

Пренапонска заштита блок трансформатора у електранама ЕПС

Јован Мрвић¹, Петар Вукеља¹, Нинослав Симић¹

¹Електротехнички институт „Никола Тесла“, Универзитет у Београду, Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија

jmrvic@ieent.org

Кратак садржај: У раду је презентирано стање пренапонске заштите блок трансформатора у Електранама електропривреде Србије (ЕПС) и извршена је анализа њихове пренапонске заштите. Дате су препоруке у циљу њене контроле. Препоручено је побољшање пренапонске заштите блок трансформатора у електранама ЕПС. Дат је и критички осврт на стање уземљавања звездишта блок трансформатора.

Кључне речи: пренапони, пренапонска заштита, трансформатори, избор одводника пренапона, мониторинг одводника пренапона, преношење пренапона

1. Увод

Рад разматра проблематику пренапонске заштите блок трансформатора у електранама Електропривреде Србије (ЕПС). Већина блок трансформатора у електранама ЕПС (ХЕ, ТЕ, ТЕ-ТО) је у погону преко 40 година. Пренапонску заштиту блок трансформатора, која је изабрана у време њихове уградње у електранама, чине одводници пренапона са искриштем. У то време то је била једина пренапонска заштита. Одводници пренапона са искриштем су коректно изабрани с обзиром на њихове заштитне карактеристике. Међутим, оваква пренапонска заштита је сада превазиђена. Уместо одводника пренапона са искриштем, који се више и не производе, сада се користе металоксидни одводници пренапона без искришта.

Заштитне карактеристике металоксидних одводницима пренапона без искришта су знатно повољније од заштитних карактеристика одводника пренапона са искриштем [1]. Обе врсте одводника пренапона су састављене од нелинеарних отпорника. Међутим, нелинеарни отпорници су различитих карактеристика. Одводници пренапона са искриштем садрже силицијум карбидне нелинеарне отпорнике (SiC).

Металоксидни одводници пренапона без искришта садрже цинкоксидне нелинеарне отпорнике (ZnO). ZnO нелинеарни отпорници омогућују да металоксидни одводници пренапона без искришта буду стално присутни у мрежи и ограничавају пренапоне у складу са својим заштитним карактеристикама. Одводници пренапона са искриштем укључују SiC нелинеарне отпорнике када при одређеном пренапону прораде њихова искришта. Док не реагују искришта нема ограничења пренапона. Без искришта SiC нелинеарни отпорници у одводницима пренапона не би могли да буду стално присутни у мрежи. Дошло би до њиховог драстичног термичког оптерећења и страдања, јер би кроз њих протичала знатна струја при радном напону мреже.

У раду је сагледано стање постојеће пренапонске заштите на блок трансформаторима X/35 kV, X/110 kV, X/220 kV и X/400 kV у 25 електрана ЕПС. Извршена је анализа такве заштите као и препоруке за њену контролу. Поред тога критички је разматрано стање уземљења звездишта блок трансформатора. На крају су донете препоруке о побољшању стања пренапонске заштите блок трансформатора.

2. Постојеће стање пренапонске заштите блок трансформатора

Према расположивим подацима [5] 28 блок трансформатора је на високонапонској страни заштићено одводницима пренапона са искриштем док је 38 блок трансформатора на високонапонској страни заштићено металоксидним одводницима пренапона без искришта. На 11 блок трансформатора постављена су искришта (варничари) на њиховим проводним изолаторима. На појединим блок трансформаторима постављени су варничари и на проводним изолаторима на ниженапонској страни.

Одводници пренапона са искриштем су од четири произвођача, а металоксидни одводницима пренапона без искришта од шест произвођача. Одводници пренапона од истог произвођача за исти напонски ниво су у већини случајева различитих типова, па тиме и различитих заштитних карактеристика.

На ниженапонској страни блок трансформатора ретко се среће пренапонска заштита. Само десет блок трансформатора имају одводнике пренапона на ниженапонској страни. У сврху пренапонске заштите на ниженапонској страни блок трансформатора, могу да послуже и кондензатори. Блок трансформатори, који имају прекидач на ниженапонској страни, најчешће имају и кондензаторе који се испоручују у склопу са прекидачем и налазе се и са једне и са друге стране прекидача. Десет блок трансформатора има кондензаторе на ниженапонској страни. Кондензатори смањују стрмине пренетих пренапона, а тиме и њихову висину.

3. Пренети пренапони кроз блок трансформаторе

Раније се претпостављало да пренапони пренети са вишенапонске на ниженапонску страну блок трансформатора не могу да угрозе изолацију његовог ниженапонског намотаја и изолацију намотаја статора генератора. Прорачуни, а посебно експериментална истраживања су показали да та могућност постоји. Напонски таласи, блиски онима при атмосферском пражњењу, који се појављују на вишенапонској страни енергетских трансформатора не преносе се на његову ниженапонску страну у складу са односом трансформације. Преносе се капацитивним и индуктивним путем, али капацитиван пренос може бити доминантан. Вредности пренетих напона могу да буду мање, али и знатно веће (зависи од конструкције намотаја, спреге итд) од вредности које се добију дељењем темене вредности напонских таласа на вишенапонској страни са односом преображаја трансформатора. Изолација ниженапонских намотаја блок трансформатора може да буде значајније угрожена од атмосферских пренапона када се блок трансформатор користи само за напајање сопствене потрошње (генераторски прекидач је искључен). Оваква конфигурација се по потреби користи у електранама ЕПС.

Да би се установила могућа напрезања изолације ниженапонских намотаја блок трансформатора и намотаја статора генератора, извођена су на десет блок трансформаторау електранама експериментална истраживања напона пренетих са високонапонске на њихову ниженапонску страну. Као извор напонских таласа коришћени су ударни генератори ниских или високих напона са којима су инјектирани напонски таласи у високонапонске прикључке блок трансформатора, или у водове који долазе на њихове високонапонске прикључке. Упадни напонски талас из ударног генератора на високонапонским прикључцима и напони који се појављују на ниженапонским прикључцима блок трансформатора снимани су осцилоскопима или транзијент рикордерима преко капацитивних напонских мерних система, или преко мешовитих R - C система (сонди). На основу резултата експерименталних истраживања пренетих пренапона вршена је процена угрожености изолације ниженапонских намотаја блок трансформатора и процена угрожености изолације намотаја статора генератора.

У циљу избора адекватне пренапонске заштите на ниженапонској страни блок трансформатора неопходно је извршити анализу резултата истраживања пренетих пренапона. За ову процену неопходни су подаци о карактеристикама одводника пренапона за заштиту од пренапона вишенапонских намотаја трансформатора. Ако анализа покаже да пренети пренапони не угрожавају изолацију ниженапонских намотаја трансформатора није потребна њихова пренапонска заштита. Међутим, ако анализа покаже да пренети пренапони могу да угрозе изолацију ниженапонских намотаја блок трансформатора, неопходна је њихова пренапонска заштита. Ова заштита је најчешће неопходна ако се трансформатор користи повремено само за напајање сопствене

потрошње блока (постоји генераторски прекидач). Када нема генераторског прекидача, а анализа експериментално утврђених пренетих пренапона покаже да могу да угрозе изолацију ниженапонског намотаја блок трансформатора, потребно је у електрани извршити истраживања истих у присуству генератора. Ако се констатује да истраживани пренапони у присуству генератора не угрожавају изолацију ниженапонских намотаја трансформатора и изолацију намотаја статора генератора, пренапонска заштита није потребна, у супротном је неопходна.

За процену угрожености изолације ниженапонских намотаја нових блок трансформатора и евентуалну пренапонску заштиту веома би били корисни подаци који би се могли добити при пријемним испитивањима. Пријемна испитивања нових блок трансформатора требало би да обухвате експериментална истраживања пренетих напона са високонапонских на његове ниженапонске прикључке користећи репетициони генератор ниских напона.

4. Анализа пренапонске заштите блок трансформатора и њена контрола

Одводници пренапона са искриштем се постепено замењују у електранама ЕПС. Стање већине ових одводника пренапона је непознато. Неки нису контролисани од уградње у електранама. Не зна се да ли су задржали заштитне карактеристике дефинисане од произвођача, односно да ли је и колико дошло до деградације њихових карактеристика. Не могу се у потпуности контролисати у електрани, већ се морају, ради испитивања демонтирати и транспортовати у одређене високонапонске лабораторије. Потребно је да се утврди њихов минимални наизменични напон реаговања и минимални 100% ударни напон реаговања. Минимални 100% ударни напон реаговања може се утврдити само у лабораторијама високог напона под условом да имају адекватан ударни генератор. Минимални наизменични напон реаговања одводника пренапона би могао да се утврди у електрани без његове демонтаже. За то би била потребна покретна испитна лабораторија. Такву лабораторију поседује ЈП “Електро mreжа Србије”. Са оваквом покретном лабораторијом се могу у електрани испитати наизменични напони реаговања одводника пренапона са искриштем предвиђених за мреже до 110 kV и појединачно за сваку јединицу одводника из више делова предвиђених за мреже 220 kV и 400 kV, по њиховом искључењу из погона. Нажалост, покретна лабораторија је таквог габарита да се са њом у већини електрана не може прићи у близину одводника пренапона. Дакле, минимални наизменични напон реаговања и минимални 100% ударни напон реаговања одводника пренапона са искриштем могу да се утврде само у високонапонским лабораторијама које за то имају адекватну опрему.

Последњих година почињу интензивније да се замењују одводници пренапона са искриштем металоксидним одводницима пренапона без искришта. Њихово стање је такође потребно контролисати. То се може урадити у електрани док су погону под условом да су изоловани од металног постоља на коме су смештени и да су им земљоводи изоловани од истог постоља. Сваки одводник мора да има свој земљовод. Постоји више метода испитивања металоксидних одводника пренапона без искришта [4]. У пракси се највише користе методе базиране на мерењу њихове струје одвода. Новији типови одводника, а такви се налазе у неким електранама, имају у оквиру саме конструкције уграђене уређаје који дају информацију о струји одвода. Чак се та информација може добити и даљински. Старији типови металоксидних одводника пренапона без искришта не поседују у својој конструкцији уређаје за контролу струје одвода. За њих се контрола струје одвода такође може урадити у погону. Она се мери, односно снима користећи опрему у којој је најважнији сензор струје одвода, јер у највећој мери одређује квалитет испитивања. Сензор мора да буде растављив у форми струјних клешта да би могао да обухвати земљоводно уже одводника. Постоје посебни уређаји са којима се ова струја може снимити. Преко њих се добијају следећи подаци о струји одвода: вршна и ефективна вредност, облик и вредност трећег хармоника. Уређај који је урађен у Институту “Никола Тесла”, поред ових напред наведених података о струји одвода, даје врло битан податак о њеној резистивној компоненти на основу снимања напона одводника са секундарна напонских трансформатора [4]. Овај уређај је намењен и за теренска и за лабораторијска испитивања. Струја одвода се састоји од капацитивне компоненте, која је доминантна, и резистивне компоненте. Вредност резистивне компоненте струје одвода, поред вредности укупне струје одвода, је један од основних података за процену стања одводника у погону.

Типичне вредности струје одвода при радном напону су мале и обично се крећу у интервалу од 0,5 mA до 1,5 mA. Резистивна компонента је најчешће око 10% вредности укупне струје одвода. Трећи хармоник је реда неколико процената укупне струје одвода.

Стање металоксидних одводника пренапона без искришта треба пратити од почетка њиховог пуштања у погон. За металоксидне одводнике пренапона, који немају уграђене уређаје за контролу укупне струје одвода, прва мерења струје одвода треба урадити при пуштању одводника у погон. Пожељно би било да периодична контрола буде сваке године са уређајем који поред података о укупној струји одвода даје податак о њеној резистивној компоненти. Корисници металоксидних одводника пренапона, који имају уграђене уређаје за контролу укупне струје одвода, могу практично стално да је контролишу. Када установе да је дошло до њеног значајнијег пораста, потребно је да се утврди њена резистивна компонента. Она се може добити на основу снимљене укупне струје одвода и напона на одводнику.

Вредност укупне струје одвода металоксидних одводника пренапона без искришта битно зависи од стања његових спољашњих површина. Загађење спољних површина може у одређеним случајевима да доведе до неравномерности расподеле напона на резисторима одводника. Ово је посебно битно код вишеделних одводника, где струје по спољној површини једног дела могу да се затварају кроз резисторе другог дела. Зато се препоручује повремено чишћење спољних површина одводника.

Мерење струје одвода треба вршити када су спољне изолационе површине одводника суве.

Критеријуми за процену стања одводника у погону на основу података о мерењу струје одвода нису дефинисани од стране произвођача. Не знају се критичне вредности параметара струје одвода одводника у погону. Критеријуми за то се могу донети после вишегодишње контроле металоксидних одводника пренапона одводника без искришта у погону у електроенергетском систему Србије. Сада се само на основу већих промена параметара струје одвода може констатовати да треба одводник искључити из погона. За овакву одлуку пожељно би било да се још неком методом покаже да постоји неисправност одводника. Једна од могућности других контрола стања одводника, а да се не искључује из погона, је контрола температуре његових спољних површина. То се може урадити термовизијским испитивањем. Уколико се покаже неравномерност у загревању између делова његових спољних површина или се покаже да је температура његове спољне површине већа од температуре спољних површина одводника истог типа у друге две фазе, неисправност постоји.

Испитивањем једног металоксидног одводника пренапона без искришта у електроенергетском систему Србије констатовано је да је, у односу на одводнике истог типа у друге две фазе, повећана укупна струја одвода, њен трећи хармоник и њена резистивна компонента [4]. Потврду да нешто није у реду са одводником дала су испитивања загрејаности дела његове површине установљене термовизијом. Донесена је одлука о искључењу одводника из погона. Испитивањима у лабораторији установљено је да је одводник неисправан јер је дошло до продора влаге.

Прегледом заштитних карактеристика металоксидних одводника пренапона који су уграђени на блок трансформаторима може се констатовати да су за неке могле да буду повољније изабране. То значи да су могли да се изаберу металоксидни одводници пренапона без искришта са нижим назначеним и трајним радним напонима, а тиме би се постигла њихова ефикаснија заштита од пренапона

Осим заштитних карактеристика металоксидних одводника пренапона, које су доминантне за пренапонску заштиту блок трансформатора, веома је битно да везе фазних проводника од одводника до проводних изолатора блок трансформатора буду што је могуће краће. Такође је битно да дужине уземљивачких проводника од одводника до уземљења звездишта блок трансформатора буду што

краће. Са овим мерама се значајно повећава ефикасност пренапонске заштите блок трансформатора.

Варничаре (искришта), ако се налазе на проводним изолаторима блок трансформатора потребно је скинути. Уколико би дошло до прескока на варничарима веома стрми пренапони би улазили у намотаје трансформатора и могли би да оштете изолацију између појединих његових навојака.

5. Начин уземљавања звездишта блок трансформатора у електранама ЕПС

Звездишта блок трансформатора X/110 kV, X/220 kV и X/400 kV у електранама ЕПС су стално уземљена. Уземљења се изводи преко растављача. Паралелно са растављачем постављен је одводник пренапона. Само неколико блок трансформатора је директно уземљено. Овакав начин уземљења је предвиђен да би у појединим ситуацијама звездиште блок трансформатора могло да се одземљи у циљу могућности смањења струје једнофазног земљоспоја.

Мера одземљавања звездишта блок трансформатора у електранама ЕПС, према доступним информацијама, никада није изведена ни на једном од њих у циљу смањења струје једнофазног земљоспоја.

Стање када је блок трансформатор неуземљен није пожељно са аспекта пренапона који могу да се на њему појаве. На звездишту неуземљеног блок трансформатора могу се при атмосферском пражњењима појавити пренапони виши од пренапона који улазе у његове намотаје. То су показали резултати експерименталних истраживања преношења напона кроз блок трансформаторе. При трофазном инјектирању напонских таласа у вишенAPONске прикључке неуземљених блок трансформатора напон у звездишту може да достигне и до близу двоструке темене вредности напона трофазно инјектираног напонског таласа. Могућа је код неуземљених блок трансформатора појава резонансних и ферорезонансних феномена, при којима може доћи до значајних напрезања изолације намотаја блок трансформатора и изолације намотаја статора генератора.

Под условом да ће звездиште неког новог блок трансформатора бити у неком периоду у експлоатацији изоловано потребно је у току пријемних испитивања у лабораторији произвођача испитати његову изолацију пуним подносивим испитним атмосферским ударним напоном. То значи да звездиште мора да има пуну изолацију.

Када се у експлоатацији не предвиђа одземљавање звездишта блок трансформатора онда је потребно да буде директно уземљено. Смањују се инвестициона улагања јер није потребан растављач и није потребан одводник пренапона, а такође ни њихова резерва, која мора да буде предвиђена. За нове блок трансформаторе изолација звездишта може

да буде снижена, дакле штеди се у изолационом материјалу при њиховој изради.

Препорука је да се звездишта нових блок трансформатора директно уземље, без растављача и одводника пренапона. При уговарању израде нових блок трансформатора може се ићи са сниженом изолацијом њихових звездишта. За постојеће блок трансформаторе, ако то не захтева већа инвестициона улагања, треба њихово звездиште директно уземљити и демонтирати постојећи растављач и одводник пренапона.

6. Закључци

Сагледавањем стања пренапонске заштите блок трансформатора у електранама ЕПС и анализом њених карактеристика може се констатовати и закључити следеће:

- Општа констатација је да пренапонска заштита блок трансформатора у већем броју електрана ЕПС није задовољавајућа. Поједини блок трансформатори штите се старим конструкцијама одводника пренапона са искриштем, а већина њих није контролисана од уградње.
- Пренапонска заштита блок трансформатора металоксидним одводницима пренапона само на њиховој вишенAPONској страни не значи да је заштићена изолација ниженапонског намотаја и изолација намотаја статора генератора.
- Поједини металоксидни одводници пренапона без искришта, који су сада уграђени уместо старих одводника пренапона са искриштем, могли су да буду изабрани и са бољим заштитним карактеристикама.
- Варничаре (искришта), ако постоје на високонапонским и нисконапонским проводним изолаторима блок трансформатора, треба уклонити.
- Одводнике пренапона са искриштем треба мењати са металоксидним одводницима пренапона без искришта. Тамо где се очекује да се и даље задрже одводници пренапона са искриштем, неопходно је извршити њихову контролу утврђивањем наизменичног напона реаговања и минималног 100% ударног напона реаговања на талас облика $1,2/50 \mu\text{s}/\mu\text{s}$.
- За металоксидне одводнике пренапона без искришта, који не поседују уређај за контролу струје одвода, неопходна је периодична контрола стања. У погону се мери укупну струју одвода и њена резистивна компонента. Пожељно је да периодика мерења буде једна година. За контролу стања металоксидних одводника пренапона неопходно је да они и њихови земљоводи буду изоловани од металног постоља.
- Контрола у погону металоксидних одводника пренапона без искришта на ниженапонској страни блок трансформатора, када они не поседују уређај за контролу укупне струје одвода, у

- При замени одводника пренапона са искриштем на вишенапонској и ниженапонској страни металоксидним одводницима пренапона без искришта, потребно је водити рачуна да карактеристике металоксидних одводника пренапона на ниженапонској страни (преостали напони за струје облика $1/x \mu\text{s}/\mu\text{s}$, $30/60 \mu\text{s}/\mu\text{s}$ и $8/20 \mu\text{s}/\mu\text{s}$), сведене на вишенапонску страну, буду бар за 2% до 5% више од карактеристика одводника на вишенапонској страни.
- Не сме се користити следећа комбинација пренапонске заштите: одводници пренапона са искриштем на вишенапонској страни и металоксидни одводници пренапона без искриштем на ниженапонској страни трансформатора.
- Пријемна испитивања блок трансформатора треба обавезно да обухвате истраживања пренетих напона на његове ниженапонске намотаје и то применом на вишенапонске намотаје пуних и сечених таласа (сечење на челу и зачељу таласа) приближно облика $1,2/50 \mu\text{s}/\mu\text{s}$ и $250/2500 \mu\text{s}/\mu\text{s}$ коришћењем репетиционог ударног генератора ниских напона. Резултати ових истраживања могу да укажу на потребу заштите ниженапонског намотаја блок трансформатора.
- Звездишта нових блок трансформатора потребно је да се директно уземље, без растављача и одводника пренапона. При уговарању израде нових блок трансформатора може се ићи са сниженом изолацијом њихових звездишта. За постојеће блок трансформаторе, ако то не захтева већа инвестициона улагања, треба њихова звездишта директно уземљити и демонтирати постојећи растављач и одводник пренапона.
- Изолована звездишта блок трансформатора 35/X kV је неопходно штитити металоксидним одводником пренапона без искришта.
- У звездишта блок трансформатора 35/X kV, која су уземљена преко отпорника пожељно је поставити металоксидни одводник пренапона без искришта. Ако истраживања пренетих напона кроз такве блок трансформаторе покажу да није угрожена изолација звездишта, одводници нису потребни.

Литература

- [1] “Примена савремених одводника пренапона”, Студија бр.329115, Електротехнички институт “Никола Тесла” Београд, 1991 год., стр.170.

- [2] “Квазистационарни (привремени) пренапони у мрежама високих напона“, Студија бр.329401, Електротехнички институт “НиколаТесла” Београд, 1994, стр.179.
- [3] “Енергетска напрезања металоксидних одводника пренапона“, Студија бр.310305, Електротехнички институт “НиколаТесла” Београд, 2003, стр.165.
- [4] “Методe испитивања и критеријуми исправности металоксидних одводника пренапона у погону“, Студија бр.311115, Електротехнички институт “НиколаТесла” Београд, 2011, стр.87.
- [5] “Пренапонска заштита блок трансформатора у електранама ЕПС“, Студија бр.3413044, Електротехнички институт “НиколаТесла” Београд, 2013, стр.115.

Abstract: This paper presents the current state of the overvoltage protection of generator transformers in power plants of the Power Company of Serbia (EPS) and gives a critical overview of their overvoltage protection. Recommendations for the purpose of its control are provided. Improved overvoltage protection of power transformers in the EPS is suggested. A critical review of the state of earthing points of the generator transformers is also given.

Keywords: overvoltage, overvoltage protection, transformers, selection surge arresters, monitoring surge arresters, transferred overvoltage

Generator Step up Transformer Overvoltage Protection in EPS Power Plants

Рад примљен у уредништво: 01.10.2015. године
Рад прихваћен: 20.10.2015. године