја на оба одвода. У овом случају, заштита на доводу реагује за 20 ms, јер јој временски релеј није блокиран. Квар настаје у 0.04 s, а елиминише се око 0.06 s. Цело постројење је искључено и све струје падају на нулу. Овај тест показује да заштита реагује и при кваровима са земљом. Међутим, једнофазни кратак спој ова заштита не може детектовати, с обзиром на то да је моделован погон са изолованом неутралном тачком.



СЛИКА 4.1: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОВОДУ

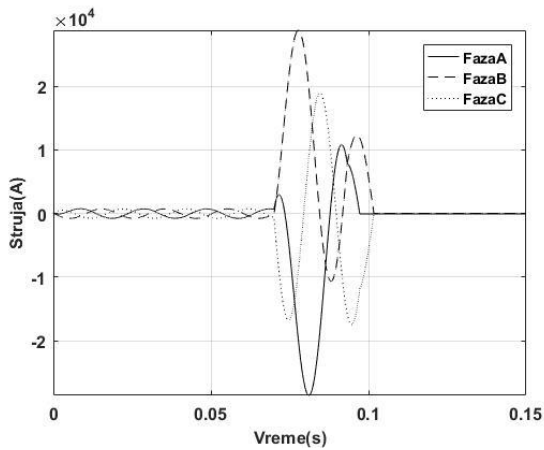


СЛИКА 4.2: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ГОРЊЕМ ОДВОДУ

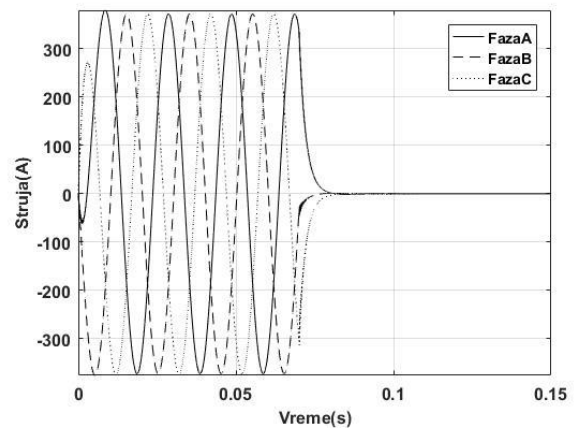


СЛИКА 4.3: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОЊЕМ ОДВОДУ

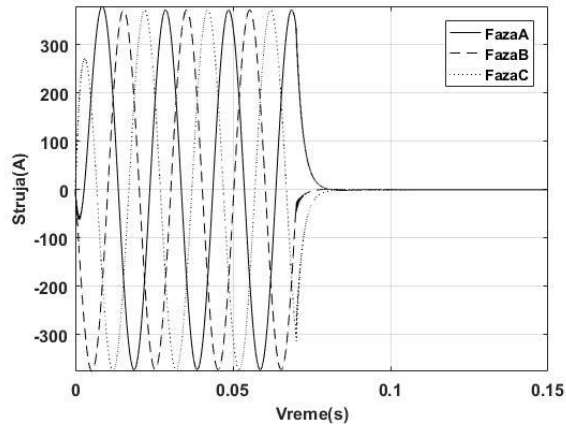
Последњи квар је трофазни кратак спој на самим сабирницама. На Сликама 5.1, 5.2 и 5.3 приказани су добијени резултати. Заштите на одводима нису виделе овај квар јер им је „иза леђа“ и зато реагује заштита на доводу, тако да након 20 ms искључује цело постројење.



СЛИКА 5.1: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОВОДУ



СЛИКА 5.2: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ГОРЊЕМ ОДВОДУ



СЛИКА 5.2: ФАЗНЕ СТРУЈЕ НА ДОЊЕМ ОДВОДУ

ЗАКЉУЧАК

На основу симулација види се да тренутак квара и удаљеност места квара од места уградње релеја утичу на струју квара, тј. на њен интензитет. Тренутак настанка квара утиче на ниво једносмерне компоненте у струји квара. Заштита реализована на овај начин, без посебних сабирничких заштита, може се применити само на средњем напону, из разлога што се на 220 kV и 400 kV захтева већа брзина и осетљивост, па се стога се морају користити посебне сабирничке заштите. Када постројења нису сложена и када струје квара нису велике, што је случај на средњем напону, дозвољава се оваква реализација, јер ће заштите других елемената видети квар и уклонити га, чиме се постиже и одговарајући економски бенефит. Такође, оваква заштита добро одрађује посао и у случају резервирања, јер је релеј на доводу резерва у случају отказа прекидача или заштите на одводу, па се то може сматрати предношћу овог начина заштите.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ђурић М, Стојановић З, 2014, „Релејна заштита“, КИЗ „Центар“, Београд, 217-218
2. Стојковић З, Микуловић Ј, Стојановић З, 2006, „Практикум из софтверских алата у електроенергетици“, „Академска мисао“, Београд, II/2-II/52