

A2 - 00

## ИЗВЕШТАЈ СТРУЧНИХ ИЗВЕСТИЛАЦА

**Александар Бојковић**, Институт Никола Тесла, Београд  
**Зоран Миливојевић**, Минел – Трансформатори, Рипањ  
**Чедомир Поноћко**, ЕМС, Београд

### 1. УВОД

За 29. сесију CIGRE Србије Студијски комитет А2 усвојио је следеће преференцијалне теме:

#### 1) Радне карактеристике нових изолационих система трансформатора

- Термичке, електричне и еколошке карактеристике, противпожарна безбедност.
- Примена нових изолационих система, подземне трафостанице, компактни трансформатори.
- Искуства прикупљена у погледу ревизије постојећих стандарда (хибридни изолациони систем, СФб гасом напуњене јединице, итд), процена стања, гас у уљним анализама, испитивања уља, нуз производи, одржавање са становишта разних гледишта,...

#### 2) Поузданост и процена ризика трансформатора у раду

- Куповина новог трансформатора у односу на "Ревитализацију до новог" (техно-економско поређење, коришћење резервних делова, поузданост, испитивање, техничка побољшања на старим јединицама).
- Дијагностика, процена ризика, истраживања по демонтирању исслужених трансформатора, он-лине праћење, процена влаге, радови на одржавању (сушење, он-лине дегазација, уређаји за одвлаживање), контрола квалитета.
- Корозивност уља и технике ублажавања, поновно инхибирање, метал пасиватори.

#### 3) Пригушнице (шантови, шантови са регулацијом, серијски, у неутралној тачки) и ствари везане за пригушнице

- Утицај техничких карактеристика (пријемна испитивања, губици, бука, вибрације итд) на пројектовање.
- Оптерећивање, комутационе операције, искуства у раду, системски аспекти, нове примене и пројектовања.
- Поузданост, процена стања, процена животног века.

*Кључне речи:* трансформатори, радне карактеристике, стање, дијагностика, изолациони систем, хибридна изолација, старење, век, ревитализација, дегазација, сушење, поузданост, процена ризика, противпожарна безбедност, испитивање на терену, индекс полимеризације, уље, гасна хроматографија, фурани, корозивност, експлоатација, одржавање, пригушница, шант

Све три преференцијалне теме поклапају се са темама за CIGRE сесију у Паризу 2008. године, с тим што су поједине теме проширене као резултат настојања СТК А2 да се покрије и посебна актуелна проблематика нашег електроенергетског система.

Рецензију приспелих радова обавила је радна група коју су сачињавали стручни известиоци, председник Комитета Р. Радосављевић и неколико еминентних стручњака.

Радна група је прихватила укупно 17 радова, од којих је 5 радова из области прве преференцијалне теме, 10 радова из области друге преференцијалне теме и 2 рада из области треће преференцијалне теме. Радна група је са задовољством констатовала тренд пораста квалитета приспелих радова из групе А2, уз врло добру бројност и сразмерност у заступљености свих теза преференцијалних тема.

## **2. ОПШТИ ОСВРТ НА РАДОВЕ ГРУПЕ А2 ЗА 29. САВЕТОВАЊЕ CIGRE СРБИЈА**

Проблематика изложена на међународној CIGRE сесији у Паризу 2008. године у великој мери је подударна са уоченим проблемима наше електропривреде, што је резултирало у значајном слагању преференцијалних тема, при чему је изузетак у области хибридних изолационих система који се још недовољно третирају код нас, али се у будућности и ту очекује напредак.

У домаћој електропривреди, често се поставља питање квалитета техноекономске анализе преправке трансформатора и целисходности захтева да се на старим трансформаторима повећа снага, односно промени изолациони ниво једног од секундара, што се третира у раду прве преференцијалне теме (А2-01). Највећи део цене трансформатора отпада на намотаје. Преостали век изолације намотаја 110 kV који би се задржали је релативно мали, с обзиром на старост трансформатора од преко тридесет година.

Стављање трансформатора под напон због дефектаже или после поправке увек отвара питање безбедности по особље и саму опрему. Неки руковоаци имају извесну резерву према овим испитивањима из разлога опасности по генераторе на које се прикључују трансформатори у квару, јер то нису испитни генератори пројектовани за услове испитивања трансформатора у квару и да због тога пре примене треба да се добро проуче њихове перформансе, с обзиром на испитне услове трансформатора. Рад (А2-03) излаже разне поступке недеструктивног прикључења са примерима из праксе.

Одређивање тачне локације и температуре најтоплије тачке изолације је деценијама уназад био изазов у многим истраживањима, посебно одређивање hot-spot фактора који представља кључни параметар при процени највише температуре и израчунавања старења енергетских уљних трансформатора. Један од развијених модуларних софтвера приказан је у (А2-02) којим су обухваћена израчунавања за дешавања и унутар трансформатора (загревање уља) и хладњака (хлађење уља).

Први пут у нашој пракси се среће анализа компатибилности резултата процене остарелости уљно-папирне изолације трансформатора по концепту прорачуна и утврђивања стања изолације по концепту „увида у стање“. Врло обиман рад (А2-07) представља почетну студију о овој проблематици и зачетак ширих истраживања која у наредним годинама треба да добију на замаху, будући да су оба концепта заснована на важећим међународним стандардима, а у светској пракси то није адекватно пропраћено приказима практичних резултата.

Пракса неких произвођача да се уграђују терцијери мање снаге показала се погрешном, јер је дошло до хаварија неколико трансформатора. Дилема да ли да се на терцијере смањене снаге прикључе пригушнице или да се терцијери уклоне, како је подржано у (А2-05) и даље остаје и вероватно ће се одлука доносити посебно у сваком појединачном случају.

Хаварије блок трансформатора и веће поправке на терену у свету добијају на замаху због избегавања компликованих манипулација, процедура и великих трошкова транспорта, али се нужно отвара питање VN испитивања за проверу квалитета поправке. Развијене земље поседују мобилну опрему довољних перформанси за ова испитивања, укључујући и мерење парцијалних пражњења, која због старије изолације добијају посебне облике када су ради о on-site поправљеним трансформаторима, који су раније дуго били у погону. Комбиновањем стране мобилне опреме и домаће методологије и средстава, успешно су спроведена ова испитивања (А2-06) којима је утврђена исправност трансформатора.

Као и на претходним саветовањима, проблематика изолационих уља побуђује велику пажњу не само аутора, већ и аудиторijума СК А2. Укупно је пристигло 5 радова који третирају различите аспекте течних диелектрика, од којих један припада првој, а остала 4 рада другој преференцијалној теми. Примена нових изолационих система и анализа њихових термичких, електричних и еколошких карактеристика и противпожарна безбедност, у свету су у великој експанзији, посебно када се ради о уљима биљног порекла, као што је приказано у раду (А2-04) који разматра особине једног уља добијеног из соје. Истичу се значајне предности у односу на минерална и синтетичка уља. Остала 4 рада односе се на карактеристике уља у експлоатацији, при чему завидно место заузима проблематика присуства корозивног сумпора која се третира у 3 рада (А2-09, А2-11 и А2-12). Таложење бакар сулфида на папирној изолацији који угрожава међузавојну изолацију и потенцијално прети хаваријом трансформатора, објашњава се деловањем Лоренцове силе (А2-11). На основу налаза на хаварисаним трансформаторима, дејство ових сила није најјаче у најтоплијим зонама намотаја, већ на местима где су највећи расути флуксиви, а то су зоне намотаја према горњем и доњем јарму. Са друге стране у (А2-12) се тврди да се депозити бакар сулфида појављују у горњим деловима намотаја и да представљају „hot-spot“ маркере. По свој прилици, истина је негде на средини. Наиме, због ниже температуре у доњем делу трансформаторског суда, старење папирне изолације је спорије и мање изражено у доњем делу намотаја, чија изолација има већи степен полимеризације, односно већу густину, што смањује дифузију кроз папир прелазних продуката корозије бакра који су растворљиви у уљу, за разлику од бакар сулфида који је нерастворљив у уљу. Другим речима, мада је Лоренцова сила подједнако јака у зонама и горњег и доњег јарма, одсуство честица у уљу спречава таложење бакар сулфида по намотајима. Са друге стране, у горњем делу суда, због бржег старења и нижег DP индекса, дифузија прелазних продуката корозије бакра кроз папир је израженија, па постоје оба потребна услова – и честице бакар сулфида и довољно јака Лоренцова сила.

Упоредо са развојем метода за утврђивање стања уљно-папирне изолације све више добија на значају развој метода ревитализације, нарочито оних које користе синтетичке адсорбенте. Са задовољством се констатује да се они примењују и у нашој земљи (А2-08). Можда би била од интереса и заједничка сарадња фирми које се баве овим послом у циљу интензивнијих истраживања и комбиновања различитих метода за обраду уљнопапирне изолације, од потапајуће, преко „oil-spray“, до ових нових, да би се у пракси утврдила могућа ограничења и потврдила преимућства савремених метода.

Контрола мерних трансформатора у раду има велики значај јер се превентивним деловањем може повећати поузданост и смањити штете у постројењу. Рад (А2-10) даје обиље фактографски изнетих резултата испитивања парцијалних пражњења струјних и индуктивних напонских трансформатора 110 kV методом ултразвука. Целисходно би било спровести испитивања пренапона високе фреквенције, изазваних манипулацијама растављачима 110 kV у близини мерних трансформатора у квару. Пуни смисао великог броја мерења постигао би се дубљом анализом конструкције, услова експлоатације и остарелости изолације наведених мерних трансформатора. Понекад постоје јака електрична поља на кривини, на месту преласка са правога мотања папирне изолације на заобљени део, а постоји и проблем преласка са машинског на ручно мотање изолације. Такође су некад проблематични екрани за изједначење потенцијала и њихово причвршћење завртњевима. Неки од наведених врло старих мерних трансформатора су отвореног типа – без дилатационе мембране, са перманентним контактом влажног ваздуха из атмосфере и изолационог уља.

У новије време региструје се експанзија примене методе анализе фреквенцијског одзива (Sweep Frequency Response Analysis), помоћу које се откривају различите промене геометрије активног дела трансформатора (намотаја, магнетског кола и веза, односно извода). Познато је да трансформатор представља објекат са расподељеним RLC параметрима који образују многобројна редна и паралелна резонантна кола. Њихови параметри који одређују фреквенцијску карактеристику, зависе од геометрије трансформатора, те се промене геометрије региструју преко промена резонантних фреквенција, што указује на могућност постојања квара или пак на исправан транспорт ако није дошло до промене у одзиву. Рад (А2-13) даје приказ примене методе у неколико случајева, али и отвара дилему о поузданости методе када су у питању мале промене геометрије, будући да је метода још увек квалитативна.

Иако је за мерење снаге губитака услед оптерећења огледом кратког споја блок трансформатора са коришћењем сопственог генератора као извора напајања приказивано и на претходним CIGRE саветовањима у радовима других аутора, рад (A2-14) заслужује пажњу јер је првенствено посвећен процени грешке која се прави при овом мерењу.

У последњем раду друге преференцијалне теме (A2-15) приказани су резултати комплексног дијагностичког испитивања трансформатора блока 2 ТЕ Никола Тесла Б и капитални ремонт који је уследио на основу резултата испитивања. Комплексно дијагностичко испитивање је уследило на основу тренда електричних мерења и испитивања узорака уља и урађено је у сарадњи са фирмом Техносервис-електро из Москве. Обим испитивања је био врло широк с обзиром на значај и величину трансформатора, а обухватао је и мерење фреквенцијског одзива (SFRA), одређивање садржаја воде методом повратног напона (RVM), on-line мерење парцијалних пражњења електричном и акустичком методом у празном ходу и при оптерећењу, термовизијско снимање загревања, вибрациона испитивања суда и уљних пумпи, мерење магнетског поља у празном ходу и при оптерећењу и узорковање папира за мерење DP индекса. Налаз после отварања потврдио је закључке донете на основу мерења.

Први рад из области треће преференцијалне теме бави се прорачунима, констукцијом и израдом пригушница за ограничење струје, при чему се на конкретном примеру истичу високе динамичке карактеристике пригушница са фолијским намотајем (A2-16).

У производњи пригушница високих фреквенција, важан аспект је и комерцијализација производње. Зато се поставља озбиљно питање одрживости производње. Ова опрема је предмет мултидисциплинарног приступа у разматрању. Поред задовољења критеријума високонапонске опреме, нужна су разматрања и критеријума из области телекомуникација, односно преноса VF-сигнала. Неке основне карактеристике производње, испитивања и експлоатације ових пригушница излажу се у (A2-17).

### **3. РАДОВИ ГРУПЕ А2 ПРИХВАЋЕНИ ЗА ПРЕЗЕНТАЦИЈУ НА 29. САВЕТОВАЊУ CIGRE СРБИЈА И ПИТАЊА СТРУЧНИХ ИЗВЕСТИЛАЦА**

*Реферат А2-01*

*Техноекономска анализа повећања снаге енергетских трансформатора 31,5 MVA, 110/10 kV, Yy0d5*

*Аутори: Слободан Максимовић, Љубомир Раденковић, Милош Хаџић, Миодраг Обрадовић и Зоран Миливојевић, ЕДБ, Минел Трансформатори*

Постојање енергетских трансформатора са нестандартном спрегом често изазива проблеме у експлоатацији због немогућности паралелисања без искључења напона, због чега се намеће опција фабричке преправке. У овом раду се даје техноекономска анализа преправке 8 нестандартних трансформатора 110 kV, али уз повећање снаге. Отвара се питање целисходности захтева да се на тако старим трансформаторима повећа снага, односно промени изолациони ниво једног од секундара, с обзиром да највећи део цене трансформатора отпада на намотаје, а да преостали век изолације намотаја 110 kV, који би се задржали, с обзиром на старост од преко тридесет година, је релативно мали.

Питања СИ:

- 1) Да ли је са техноекономског аспекта оправдана реконструкција трансформатора са циљем да се повећа снага трансформатора који је при крају свог радног века (трошкови демонтаже, транспорта, оцене стања опсежних испитивања, реконструкције и монтаже на месту експлоатације)?
- 2) Да ли је на основу услова експлоатације (оптерећење, температура активног дела, услови хлађења) и анализе стања чврсте изолације (фактор полимеризације, фуранска анализа, гасна анализа) извршена процена преосталог века делова трансформатора који се задржавају у трансформатору ?
- 3) Да ли је целисходније наведене трансформаторе преместити на одговарајуће ТС, а тамо где је то потребно, набавити нове, одговарајуће трансформаторе?

## *Реферат А2-02*

### *Прецизно израчунавање hot-spot фактора*

*Аутори: Зоран Радаковић и Марко Шоргић, ЕТФ Београд*

У раду се описује софтвер, као и основе метода на којој је он базиран, за одређивање тачне локације и температуре најтоплије тачке изолације. Овакав начин израчунавања омогућава одређивање hot-spot фактора, који представља кључни параметар при одређивању температура и старења енергетских уљних трансформатора. Базична метода софтвера је детаљни термо-хидраулички модел, који као крајњи резултат даје детаљну расподела температура проводника (у сваком навојку) и брзину и температуру уља (у сваком каналу за хлађење). Модел даје и расподелу протока уља, кроз сваки од конструкцијских делова трансформатора.

Описани детаљни резултат захтева и детаљан, комплексан и обиман модел сваког од делова трансформатора, али са друге стране и довољно поуздан и брз да би могао да се користи у фази пројектовања, што израду софтвера врло захтевном. Софтвер који су развили аутори је модуларан и добро конципиран; захваљујући томе програм је интегрисан – обухвата и делове унутар трансформатора (загревање уља) и хладњак (хлађење уља) и омогућава израчунавање за све стандардне начине хлађења.

#### Питања СИ:

- 1) Да ли аутори могу конкретније да илуструју сврсисходност примене CFD метода и софтвера? Да ли се применом понуђеног софтвера може оправдати фаворизовање ODAF хлађења у односу на OFAF хлађење?
- 2) Какво је тренутно стање код водећих светских произвођача трансформатора, односно да ли су они у стању да пруже прецизну информацију о вредности hot-spot фактора и његове локације за сврху постављања оптичког сензора температуре?
- 3) Да ли се обе диспозиције вентилатора код ONAF хлађења (са усмереном циркулацијом ваздуха у хоризонталном или вертикалном правцу) могу да сматрају технички исправним решењима?
- 4) Да ли аутори могу да прикажу неки пример за вредности фактора Q и S (квантификација утицаја неравномерности губитака по запремини намотаја, респективно расподеле температура и протока уља и карактеристике локалног преноса топлоте струјањем), чији производ, према драфту стандарда IEC 60076-1, представља hot-spot фактор F?

## *Реферат А2-03*

### *Недеструктивне методе прикључења енергетских трансформатора на напон на месту експлоатације у циљу дијагностике или пуштања у рад*

*Аутори: Александар Јанковић и Радован Радосављевић, ЕТФ Београд*

Рад третира проблематику прикључења енергетских трансформатора на напон на месту рада у циљу дијагностичких испитивања или приликом пуштања трансформатора у рад после on-site отклањања квара. Излажу се разни начина недеструктивног прикључења, јер у противном може да дође до тешких разарања трансформатора због разних разлога. Снаге кратких спојева на местима експлоатације по правилу имају високе вредности, па су и евентуална оштећења трансформатора велика ако дође до пробоја изолације трансформатора. Због тога је веома важно да се предузму мере које ће да обезбеде недеструктивно прикључење напона. У раду су описани неки случајеви решавања овог проблема прикључењем трансформатора на слабије изворе напајања, са и без коришћења опреме за континуално подизања напона.

#### Питања СИ:

- 1) Да ли је код наведених укључења вођено рачуна и о процедури укључења трансформатора, зависно од типа трансформатора и мрежа на које се прикључује, као што је укључење у празан ход са високонапонске стране, а онда терећење трансформатора?

- 2) Да ли је мотивација за избегавање већих напрезања трансформатора при испитивању у острвском напајању са мањим генераторима и са сниженим напонима, жеља да се поправка трансформатора можда обави на лицу места?
- 3) Колико су оваква испитивања оправдана с обзиром на постојање озбиљне опасности да, услед квара трансформатора, дође до хаварије генератора који је понекад вишеструко скупљи од трансформатора?

#### *Реферат А2-04*

*Новина у технологији трансформаторских уља - еколошко уље FR3*

*Аутор: Деспот Јанковић, Електроисток, Дијагностика и Сервис*

Дат је приказ основних карактеристика једног трансформаторског уља биљног порекла и његове предности у поређењу са уљима која се тренутно користе (минерална и синтетичка уља). Уз добре диелектричне особине, описани тип уља, који се добија од семена соје, не загађује околину (биоразградљиво уље), задовољава захтеве и противпожарне заштите (висока тачка паљења), може се мешати са минералним уљем, не садржи корозивни сумпор, није токсично, има добру оксидациону стабилност, раствара вишеструко више воде од минералног уља без значајног смањења пробојног напона. Папирна изолација импрегнисана овим уљем знатно старије стари, тј. има дужи радни век, или се трансформатор може преоптеретити. У низу земаља ово уље је већ у редовној употреби или се врше испитивања, претежно на дистрибутивним трансформаторима.

Питања СИ:

- 1) Какав је однос цена трансформаторских уља минералног и биљног порекла?
- 2) До којих напонских нивоа трансформатора је данас у примени уље биљног порекла и да ли ту има неких познатих ограничења?
- 3) Како се уље биљног порекла понаша на ниским температурама и колика је тачка стињавања?
- 4) Да ли уље биљног порекла може да се користи у регулационим склопкама и која су ограничења?

#### *Реферат А2-05*

*Одстрањивање терцијерних намотаја 10 kV из аутотрансформатора 300/300/30 MVA, 400/115/10,5 kV*

*Аутори: Чедомир Поноћко, Александар Поповић и Слободан Катих, ЈП ЕМС Београд*

Рестриктивни услови смештаја терцијера у петостубним мрежним аутотрансформаторима 300/300/30 MVA, 400/115/10,5 kV, изнудили су врло ограничена конструкцијска побољшања. Након постхаваријске дефектаже претходно поправљеног трансформатора, раније већ оспоравани концепт конструкцијског решења „слабог“ терцијера, поново је актуелизован.

Компаративним приказом димензионисања терцијера за две различите снаге, 30 MVA и 100 MVA на аутотрансформаторима истих снага 300 MVA и истих преносних односа, 400/115 kV, експлицитно је документовано знатно веће аксијално динамичко напрезање проводника на терцијеру мање снаге.

Радикални прилаз аутотрансформаторима склоним хаваријама, резултује избором неког од понуђених решења спрезања намотаја терцијера, укључујући и решење елиминације терцијера у условима фабричког ремонта, какво решење је подржано приказом управо ремонтваног трансформатора.

Питања СИ:

- 1) Која од понуђених варијанти иновираних конфигурација терцијера, укључујући и аспект пренапонске заштите, може бити реализована у теренским условима?
- 2) Које су претпоставке елиминисања екстерне пригушнице укључене у коло терцијера, као теоријски могућег решења заштите слабих терцијера?

## *Реферат А2-06*

*Дијагностика стања изолације блок трансформатора VN испитивањима са мерењем парцијалних пражњења после поправке на терену*

*Аутори: Ronald Plath, Радован Радосављевић, Александар Бојковић, Миомир Никодијевић, Бранко Пејовић, Драгомир Гуџић и Петар Николић, HPS Berlin, ЕТФ Београд, Минел Трансформатори, ХЕ Бердан I*

После хаварије блок трансформатора снаге 380 MVA услед квара опреме за синхронизацију једног од припадајућих генератора, мерењима и анализама је утврђено да је оштећење ограничено само на намотаје средњег стуба трансформатора, па је извршена замена намотаја на терену, са завршним сушењем изолације комплетног трансформатора.

Провера квалитета изведених радова након поправке, први пут на овим просторима је спроведена VN испитивањима са мобилном опремом, која укључује и опрему за мерење парцијалних пражњења. Спроведена су и мерења у празном ходу и кратком споју по раније развијеном поступку од стране аутора. Мерења парцијалних пражњења указала су на посебне облике парцијалних пражњења који се јављају код on-site поправљених трансформатора који су раније дуго били у погону, што је у раду детаљно изложено.

Питања СИ:

- 1) Какво је погонско искуство са поправљеним блок трансформатором? Да ли се на основу резултата његове превентивне контроле (гаснохроматографска анализа, садржај воде и фурана, карактеристике уља и електрична испитивања) може оценити да је успех оправке верификован и у реалном погону?
- 2) Познато је да су VN испитивања ван испитне станице произвођача врло озбиљан подухват, посебно када су у питању мерења која су веома осетљива на сметње, као што је мерење парцијалних пражњења. На који начин се на терену могу елиминисати сметње при мерењима парцијалних пражњења у циљу добијања поузданих резултата мерења?
- 3) Која су неопходна VN испитивања после поправке већег обима на терену да би се гарантовао квалитет оправке и какве су техничке могућности за њихово извођење? Да ли би било економски оправдано да ЕПС поседује сличну покретну испитну лабораторију, уз претпоставку да се њене услуге нуде и земљама у региону?

## *Реферат А2-07*

*Компатибилност процене остарелости изолације енергетских трансформатора преко савремених дијагностичких техника и прорачуна на бази температурних мерења и историјата терећења*

*Аутори: Радован Радосављевић, Зоран Радаковић, Младен Терзић, Јелена Лукић и Александар Бојковић, ЕТФ Београд, ЕИИТ Београд*

Савремена светска пракса региструје два концепцијска приступа процени остарелости изолације и преосталог века трансформатора, од којих оба имају подршку у важећим међународним стандардима. Први је заснован на историјату оптерећивања и мерењу и процени одговарајућих температура уља са циљем да се одреди временски дијаграм температуре вруће тачке у току рада трансформатора или на континуалном мерењу температуре вруће тачке применом фиброоптичких сензора, преко које се обавља прорачун остарелости чврсте изолације.

Други приступ је заснован на праћењу деградационих процеса изолационог система и погонског стања трансформатора применом превентивног одржавања "увидом у стање", заснованом на комплексном периодичном дијагностичком испитивању и анализи низа електричних и хемијских карактеристика изолационог система, преко којих се квалитативно процењује остарелост, а која на крају може и дефинитивно да се квантитативно потврди мерењима на узорцима чврсте изолације. У раду су приказани принципи и методе процене века по оба концепта и упоредни резултати на примерима великих енергетских трансформатора.

Питања СИ:

- 1) Колико је присутна компатибилност резултата процене остарелости изолације по два изложена концепта процене према светским искуствима и да ли примена једног концепта искључује други?
- 2) Са којом поузданошћу стање целулозне изолације на доступном месту узорковања може да буде прихваћено као репрезент реалног стања изолације у зонама hot-spota?
- 3) Да ли примена заштитних премаза шинских веза може да се прихвати као препорука произвођачима трансформатора?
- 4) Да ли евидентирано присуство купри-сулфида може генерално да се уважи као поуздани hot-spot маркер механичког дефекта изолације проводника и директне експозиције бакра трансформаторском уљу?

*Реферат А2-08*

*Неопходност ревитализације изолације енергетских трансформатора – предности технологије примене синтетичких адсорбената*

*Аутори: Дејан Пантић, Владимир Пантић и Радован Радосављевић, ВИМАР Београд, ЕТФ Београд*

Продужење животног века енергетских трансформатора и повећање поузданости рада у мрежи треба да представљају приоритет власницима ове опреме. Ревитализација изолације обезбеђује заустављање убрзаног процеса старења целулозне изолације дубинским сушењем и пречишћавањем чврсте изолације, као и регенерацију изолационог уља одстрањивањем свих продуката старења-оксидације. Упоредном анализом основних карактеристика класичних метода ревитализације са савременим методама заснованим на адсорпцији помоћу синтетичких адсорбената, утврђене су значајне предности нових метода: поступак ревитализације изолације синтетичким адсорбентима је потпуно неинвазиван процес, без штетних ефеката на изолацију, вишеструко ефикаснији, са дугорочнијим ефектима, уз чињеницу да ни у једној фази процеса не долази до угрожавања животне средине, а имају се и директне уштеде финансијских средстава.

Питања СИ:

- 1) Да ли постоје ризици и који, при on-line регенерацији уљно-папирне изолације наведеном методом, када је трансформатор у погону? Пре свега се то односи на блок трансформаторе у нуклеарним електранама и термоелектранама.
- 2) Да ли је наведена метода подобна и за евентуалну обраду биоразградивих уља, као што је сојино уље?
- 3) Да ли је наведеним постројењем вршена и пасивизација корозивног сумпора у неким трансформаторима?

*Реферат А2-09*

*Анализа стања уља трансформатора 110/x kV*

*Аутор: Синиша Спремић, Електровојводина*

У раду је дата анализа резултата испитивања електричних, физичких и хемијских карактеристика уља енергетских трансформатора „Електровојводине“. Резултати су груписани и анализирани по произвођачким типовима, снагама и старости трансформатора, узимајући у обзир и радове на одржавању, као што су сушење, регенерација или замена уља. Разматра се и проблематика присуства корозивног сумпора у трансформаторским уљима.

Питања СИ:

- 1) Да ли се присуство корозивног сумпора у 5 трансформатора „Електровојводине“ штетно одразило на њихове регулационе склопке?
- 2) Каква су искуства других корисника трансформатора са проблематиком корозивног сумпора?



### *Реферат А2-10*

*Нови резултати превентивне контроле мерних трансформатора 110 kV на подручју ПД „Електровојводина“*

*Аутор: Душан Обрадовић, Електровојводина*

У раду су фактографски изнети резултати испитивања парцијалних пражњења струјних и индуктивних напонских трансформатора 110 kV методом ултразвука, односно испитивање гасова растворених у уљу методом гасне хроматографије. Целисходно би било да се спроведу и испитивања пренапона високе фреквенције, изазваних манипулацијама растављачима 110 kV у близини мерних трансформатора у квару.

Пуни смисао великог броја мерења постигао би се удубљивањем у конструкцију, услове експлоатације и остарелост изолације наведених мерних трансформатора. Понекад су велика електрична поља на кривини, на месту преласка са правога мотања папирне изолације на заобљени део, као и проблем преласка са машинског на ручно мотање изолације. Такође су некад проблематични екрани за изједначење потенцијала и њихово причвршћење завртњевима. Неки од наведених врло старих мерних трансформатора су отвореног типа – без дилатационе мембране, са перманентним контактом влажног ваздуха из атмосфере и изолационог уља.

Питања СИ:

- 1) Да ли је код испитивања парцијалних пражњења ултразвуком коришћена само једна сонда са пиезолементом, који одговара само једном фреквенцијском опсегу, или је коришћено више сонди, прилагођених различитим могућим фреквенцијским опсезима?
- 2) Да ли су у појединим случајевима упоредно рађена и испитивања парцијалних пражњења електричном методом, у фабрици?
- 3) Да ли су пронађени узроци настанка високог нивоа парцијалних пражњења, као нпр. грешке у конструкцији, пре свега струјних трансформатора, или високофреквентни пренапони при искључењу растављача?

### *Реферат А2-11*

*Проводне честице и Lorentz-ова сила у енергетском трансформатору са уљно-папирним изолационим системом*

*Аутори: Љубиша Николић, Ненад Карталовић и Милош Сушић, ЕИИТ Београд*

Код хаварија неких великих трансформатора у свету, констатовано је присуство наслага бакар сулфида, како на површини метала тако и преко изолације проводника. У свим тим случајевима постојали су међузавојни пробоји на местима повећаног депоновања бакар сулфида. У раду се ове појаве објашњавају миграцијом проводних честица под утицајем Лоренцове силе, која настаје услед интеракције расутог флукса и струја одвода између навојака на одређеним местима.

Питања СИ:

1. Да ли конструктори трансформатора сматрају оправданим захтев наведен у закључку рада да се делује на смањење расутих флуксева, односно Лоренцове силе, имајући у виду могућност примене корозивних уља трансформатора? Чини се да је овакав захтев непримерен и да решење треба да се тражи у одговарајућем квалитету уља.
2. Предлог у закључку за постојеће трансформаторе са корозивним уљем је да се, ако постоје депозити бакар сулфида, уграде магнетски шантови ради смањења расутих флуксева у угроженим зонама намотаја, или да се врши заокретање намотаја, како би зоне са формираним депозитима биле пребачене у безбедну зону. Да ли је ово по мишљењу произвођача и конструктора уопште изводљиво у пракси и са којим ограничењима?

### *Реферат А2-12*

*Корозивни сумпор у трансформаторском уљу - ризици у експлоатацији и начини решавања проблема*

*Аутори: Јелена Лукић, Слађана Теслић, Срђан Милосављевић и В. Калуђеровић, ЕИИТ Београд*

У раду је описана проблематика трансформатора у којима се налази уље које садржи корозивни сумпор, што је у појединим случајевима довело до хаварија. Дат је опис механизма и фактора ризика за настанак бакар сулфида, чије таложење на папирној изолацији намотаја погоршава диелектричка својства изолационог система. Приказане су методе за откривање корозивног сумпора у уљу и поступци којима се открива присуство бакар сулфида на намотајима, када се посумња да је узрок хаварије корозивни сумпор. По мишљењу аутора, критичне зоне су на местима са највишим температурама, тј. сакупљање бакар сулфида представља на неки начин hot-spot маркер, што је илустровано на примеру једног трансформатора.

Питања СИ:

- 1) Међу наведеним методама санације стања код трансформатора са корозивним сумпором, која метода даје најпоузданије резултате са тачке гледишта погонске сигурности трансформатора, која је економски најисплативија и која се према сазнањима аутора највише примењује у свету?
- 2) На основу чега су аутори закључили да нема увећаних количина метана и етана у уљу датог трансформатора када су мерењима од јуна 2006. године утврђене концентрације од 157 ppm и респективно 259 ppm?

*Реферат А2-13*

*SFRA метода, пример из праксе и значај у одржавању трансформатора*

*Аутори: Милош Сушић, Ђорђе Јовановић, Саво Маринков и Небојша Дробњак, ЕИИТ Београд, ХЕ Бердан 2*

У раду је приказана метода анализе фреквенцијског одзива (Sweep Frequency Response Analysis) помоћу које се откривају различите промене геометрије активног дела трансформатора (намотаја, магнетског кола и веза, односно извода). Приказана су три примера који илуструју практичну примену методе. Први пример приказује фреквенцијску карактеристику блок трансформатора једне хидроелектране пре и после хаварије. Упоредо су дати и резултати других мерења, који су ближе дефинисали локацију и природу квара. Други пример се односи на мерења пре и после транспорта једног блок трансформатора, када је утврђено да није дошло до било какве промене геометрије. Трећи пример је дискутабилан ако се узме у обзир да је трансформатор био на оправци, а да у то време нису обављана мерења индуктивности услед расипања и снимање фреквенцијске карактеристике. Овај пример потврђује закључак да при пријемним испитивањима треба обавити и испитивања која нису обухваћена важећим прописима за трансформаторе.

Питања СИ:

- 1) У примеру 4.1 резултати мерења индуктивности услед расипања при 1А су нешто нижи него при 0,5А, што је нелогично пошто флуks расте са повећањем струје. На који начин је мерена индуктивност услед расипања и да ли је класа тачности примењене опреме адекватна за случај када се не доказује да је трансформатор претрпео хаварију, него када треба установити мале промене геометрије услед сила при кратком споју или при транспорту?
- 2) Која се додатна испитивања планирају код трансформатора Т1 из примера у тачки 4.3, после изражене сумње у његову исправност на основу мерења SFRA и индуктивности услед расипања?
- 3) Да ли се само на основу мерења фреквенцијског одзива може донети закључак о исправности или неисправности трансформатора, с обзиром да је метода на садашњем степену развоја квалитативна, или је потребна подршка других испитних метода за доношење закључка? Које методе треба применити при дефектажним мерењима?

*Реферат А2-14*

*Мерење губитака снаге кратког споја трансформатора у постројењу*

*Аутори: Драгана Наумовић – Вуковић, Слободан Шкундрић и Љубиша Николић, ЕИИТ Београд*

Рад се бави мерењем снаге губитака у кратком споју великих енергетских трансформатора на терену коришћењем генератора као извора напајања. Нагласак је дат на ализи мерне грешке појединих мерних компоненти, као и укупна мерна грешка, што се може сматрати основном вредношћу и доприносом рада.

Питања СИ:

- 1) Како је проверавано - узимано у обзир самозагревање намотаја услед струја при огледу кратког споја? Како је одређивана температура намотаја при мерењу губитака и какво је било хлађење трансформатора при мерењу?
- 2) Да ли је при реализацији мерења било проблема у успостављању номиналне струје при сниженом напону на генератору? Који су мерни трансформатори коришћени – постојећи на трансформатору или посебно монтирани? Која је класа мерних трансформатора?
- 3) Колико су биле дугачке везе између тачака на које је прикључено напонско коло електронског мултиметра и да ли су узети у обзир губици на шинским везама између ових тачака и нисконапонске стране трансформатора?
- 4) Зашто није извођен и оглед празног хода у којем се поред мерења снаге губитака утврђују и могуће промене карактеристика магнетског кола?

*Реферат А2-15*

*Комплексна дијагностика погонског стања трансформатора блока 2 термоелектране Никола Тесла Б*

*Аутори: Б.Јовановић, Ј.Лукић, С.Теслић, С.Милосављевић, Д.Ковачевић, П.Васић, З.Божовић, З. Радаковић, ЕИИТ Београд, ТЕИТ, ЕПС, ЕТФ*

Приказани су резултати комплексног дијагностичког испитивања трансформатора блока 2 ТЕ Никола Тесла Б, иницираног погоршањем електричних карактеристика изолационог система - смањење изолационих отпора и пораст фактора диелектричних губитака. Испитивања су обављена у сарадњи са НПО "Техносервис-Електро" из Москве и поред стандардних електричних испитивања била су обухваћена и специјална мерења: снимање фреквенцијског одзива (SFRA), одређивање садржаја воде у чврстој изолацији методом повратног напона (RVM) у циљу верификације процеса сушења на терену, мерење парцијалних пражњења електричном и акустичном методом (on-line мерење у режиму празног хода и под оптерећењем) и термовизијско испитивање суда трансформатора, проводних изолатора и система уљних пумпи за хлађење. Обављена су и вибрациона испитивања суда и уљних пумпи, мерења магнетског поља на површини суда (у режиму празног хода и под оптерећењем), у циљу сагледавања стања учвршћења магнетског кола и намотаја и уљних пумпи.

Хемијска испитивања су, поред класичних, обухватала и мерења деривата фурана, а током ремонта са доступних места извршено је узорковање чврсте изолације за одређивање степена полимеризације. Резултати комплексног истраживања указали су на постојање прегревања и интензивне деградације чврсте изолације, чији је узрок највероватније неефикасно хлађење.

Питања СИ:

- 1) У оквиру капиталног ремонта предметног блок трансформатора извршена је и замена уља. Шта је утицало на опредељење за замену уља између две алтернативе – регенерације са додавањем инхибитора и замене уља?
- 2) Да ји су испитивања, између осталог, имала за циљ да утврде и евентуалну могућност повећања снаге трансформатора, у случају да котло, турбина и генератор омогућавају повећање снаге блока. Да ли је капиталан ремонт имао и то као један од циљева?
- 3) Да ли је на основу обављених испитивања било могуће проценити преостали век трансформатора?

*Реферат А2-16*

*Примена фолијског намотаја у циљу повећања динамичке отпорности ваздушних енергетских пригушница. Практичне смернице за пројектовање и конструкцију*

*Аутор: Јелена Крстовић, Енергоремонт*

Уз општи осврт на све распрострањенију примену пригушница и њихову класификацију према захтеваном карактеру индуктивности (константна или промењива) у претпостављеном режиму, у раду је изложена проблематика линеарних ваздушних пригушница: основни параметри за прорачун, геометрија претпостављеног решења, електрични, термички и динамички прорачун, као и технологија израде. Посебно је изложен пример ваздушне пригушнице са применом фолијског намотаја у класи F.

Питања СИ:

- 1) Да ли код фолијских намотаја постоји проблем струја изједначења као последица неуједначених дужина проводника?
- 2) Колика се одступања стварне надтемпературе од дозвољених  $100^{\circ}\text{C}$  за класу F могу сматрати прихватљивим, са аспекта оптималног искоришћења и смештања материјала?

*Реферат А2-17*

*Пригушнице високих фреквенција у електроенергетским мрежама*

*Аутор: Александар Јанковић, ЕТФ Београд*

Иако се у новије време у земљоводним ужадима на далеководима 110 kV, 220 kV и 400 kV уграђују оптички каблови за пренос информација, високофреквентне пригушнице и спрежни кондензатори високог напона су још увек у примени за пренос информација водовима највиших напона.

У раду се износе неке основне карактеристике производње, испитивања и експлоатације ових пригушница.

Питања СИ:

- 1) Колико нових пригушница наведене конструкције има у експлоатацији и на којим напонским нивоима?
- 2) Каква су експлоатациона искуства са новим и поправљеним, односно реконструисаним пригушницама, с обзиром на квалитет преноса сигнала и резултате термовизијских резултата?
- 3) Какав је став аутора о VF - пригушницама које се постављају на главу капацитивног напонског трансформатора или VF - кондензатора?