

ДЕТЕКЦИЈА МЕЂУФАЗНИХ КВАРОВА НА ВОДУ КОРИШЋЕЊЕМ ЈЕДНОГ МОНОФАЗНОГ ПРЕКОСТРУЈНОГ РЕЛЕЈА

DETECTION OF INTERPHASE FAILURES ON POWER LINES BY USING ONE SINGLE-PHASE OVERCURRENT RELAY

Михаило АНТОНИЈЕВИЋ, Електротехнички факултет у Београду, Србија
Зоран СТОЈАНОВИЋ, Електротехнички факултет у Београду, Србија

КРАТАК САДРЖАЈ

Фазна прекострујна заштита је најстарија заштита водова. У зависности да ли је да ли је вод радијалан или двострано напајан, примењује се неусмерена или усмерена фазна прекострујна заштита. У овом раду је анализирана и тестирана неусмерена прекострујна заштита коришћењем само једног монофазног релеја. Овакав тип заштите примењује се у дистрибутивним мрежама са изолованом неутралном тачком за заштиту од међуфазних кратких спојева (двофазних и трофазних). Тестови су вршени на примеру једноставног електроенергетског система који чине јака мрежа, трансформатор, 10kV вод и потрошач. Заштита се налази на почетку вода, а критеријум реаговања је интензитет међуфазне струје. Заштита је тестирана за различите врсте кварова, као и за различите удаљености квара од места уградње заштите. У раду је спроведена и упоредна анализа осетљивости ове заштите у односу на класичну трофазну и двофазну прекострујну заштиту. Све симулације вршене су у програмском пакету Matlab и његовом модулу Simulink. Резултати симулација и закључци изведени из истих могу се користити како за даље усавршавање овог типа заштите тако и у случајевима у пракси, при избору уређаја, њиховом подешавању и тестирању.

Кључне речи: прекострујна заштита, монофазни релеј, изолована мрежа

ABSTRACT

Phase overcurrent protection is the oldest line protection. Depending on whether the power line is radial or powered from both sides, non-directional or directional phase overcurrent protection is applied. This paper analyzes and tests non-directional overcurrent protection using only one single-phase relay. This type of protection is applicable in distribution grids with an isolated neutral point for protection against interphase short circuits (two-phase and three-phase). The tests were performed on the example of a simple electric power system consisting of a strong grid, a transformer, a 10kV line and a consumer. The protection is at the beginning of the line, and the response criterion is the intensity of the phase currents. Protection is tested for different types of faults, as well as for different fault distances from the place of protection installation. The paper also performs a comparative analysis of the sensitivity of this protection against the classic three-phase and two-phase overcurrent protection. All simulations were performed in the Matlab software package and its Simulink module. The results of the simulations and the conclusions drawn from them can be used to further refine this type of protection as well as in practice, when selecting devices, setting them up and testing them.

Key words: overcurrent protection, single-phase relay, isolated neutral point

Михаило Антонијевић – vmikiant@gmail.com, 0638365199
Зоран Стојановић – stojanovic@etf.rs

УВОД

Фазна прекострујна заштита је најстарија заштита водова. Критеријум на коме почива је интензитет неке од фазних струја штићеног вода, што је чини крајње једноставном. Могуће варијанте прекострујне заштите су са релејима у свакој фази (трофазна заштита), са релејима у две фазе (двофазна заштита) и са једним монофазним релејом, као посебним случајем двофазне заштите (1). Избор варијанте прекострујне заштите превасходно зависи од конфигурације мреже и начина уземљења неутралне тачке. По својој конфигурацији, мреже могу бити: радијалне, двострано напајане и петљасте. Према начину уземљења неутралних тачака (звездишта) трансформатора, мреже могу бити: изоловане, уземљене преко нискоомске импедансе, уземљене преко високоомске импедансе и директно уземљене.

У зависности од тога да ли је битан смер струје која протиче кроз релеј, разликују се неусмерена фазна прекострујна заштита, која се примењује у радијалним мрежама, и усмерена прекострујна заштита, која се примењује код двострано напајаних и петљастих мрежа. Време реаговања прекострујне заштите може бити константно, када релеј реагује независно од интензитета струје, и зависно од струје (што је већа струја, краће је време реаговања, и обрнуто) (1).

Трофазна прекострујна заштита се примењује у директно уземљеним мрежама и штити од свих врста кратких спојева. Двофазна прекострујна заштита нашла је примену у радијалним мрежама са изолованим неутралним тачкама, јер је јефтинија и једноставнија од трофазне прекострујне заштите. Штити од међуфазних кратких спојева (трофазних и двофазних), док се за кварове са земљом мора употребити земљоспојна заштита. Двофазна прекострујна може се реализовати употребом само једног монофазног прекострујног релеја, и управо ова варијанта заштите је анализирана у овом раду (1).

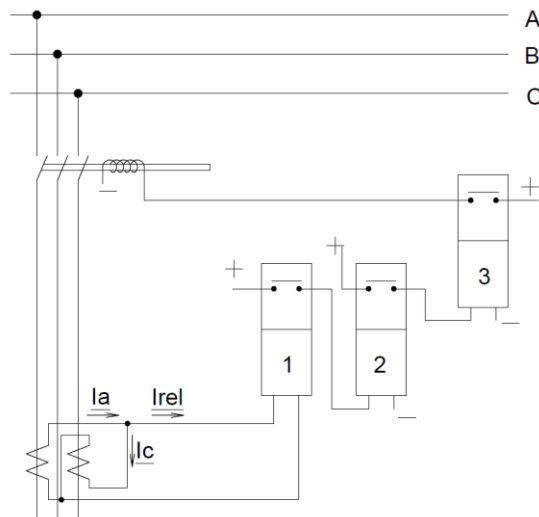
ДВОФАЗНА ПРЕКОСТРУЈНА ЗАШТИТА СА ЈЕДНИМ МОНОФАЗНИМ РЕЛЕЈОМ

Двофазна прекострујна заштита са једним монофазним прекострујним релејом приказана је на Слици 1. Претпостављено је да мерење струје постоји у фазама А и С, мада може бити у било које две фазе. Кроз прекострујни релеј 1 протиче векторска разлика фазних струја:

$$I_{rel} = I_a - I_c, \quad (1)$$

Пошто релеј мери међуфазну вредност струје, подешавање овог релеја мора бити $\sqrt{3}$ пута веће од вредности фазне струје. Струја кроз релеј постоји при свим врстама међуфазних кварова јер је за:

- трофазни квар $I_{rel} = \sqrt{3}I_k$,
- двофазни квар између фаза А и С $I_{rel} = 2I_k$,
- двофазни квар између фаза А и В или између фаза В и С $I_{rel} = I_k$.



СЛИКА 1 – ДВОФАЗНА ПРЕКОСТРУЈНА ЗАШТИТА СА ЈЕДНИМ МОНОФАЗНИМ РЕЛЕЈОМ: 1-МОФАЗНИ ПРЕКОСТРУЈНИ РЕЛЕЈ, 2- ВРЕМЕНСКИ РЕЛЕЈ, 3- ПОМОЋНИ РЕЛЕЈ

При поређењу ове заштите са трофазном или двофазном заштитом, које прате вредности фазних струја и чија су подешавања сразмерна фазној струји, закључује се да је двофазна заштита са једним монофазним релејом подједнако осетљива као трофазна или двофазна за случај трофазног квара, $2/\sqrt{3}$ пута осетљивија

од трофазне или двофазне за случај квара између фаза А и С, односно $\sqrt{3}$ пута мање осетљива и случају двозних кварова између фаза А и В и фаза В и С (1).

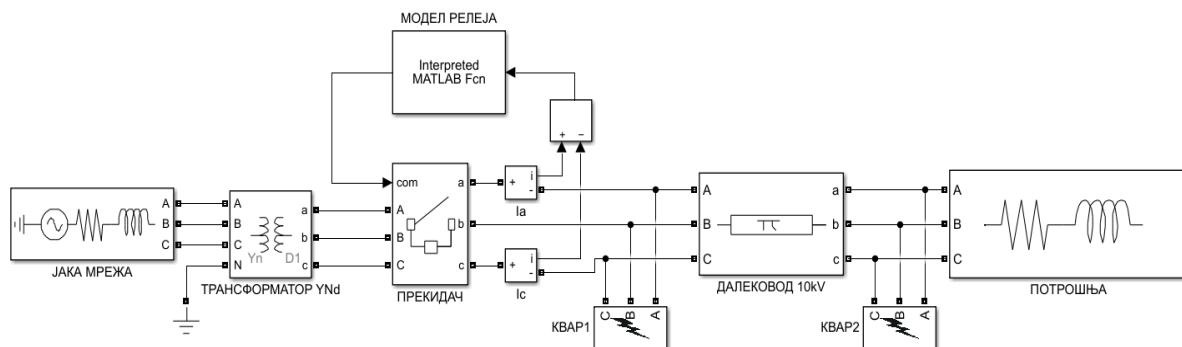
СИМУЛАЦИЈА ДВОФАЗНЕ ПРЕКОСТРУЈНЕ ЗАШТИТЕ СА ЈЕДНИМ МОНОФАЗНИМ РЕЛЕЈОМ

Дигитална двофазна прекострујна заштита са једним релејом симулирана је у програмском пакету Matlab и његовом модулу Simulink (2). Simulink модел поједностављеног електроенергетског система за потребе ове симулације, приказан је на Слици 2.

Simulink модел

Заштита је постављена на почетку вода који повезује потрошњу са трансформатором. Мрежа је моделована помоћу блока Three-Phase Source, са подешеном снагом кратког споја 1000 MVA и називним напонем 110 kV. Потрошња је симулирана помоћу блока Three-Phase Series RLC Load, а параметри потрошње су: активна снага 5 MW, индуктивна реактивна снага 2 Mvar, називни напон 10 kV. Трансформатор је моделован помоћу блока Three-Phase Transformer (Two Windings). При моделовању трансформатора коришћени су подаци реалног трансформатора Ynd5 снаге 40 MVA, преносног односа 110/10.5 kV, напона кратког споја $u_k=18\%$, са губицима у бакру $P_{Cu}=208$ kW, губицима празног хода $P_0=19.5$ kW и струјом празног хода $i_0=0.14\%$. Трансформатор је изабран према Техничкој препоруци електродистрибуције (3). Отпорности и индуктивности намотаја су израчунате из наведених података о трансформатору (4). Потрошња је прикључена на мрежу преко дистрибутивног надземног једносистемског вода. Распоред проводника је хоризонталан са међуфазним растојањем у глави стуба од 80 cm. Стабло стуба је висине 15 m. Узет је проводник Ал/Ч 95/15 mm². Параметри вода су израчунати на основу познатих карактеристика проводника и геометрије вода (5). Висина стуба, дужине конзола, тип проводника изабрани су према Техничкој препоруци електродистрибуције (6).

На конкретном примеру дистрибутивног вода тестирана је двофазна прекострујна заштита при појави међуфазних кварова и кварова са земљом. Кварови су симулирани помоћу блока Three-Phase Fault, где је могуће одабрати врсту квара и време настанка квара. Осим тестирања на кварове, извршена је и упоредна анализа осетљивости двофазне прекострујне заштите, реализоване помоћу једног монофазног релеја, и трофазне заштите, ради утврђивања могућности њене примене.



СЛИКА 2 – СИМУЛИНК МОДЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОГ СИСТЕМА

Алгоритам симулиране заштите

Софтверски део релеја испрограмиран је у оквиру Matlab-a, у оквиру датотеке *relej.m*. За функционисање релеја битно је мерење једне међуфазне струје. Сигнал међуфазне струје прослеђује се блоку који садржи датотеку *relej.m*, у коме је испрограмирана функција двофазне прекострујне заштите са једним монофазним релејом. Тај блок на Слици 2 је означен као Interpreted MATLAB function. Он служи да проследи електричне величине из електроенергетског система дефинисаној функцији *relej.m*. Поменути величине функција одабира (семплује) у дискретним временским тренуцима, међусобно размакнути за $T_{od}=1$ ms. У *m* датотеци одбирци се обрађују и проверава се услов реаговања заштите, а као излазни подаци прослеђују се управљачки сигнали ка трофазном прекидачу. Одбирци тренутних вредности међуфазне струје складиште се у регистру (прозору података). Како је фреквенција система 50 Hz, а

периода одабирања је подешена на $T_{od}=1\text{ ms}$, следи да је дужина регистра $m=20$ одбирака. За естимацију фазора основног хармоника струје користи се косинусни ред дискретне Фуријеове методе:

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

где су: i_n – n -ти одбирок 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 компонета фазора основног хармоника струје (1).

Ефективна вредност основног хармоника струје може се израчунати као:

$$I = \sqrt{I_r^2 + I_i^2} \quad (3)$$

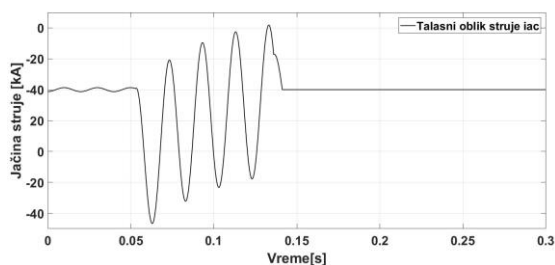
Када са А/Д конвертора стигне нови одбирок, врши се ажурирање регистра. Додавање новог одбирка i_n у регистар врши се тако што се најстарији одбирок одбацује, цео регистар се помера за једно место у лево (смањи им се индекс за 1), а затим се нови одбирок стави у последње место регистра, које је упражњено претходном акцијом. На основу свега поменутог, време конвергенције алгоритма је 20 ms, тј. тек након овог времена добија се тачна вредност фазора. 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 реаговање одговарајуће заштите, а струјни услов је и даље испуњен, заштита реагује и шаље налог за искључење одговарајућег прекидача.

РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

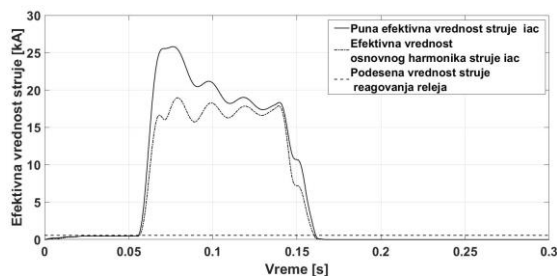
У даљем тексту приказани су резултати симулација за: трофазни кратак спој на почетку далековода са анализом утицаја једносмерне компоненте струје квара на укупну струју квара, двофазни кратак спој фаза А и В, А и С, као и В и С. Осим тога, одређена је и критична дужина далековода са аспекта осетљивости заштите реализоване једним монофазним прекострујним релејом. Критична дужина далековода одређена је у односу на двофазан кратак спој између фаза В и С, јер се тада јављају најмање струје квара, што ће касније бити показано. Подешавање заштите са једним монофазним релејом је 570 А. Временски члан релеја је подешен на 80 ms.

ТРОФАЗАН КРАТАК СПОЈ СА АНАЛИЗОМ УТИЦАЈА ЈЕДНОСМЕРНЕ КОМПОНЕНТЕ СТРУЈЕ КВАРА НА УКУПНУ СТРУЈУ КВАРА

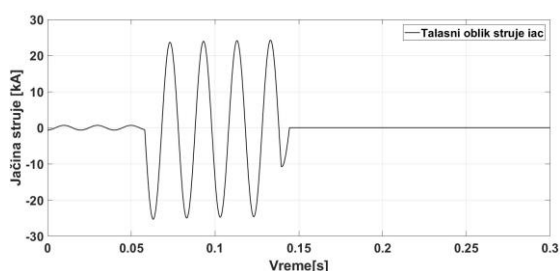
Квар је симулиран на почетку далековода. У том случају јавља се највећа вредност струје квара. Једносмерна компонента у струји квара зависи од тренутка квара, и имаће максималну вредност у некој фази ако се квар деси у тренутку када напон те фазе пролази кроз нулу, односно, неће постојати ако се квар деси у тренутку максимума или минимума напона те фазе. Максимална једносмерна компонента струје квара у струји i_{ac} јавиће се у тренутку проласка фазног напона u_b кроз максималну вредност, односно неће постојати при проласку напона u_b кроз нулу. На сликама 3 и 4 дат је резултат симулације за максималну једносмерну компоненту у међуфазној струји квара i_{ac} , а на сликама 5 и 6 дат је резултат симулације без једносмерне компоненте у истој струји.



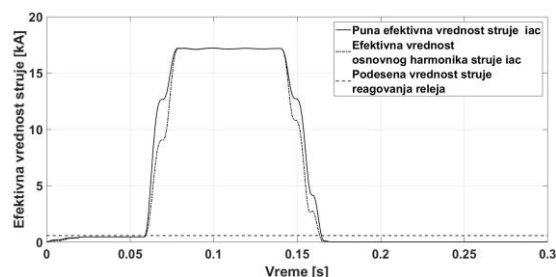
СЛИКА 3 – СТРУЈА I_{AC} ПРИ ТРОФАЗНОМ КРАТАКОМ СПОЈУ СА МАКСИМАЛНОМ ЈЕДНОСМЕРНОМ КОМПОНЕНТОМ



СЛИКА 4 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ТРОФАЗНОМ КРАТАКОМ СПОЈУ СА МАКСИМАЛНОМ ЈЕДНОСМЕРНОМ КОМПОНЕНТОМ



СЛИКА 5 – СТРУЈА I_{AC} ПРИ ТРОФАЗНОМ КРАТАКОМ СПОЈУ СА МИНИМАЛНОМ ЈЕДНОСМЕРНОМ КОМПОНЕНТОМ



СЛИКА 6 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ТРОФАЗНОМ КРАТАКОМ СПОЈУ СА МИНИМАЛНОМ ЈЕДНОСМЕРНОМ КОМПОНЕНТОМ

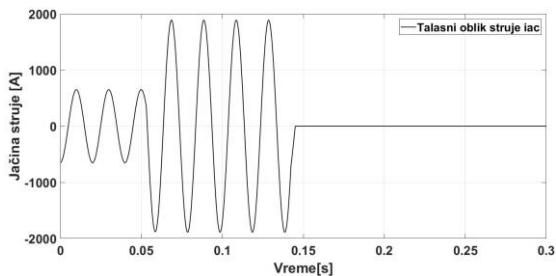
Са графика на сликама 3 и 5 види се да је заштита у оба случаја одреаговала за око 90 ms. Напон u_b пролази кроз максимум у тренутку $t=0.053$ s, када је и симулиран квар за максималну једносмерну компоненту у струји квара. За минималну једносмерну компоненту у струји квара квар је симулиран у $t=0.058$ s, када напон u_b пролази кроз нулу. На сликама 4 и 6 приказана је ефикасна вредност основног хармоника међуфазане струје квара, срачуната коришћењем Фуријеове методе (изрази (2) и (3)). На истим сликама приказана је и пуна ефикасна вредност, која узима у обзир и једносмерну компоненту струје квара:

$$I = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{n=1}^m i_n^2} \quad (4)$$

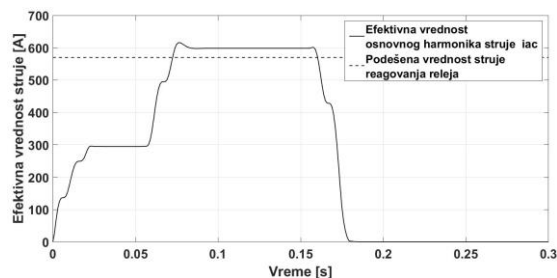
Са слике 4 може се приметити да Фуријеова метода филтрира једносмерну компоненту у струји квара, али при томе долази до таласања у естимираној ефикасној вредности, што може утицати на рад прекострује заштите, уколико је струја квара блиска подешеној струји релеја. Када у струји квара нема једносмерне компоненте, пуна и ефикасна вредност основног хармоника се практично поклапају (слика 6.)

ДВОФАЗАН КРАТАК СПОЈ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И В

Овај квар симулиран је на крају вода дужине 10 km у тренутку када би се јавила максимална једносмерна компонента у међуфазној струји. На сликама 7 и 8 приказани су таласни облик и ефикасна вредност основног хармоника струје i_{ac} .



СЛИКА 7 – СТРУЈА I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И В

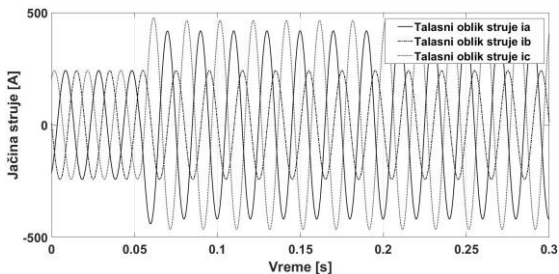


СЛИКА 8 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНОГ ХАРМОНИКА СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И В

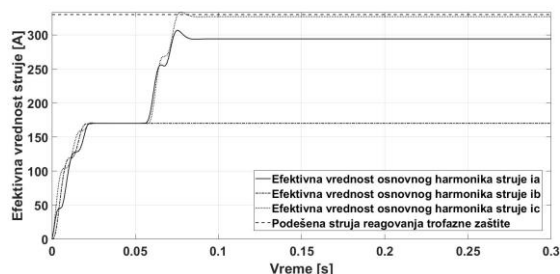
Са графика на слици 7 види се да је заштита са једним монофазним релејом одреаговала за око 90 ms и ислучила прекидач. На истој слици може се приметити и да једносмерна компонента у струји квара практично не постоји због великог пригушења, које је последица велике активне отпорности вода у односу на реактансу.

ДВОФАЗАН КРАТАК СПОЈ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И С

У уводу је поменуто да је двофазна заштита са једним монофазним релејом осетљивија на међуфазни кратак спој између фаза А и С од трофазне заштите са једним монофазним релејом. У сврху поређења заштита, тестирана је трофазна прекострујна заштита са струјним подешењем од 330 А, обзиром да се иста подешава према фазној, а не међуфазној струји. Квар је симулиран на дужини од 41 km, како би се показало да трофазна прекострујна заштита овако далек квар не види. На сликама 9 и 10 приказани су таласни облици и ефикалне вредности основног хармоника струје трофазне заштите.

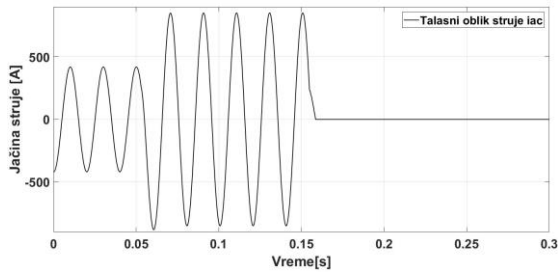


СЛИКА 9 – ФАЗНЕ СТРУЈЕ ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И С

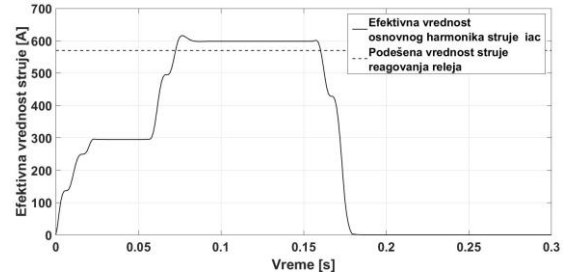


СЛИКА 10 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНОГ ХАРМОНИКА ФАЗНИХ СТРУЈА ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И С

Са временских дијаграма фазних струја са слике 9 види се да заштита није одреаговала унутар предвиђених 80 ms. Са графика на слици 10 види се да су ефикалне вредности све три фазне струје мање од подешених 330 А. На исти квар сада је тестирана двофазна прекострујна заштита са једним монофазним релејом. На сликама 11 и 12 приказани су таласни облик и ефикална вредност основног хармоника струје i_{ac} .



СЛИКА 11 – СТРУЈА I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И С

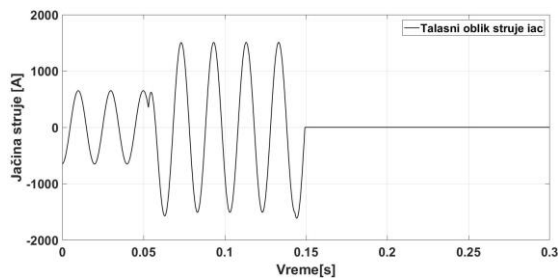


СЛИКА 12 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНОГ ХАРМОНИКА СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА А И С

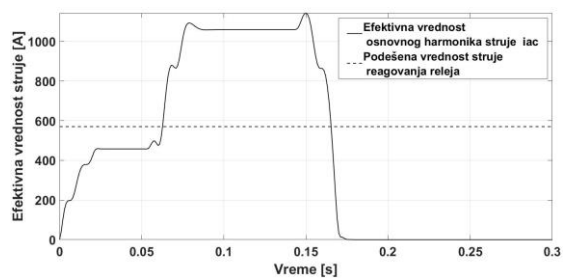
Са графика на слици 11 види се да је заштита са једним монофазним релејом одреаговала за око 90 ms. Поредићи резултате претходне две симулације доказано је да је за међуфазни кратак спој фаза А и С двофазна прекострујна заштита са једним монофазним релејом осетљивија од трофазне прекострујне заштите.

ДВОФАЗАН КРАТАК СПОЈ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С

Овај квар симулиран је на крају вода дужине 10km. Симулиран је при максималној једносмерној компоненти струје квара. На сликама 13 и 14 приказани су таласни облик и ефективна вредност основног хармоника струје релеја i_{ac} .



СЛИКА 13 – СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С



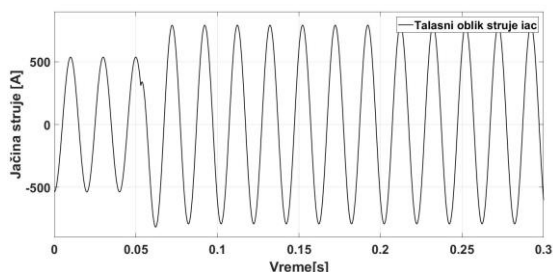
СЛИКА 14 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНОГ ХАРМОНИКА СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С

Са графика на слици 13 види се да је заштита са једним монофазним релејом одреаговала за 90 ms. Ако се упореди ефективна вредност струје релеја при двофазном кратком споју фаза А и В и фаза В и С, закључује се да је она мања при квару између фаза В и С за око 250 А, што се може објаснити кроз утицај радне струје на укупну струју квара. Исти таласни облици струје, као и време реаговања, добијају се и при двофазном кратком споју фаза В и С за земљом. То значи да оваква заштита детектује и међуфазне кварове са земљом. Међутим, како је мрежа изолована, при једноструком земљоспоју струје земљоспоја су мале, па их двофазна прекострујна заштита са једним монофазним релејом неће видети. Уосталом, овакве кварове не види ни трофазна заштита. Из тог разлога, за заштиту од једноструког земљоспоја мора се употребити земљоспојна заштита.

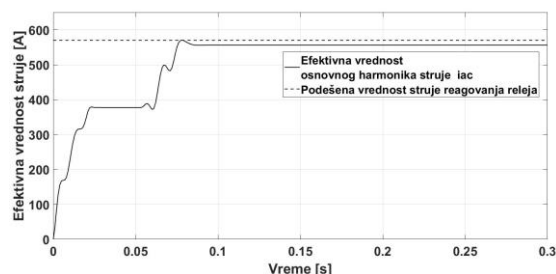
ОДНОС ДУЖИНЕ ДАЛЕКОВОДА И ОСЕТЉИВОСТИ ДВОФАЗНЕ ПРЕКОСТРУЈНЕ ЗАШТИТЕ СА ЈЕДНИМ МОНОФАЗНИМ РЕЛЕЈОМ

Како је у претходном поглављу закључено да квар на крају далековода између фаза В и С даје најмање струје квара, у односу на тај квар нађена је критична дужина вода са аспекта осетљивости заштите са једним монофазним релејом. Критична дужина вода одређена је итеративним путем, постепеним повећавањем дужине вода. Добијено је да је критична дужина вода 22 km. При тој дужини вода прекострујна заштита са једним монофазним релејом није одреаговала унутар предвиђеног времена

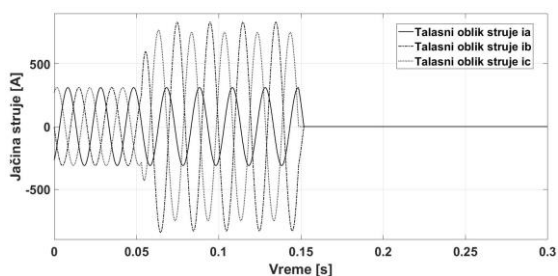
(слика 16). Струја квара је била 556 А, што је мање од подешене струје релеја (слика 17). Да би се показало да је при овом квару трофазна заштита осетљивија од двофазне, на исти квар тестирана је и трофазна прекострујна заштита, чије је струјно подешење 330 А. Као што се са слике 18 може приметити, трофазна прекострујна заштита је одреаговала на овај квар за 90 ms од тренутка настанка квара, што је и очекивано због веће осетљивости исте при међуфазним кваровима АВ и ВС. Са графика на слици 19 види се да су вредности фазних струја i_b и i_c биле изнад подешених 330 А за трофазну заштиту. На основу претходне анализе уочава се ограниченост примене двофазне прекострујне заштите са једним монофазним релејом.



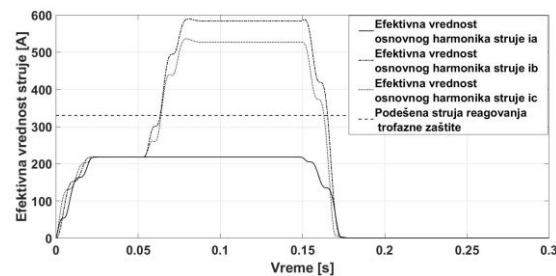
СЛИКА 16 – СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С ЗА ДУЖИНУ ВОДА ОД 22 КМ



СЛИКА 17 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНОГ ХАРМОНИКА СТРУЈЕ I_{AC} ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С ЗА ДУЖИНУ ВОДА ОД 22 КМ



СЛИКА 18 – ФАЗНЕ СТРУЈЕ ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С ЗА ДУЖИНУ ВОДА ОД 22КМ



СЛИКА 19 – ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНОГ ХАРМОНИКА ФАЗНИХ СТРУЈА ПРИ ДВОФАЗНОМ КРАТКОМ СПОЈУ ИЗМЕЂУ ФАЗА В И С ЗА ДУЖИНУ ВОДА ОД 22 КМ

ЗАКЉУЧАК

Из резултата вршених симулација могу се извући закључци значајни за теоријску и практичну примену двофазне прекострујне заштите са једним прекострујним релејом у изолованим радијалним мрежама. На основу резултата симулација види се да тренутак квара, као и удаљеност места квара од места уградње релеја, знатно утичу на интензитет струје квара. Тренутак настанка квара утиче на величину једносмерне компоненте струје квара. Како двофазна прекострујна заштита са једним монофазним релејом користи два струјна трансформатора и један релеј за мерење струје квара, једноставнија је од трофазне (један струјни трансформатор и два релеја за праћење струја мање), а то се огледа у мањем броју опреме и мањој дужини секундарних веза. Самим тим, и цена јој је нижа од цене трофазне или двофазне заштите. Прекострујна заштита са једним монофазним релејом је за дато оптерећење ограничена дужином далековода који повезује потрошњу са мрежом. У раду је показано је да за критичну дужину престаје да буде остелјива за одређене кварове. Међутим, за краће водове, у комбинацији са земљоспојном заштитом, може чинити ефикасну целину, која је економичнија од одговарајуће трофазне заштите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ђурић М, Стојановић З, 2014, „Релејна заштита“, КИЗЗ Центар, 43-94 98-99

2. Стојковић З, Микуловић Ј, Стојановић З, 2006, „Практикум из софтверских алата у електроенергетици“, Академска мисао
3. Бојковић Т, 1999, „Техничка препорука број 11: ТИПИЗАЦИЈА ОСНОВНИХ ПАРАМЕТАРА ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА 110/10.5kV, 110/21 kV, 110/21/10.5 kV, 110/36.75/10.5 kV снаге до 40MVA“ Друго издање, ЕПС-Дирекција за дистрибуцију електричне енергије, 1-30
4. Калић Ђ, Радосављевић Р, 2001, „Трансформатори“, Завод за уџбенике и наставна средства Београд, 52-58
5. Ђурић М, 2009, „ЕЛЕМЕНТИ ЕЕС-а“, БЕОПРЕСС Београд, 93-142
6. Бојковић Т, Глишић Ђ, Симић Б, 2003, „Техничка препорука број 10б: ОСНОВНИ ТЕХНИЧКИ ЗАХТЕВИ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ГРАДЊУ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА 10kV, 20kV, 35kV“, ЛП ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ, 1-69