

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ -
СИГРЕ, СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО - СИГРЕ

СЕКЦИЈА:

ГРУПА 15: МАТЕРИЈАЛИ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЈАТА

СТРУЧЕН ИЗВЕСТУВАЧ: д-р Љубомир Николоски, ЕТФ Скопје

ИЗВЕШТАЈ НА СТРУЧНИОТ ИЗВЕСТУВАЧ

Студискиот комитет 15 прими на разгледување вкупно 8 трудови за второто советување на МАКО СИГРЕ и сите ги прифати. Истите ги распредели и класифицира како реферат или известување, како се гледа подолу.

Р 15-1 Томислав Ангелкоски: "ГАСНО-ХРОМАТОГРАФСКА АНАЛИЗА -
КРИТЕРИЈУМИ И ИСКУСТВА "

Трудот ја третира проблематиката на гасно-хроматографската анализа на растворените гасови во маслото од високонапонските апарати со масло-хартиена изолација, пред се од енергетските трансформатори. Со оглед на важноста која и се придава на оваа метода како профилатичка за добивање на сознанија за состојбата на изолациониот систем кај овој вид апарати, третирањето на оваа сложена проблематика заслужува посебно внимание. Особено што досега сме немале посистематски и посвежи сознанија од оваа област и со проблематиката се занимавале институти од други средини. Трудот поаѓа од сопствени сознанија, мерења и искуства, после набавката на гасно-хроматографскиот систем во РЕК Битола и неговото успешно пуштање во работа.

Трудот отпрво дава пресек на критеријумите за оценка на состојбата на трансформаторите според содржината на растворените гасови во маслото, онака како се изложени во последните светски усвоени стандарди и препораки (IEC и SIGRE). Авторот илустрира и сопствени искуства на мерење на концентрациите на гасови во маслото од трансформатори во РЕК Битола со кои благовремено се откриле слабости во изолациониот систем и се презеле

мерки, со што и се докажува оправданоста на примената на оваа метода како и набавката на системот за гасна хроматографија.

Р 15-2 Велинка Пејовиќ, Јелена Орловиќ, д-р Дамјан Христовски:
"ДОСЕГАШНИ ИСПИТУВАЊА НА ПРИМЕРОЦИ МАСЛО ОД
ТРАНСФОРМАТОРИТЕ ВО МАКЕДОНИЈА "

Овој труд дава преглед на досегашните испитувања на примероци масло од трансформаторите во Македонија кои ги вршел Институтот Никола Тесла во Белград. Како најблиска лабораторија која поседувала гасен хроматограф и други испитни уреди, Институтот Никола Тесла бил долги години присутен во Македонија на ова важно поле и дал голем придонес за правилно и превентивно одржување на енергетските и мерните трансформатори во Македонија. Затоа овие резултати се многу интересни за нашите инженери кои работат во Електростопанството и индустријата. Резултатите се табеларно и хронолошки прикажани. Дадени се и коментари за откриените грешки или слабости на изолациониот систем со што се илустрира користа од ваквите испитувања и оправданоста на вложените средства.

Р 15-3 д-р Дамјан Христовски, Александар Анѓушев:
"ТРАНСФОРМАТОРСКИ МАСЛА - ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕКОЛОШКА
ОПАСНОСТ"

Овој труд зафаќа една досега занемарена и малку позната проблематика во нашата стручна јавност. Имено, изолационите масла кои се користат во електротехниката пред се за импрегнација и полнење на енергетските трансформатори, во одредени услови може да бидат и штетни па дури и опасни по здравјето на човекот. Користејќи светски достапна литература, прописи и искуства, авторите разработиле како, кога и во кои услови трансформаторските масла може да се штетни по здравјето на човекот. Притоа се разработени посебно разните типови синтетски масла кои се особено штетни. Се даваат мерките за безбедност кои би требало да се применат за да се избегнат последиците по луѓето кои работат со нив. Несомнено овој труд ќе предизвика размисла и согледување на нашите услови и третманот кој се дава кај нас на овој проблем од страна на сите фактори, како инженерите така и инспекциите и законодавството.

Р 15-4 д-р Љубомир Николоски: "СУШЕЊЕ НА НАВЛАЖНЕТА И
ИМПРЕГНИРАНА МАСЛО-ХАРТИЕНА ИЗОЛАЦИЈА "

Овој труд опишува една експериментална постапка која има за цел да се одредат условите и можностите за подобрување (сушење) на навлажнета но веќе импрегнирана масло-хартиена изолација. Резултатите од експериментот треба да одговорат на прашањето колку треба да биде висока температурата (како најважен параметар), колку висок вакуумот и колку долго време

ориентационо треба да трае постапката на сушење за да се добијат прифатливи резултати.

До потребата за ваков третман на масло-хартиената изолација доаѓаме ако во апаратите со масло-хартиена изолација на некој начин продрела влага, на пример ако се појавиле или прегледувале без присуство на масло во атмосферски услови, или ако влагата продрела на друг начин, заради нарушување на херметичноста. Во овие услови, пред да се пристапи кон повторно импрегнирање, потребно е да се изврши повторно сушење. Од праксата е познато дека ваквиот третман често не се спроведува правилно, најчесто заради немање на соодветни услови. Обично температурата не е доволно висока или постапката не се води доволно долго.

Резултатите од експериментот даваат некои ориентациони вредности за овие параметри на постапката. При ова треба критички да се суди за обликот на моделот на кој се вршеле експериментите и неговите димензии, со цел да се донесат правилни заклучоци за применливоста на резултатите од експериментот во практичната работа со апарати од висок напон.

Р 15-5 Ацо Ристески, д-р Љубомир Николоски: "ПРОФИЛАКТИЧКО ИСПИТУВАЊЕ НА МАСЛО-ХАРТИЕНАТА ИЗОЛАЦИЈА СО МЕТОДАТА НА ПОВРАТЕН НАПОН"

Трудот третира една профилатичка постапка за испитување на изолацијата на високонапонската апаратура со масло-хартиена изолација која работи со низок напон и како таква е недеструктивна за изолацијата. Иако теориските основи за оваа метода се одамна познати, таа последниве години доживува нов подем благодарение на развитокот и примената на микропроцесорите во мерната техника. Дадени се теориските основи на оваа мерна техника и покажано е дека со неа се опфаќа поширок дел од поларизациониот спектар одошто со традиционалните методи (фактор на загуби и отпор на изолација). Опишано е и едно вообичаено решение за оваа постапка кое е илустрирано со голем број примери од кои се гледа дека методата е доволно осетлива и еднозначна и врз основа на оваа метода може да се донесе суд за состојбата на овој вид изолација. Особено што таа метода дава добар увид во содржината на влага во хартијата, кој податок е многу тешко да се добие по други методи. Освен тоа од примерите се гледа и влијанието врз резултатите на влијателните величини, пред сè температурата, за која треба да се води сметка. На крајот, авторите даваат споредба на резултатите од мерењата спроведени кај еден енергетски трансформатор со методата на повратен напон и со другите вообичаени методи, факторот на загубите и отпорот на изолацијата. Во резултатите нема противречност. Со оглед дека методата е специфична и дека дава друг приод кон проценката на состојбата на изолациониот систем, кој всушност значи дополнување на сликата, корисно би било оваа метода да се одомаќи и во нашата пракса.

И 16-6 Валентин Талимџиоски: ПОЛИМЕРНИ ИЗОЛАТОРИ ЗА НАДВОРЕШНА МОНТАЖА

Во трудот се споредуваат својствата и техничко-економските показатели на класичните (керамичките) и новите - полимерните изолатори за надворешна монтажа. Потоа се опишуваат последниве. Очигледно, на нивна страна се бројни предности. Во помасовната примена на овие изолатори кај нас, покрај другите фактори придонесува и недоволно познавање на фактите и можеби и присутни предрасуди кои со овој труд ќе се надминат. Се дава исто така и еден пресек на напорите за усвојување на технологијата за производството на вакви изолатори во фирмата Еуроинвест од Прилеп.

И 15-7 Александар Рибароски: ЗАЈАКНАТАИ ЕПОКСИДНИ КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ "FILAMENT WINDING"

Трудот настојува да му го приближи на читателот овој вид композитни изолациони материјали составени од епоксидни смоли и зајакнати со бесконечни безалкални стаклени влакна и изработени по т. нар. технологија "Filament Winding". Навистина се работи за еден нов принцип на изолирање и инкапсулирање на намотки, но и за изработување на изолациони тела со посебна цврстина (напр. цевки). Производите изработени според оваа технологија се одликуваат со одлични изолациони но и одлични механички својства. Што е уште и поинтересно, конструкторот има доста слобода во изборот на параметрите на изработката и составот така што може да постигне оптимизација на својствата и утросокот на материјалот. Секако дека после подоброто запознавање на својствата на овој модерен принцип на изолирање, истиот повеќе би се користел. Типични примени се изолирање на намотките на суви трансформатори, воздушни пригушници и сл.

И 15-8. Илија Бендевски, Тони Паспаловски: "ПОСТАПКА НА ЗАМЕНА НА СТАТОРСКИ СТАП ОД НАМОТКАТА НА ТУРБОГЕНЕРАТОР ТВВ-200-2AS3"

Во трудот е опишан погонски настан пробив на изолацијата на статорската намотка при испитување на истата со висок испитен напон и последователна замена на пробиениот стап. Настанот се случил на вториот блок во РЕК Битола. Опишана е и постапката на откривање на оштетениот стап и извршените високонапонски испитувања на изолациониот систем на намотката по замената на пробиениот стап.

Како што е познато, за следење на состојбата на изолацијата на електричните машини со висок напон постојат две групи методи: недеструктивни (за испитување користат низок испитен напон до 1000 V) при кои нема опасност за оштетување (пробив) на изолациониот систем, и деструктивни, каде се користи висок напон, при кое испитување може да дојде до пробив на некое ослабено место, ако такво постои. И двете методи имаат своја филозофија на оправдување и свои симпатизери и бранители. Кај нас се

користат и двете методи, но во термоцентралите, под влијание на Советските прописи доминираат деструктивните, кои се обавуваат при секој генерален ремонт.

Опишаниот настан не би требало да биде изненадување за персоналот кој го одржува генераторот, и затоа овој труд ќе им помогни на екипите кои се задолжени поспремно да се справат со евентуален сличен дефект.

Во светот денес навлегуваат нови, недеструктивни методи на превентивно следење на состојбата на изолациониот систем, најчесто базирани на мерење на карактеристиките на парцијалните празнења. Предноста на истите е што не се користи надворешен доведен напон, туку се испитува под работен напон и во работни услови (и делување на загревање, вибрации). Авторот ги споменува и овие методи како можни во блиска иднина за примена и кај нас.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

Р 15-1:

1. Дали авторот може да објасни каков е трендот на промена на критеријумите за оценка, имено дали се оди кон упростување на постапката или кон усложнување?
2. Дали критеријумите применети според постарите норми и критеријумите според поновите норми даваат разлики во оценката?

Р 15-2

3. Од трудот е очигледно дека Институтот Никола Тесла водел педантна евиденција за сите испитани масла, што денес се покажува многу корисно. Дали авторите сметаат дека е исто така битно и корисно и корисниците на трансформаторите да водат педантна евиденција за сите испитувања и дали можат да дадат смерници како таа да се спроведе?

Р 15-3

4. Што треба да се направи според авторот со цел и во Република Македонија да се пристапи на правилен начин на проблемот на еколошките аспекти и заштитата на човековата околина во врска со користењето на трансформаторските масла?

Р 15-4

5. Дали авторот има сознанија за кои гранични вредности на : парцијалните празнења, отпорот на изолација и $\tan \delta$ можно е успешно сушење на изолацијата?

6. Дали пред отпочнувањето на процесот на сушење (при познати параметри на изолацијата , имено, отпор , $\text{tg}\delta$ и парцијални празнења), може да се предвиди времето потребно за успешно санирање на третираната опрема.

Р 15-5

7. Дали авторите имаат искуства во примената на оваа метода кај мерните трансформатори со масло-хартиена изолација?

И 15-6

8. Дали авторот знае каво место имаат овие изолатори во Република Македонија, и ако не се застапени, која е причината според неговото мислење?

И 15-7

9. Дали авторот може да наведе примери на примена каде својствата на изолацијата на принципот Filament Winding би била најцелисходна било од технички или економски аспект или обата фактори истовремено, и доколку примената е слаба, која е причината?

Р 15-8

10. Дали настанот пробив на изолацијата на статорот во нашето електростопанство е "бауч", односно дали екипите се секогаш спремни брзо да се справат со овој проблем?
11. Дали кај нас се размислува за воведување на некоја модерна метода за превентивно одржување на изолациониот систем, нешто како мониторинг на состојбата додека е генераторот во погон?

Томислав Ангелкоски дипл.ел. инж.
РЕК "БИТОЛА" - БИТОЛА

ГАСНО-ХРОМАТОГРАФСКА АНАЛИЗА - КРИТЕРИУМИ И ИСКУСТВА

КРАТКА СОДРЖИНА

Трудот ја разработува анализата на гасови растворени во трансформаторско масло според меѓународниот стандард IEC 599, дополнителните критериуми и најновите сознанија според IEC, сега претставени како IEC 60599 публикувани кон крајот на 1997 год.

На крајот дадени се резултати од гаснохроматографска анализа (Г.Х.) на најспецифични примери на кои што е регистрирана неисправност пропратена со зголемена концентрација на гасови.

SUMMARY

This papers deals with the analyse of the gas dissolved in transformer oil according to internacional standard IEC 599, additional criteria and most recent knowledge acording to IEC, now represented as IEC 60599 published at the end of 1997.

At the and of this labour, are shown results of free gases analysis (G.A.),in the most charakteristic samples with which defects associated with raised concentration of gas are diskoveredverd.

Клучни зборови :

Енергетски трансформатор, изолација, масло, критериуми, концентрација на гасови, релативен однос на гасови.

1. ВОВЕД

Состојбата на целокупната изолација на трансформаторите што ја сочинуваат маслото и со масло импрегнирана цврста изолација, може успешно да се надгледува со испитување на карактеристиките на трансформаторските масла.

Овие испитувања ги опфаќаат испитувањата на физичките, хемиските, електричните карактеристики и анализа на количината и брзината на создавањето на гасови гасно-хроматографска анализа која во овој труд подетално ќе биде разработена.

Ако земеме во предвид дека брзината на создавањето на гасовите во трансформаторот и брзината на преминување на гасовите во атмосферата во општ случај е немерлива големина, произлегува дека во процесот при проценка на

состојбата на трансформаторот потребно е и ова да се земе предвид, особено при анализа на апсолутните концентрации на растворените гасови во маслото.

Ниту еден трансформатор не може да се посматра како потполно затворен систем кај кого нема размена на гасовите со околната средина. Ова тврдење може да се докаже со следење на промената на концентрацијата на кислородот кај нови трансформатори наполнети со дегазирано масло.

На пример, за големи енергетски трансформатори со класичен конзерватор, концентрацијата може да се подигне од 10000 ÷ 30000 ppm, во зависност од нивниот квалитет. За прецизна дијагноза и оценка на состојбата на трансформаторот со помош на гасно-хроматографската анализа, покрај претходно спомнатата брзина за порастот на концентрација од растворени гасови во маслото потребно е да се анализираат и :

- износот на концентрацијата на гасовите растворени во маслото
- карактеристичните односи на растворените гасови во маслото

Во понатамошното излагање главен акцент ќе биде ставен на претходно двете спомнати точки т.е. критериумите за дијагноза и оценка преку анализата на нивните апсолутни и релативни вредности од карактеристичните гасови.

2. АНАЛИЗА НА ГАСОВИТЕ РАСТВОРЕНИ ВО ТРАНСФОРМАТОРОТ СПОРЕД ИЕС 599

Развиените методи за оценка и дијагноза ги третираат енергетските трансформатори во погон.

Конструктивно овие трансформатори се изработени од бакарни проводници, цврста изолација (целулоза или прешпан) и наполнети со минерални масла.

Дијагноза и оценка се изведува врз основа на износите на концентрациите на различни типови гасови и нивните релативни количници добиени со разлагање на маслото во услови на различни дефекти.

Маслото практично се наоѓа секаде каде што може да се случи дефект. Поради тоа сите појави што се случуваат во трансформаторот влијаат и на составот и концентрацијата на гасовите во маслото.

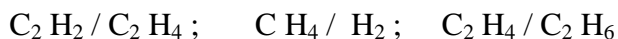
Најзначајни гасови врз основа на кои е изведена дијагнозата и оценката на Е.Т.(енергетски трансформатор) се :

водород (H_2) ; метан (CH_4) ; етан (C_2H_6) ; етилен (C_2H_4) ; ацетилен (C_2H_2) ;

јаглен моноксид (CO) ; јаглен двооксид (CO_2) ; кислород (O_2) ; азот (N_2) ;

Доколку во трансформаторот е присутен дефект, релативните односи на претходно спомнатите гасови се менуваат во зависност од расположивата енергија и температурата .

Карактеристичните количници кои најчесто се користат според овој критериум се :



Во табела 1. (што следува во продолжение) ќе бидат дадени карактеристичните количници, граничните вредности и комбинација на шифри врз основа на кои се дефинираат специфични дефекти со нивно толкување .

Табеларен преглед на шифри за анализа на гасови растворени во минерални масла и нивно толкување за карактеристични дефекти.

Табела 1.

		шифра на вредностите за одреден опсег			
		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	
	однос на карактеристични гасови				
	< 0.1	0	1	0	
	0.1 - 1	1	0	0	
	1 - 3	1	2	1	
	> 3	2	2	2	
број	карактеристичен дефект				карактеристичени примери
0	Нема дефект	0	0	0	нормална состојба
1	Парцијално празнење на енергијата со ниска густина	0 - (но не е значајно)	1	1	Празнење во шуплините исполнети со гас кои настануваат поради непотполна импрегнација или голема влага.
2	Парцијални празнења на енергија со висока густина	1	1	0	Како горе,ама доведува до создавање на проводни патеки или перфорација на цврстите материјали.
3	Празнење со мала енергија (види напомена 1)	1 или 2	0	1 или 2	Искрење во маслото измеѓу лоши споеви на различен потенцијал. Пробој на маслото помеѓу цврстите материји.
4	Празнење со голема енергија	1	0	2	Снажно празнење.Лачни пробој на маслото измеѓу намотки или према земја. Пробој на струја во регулациона склопка
5	Термички дефект со ниска температура < 150 ^o C (види напомена 2)	0	0	1	Воопштено, прегревање на изолираниот проводник.
6	Термички дефект во опсег со ниска температура 150 ^o C - 300 ^o C (напомена 3)	0	2	0	Линеарно прегревање на јадрото поради концентрација на флукс. Зголемување на температурата на топлиите точки кратките врски во јадрото,
7	Термички дефект во појас со средна температура 300 ^o C - 700 ^o C	0	2	1	прегревање на бакарот поради вртложните струи, лоши контакти / споеви .
8	Термички дефект со висока температура >700 ^o C (види напомена 4)	0	2	2	

Напомена :

1. Во оваа табела односот C_2H_2 / C_2H_4 има тенденција да расте од вредности од 0.1 и 3 до над 3 и односот C_2H_2 / C_2H_4 од вреднос измеѓу 0.1 и 3 до над 3 кога расте интензитетот на прескокот.

2. Во овој случај гасовите настануваат претежно со разлагање на цврстата изолација со што се објаснува вредноста на односот C_2H_4 / C_2H_6 .

3. Оваа состојба на дефектот нормално се покажува со зголемата концентрација на гасот . Односот C_{H_4}/H_2 е нормално околу 1, вистинската вредност над или под единица зависи од многу фактори како што се начинот на чување на маслото, температура на маслото како и квалитетот.

4. Зголемувањето на износот C_2H_2 може да се покаже дека температурите на топлиите точки се над $1000^{\circ}C$.

Општи напомени :

1. Наведените вредности треба да се сметаат само како типични.

2. Трансформаторите направени со регулациона склопка, сместена во посебен казан, можат да покажат дефект од тип 202 / 102 во зависност од пропуштањето при продукцијата на гасови за време на лачното разарање од теретната преклопка во трансформаторот.

3. Во пракса може да се јават и комбинација на односи што не се опфатени во табелата 1.

3. ДОПОЛНИТЕЛНИ КРИТЕРИУМИ

3.1. Критериум во кој е искористена апсолутна концентрација

При интерпретацијата на гасовите растворени во трансформаторското масло искористени се апсолутните вредности на одреден број елементи (табела 2) со помош на шифри од 0 до 3, претворени во "А" - шифра со помош на која се врши дијагноза на дефектот.

Табела 2.

ppm			C_2H_2	H_2	$\Sigma C_x H_y$	$\Sigma C O_x$
	<	10	0	0	0	0
10	до	30	1	0	0	0
30	до	100	2	1	0	0
100	до	300	3	2	0	0
300	до	1000	3	3	1	0
1000	до	3000	3	3	2	0
3000	до	10000	3	3	3	1
	>	10000	3	3	3	2

A_0 - Сите броеви со шифра "0"

- дијагноза : нема никакви индикации за грешка (дефект) во трансформаторот.

A_1 - Најмалку еден број со шифра "1"

- дијагноза : сомнителен на ненормален развиток на гасови.

A_2 - Најмалку еден број со шифра "2"

- дијагноза : зголемено сомнение на ненормален развиток на гасови.

A_3 - Најмалку еден број со шифра "3"

- дијагноза : ненормален развиток на гасови во трансформаторот што укажува на грешка т.е. дефект во трансформаторот.

3.2. MSS - КРИТЕРИУМ

Според овој критериум се формираат малку поинакви количници - табела 3, при што со помош на шифри од 0 до 3 се дефинира “ В “ шифрата со помош на која се врши дијагноза - табела 4 .

Табела 3.

количници		C_2H_2/C_2H_6	H_2/CH_4	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_4/C_3H_8	CO_2/CO
<	0.3	0	0	0	0	1
0.3	до	1	1	0	0	1
1	до	3	1	1	1	2
3	до	10	2	2	1	3
\geq	10	2	3	1	3	2

Табеларен преглед на “ В “ шифра и нивно толкување за карактеристични дефекти.

Табела 4.

шифра						дијагноза
V_0	0	0	0	0	0	нормално распаѓање на изолацијата
V_1	2	1	1	2 и 3	1	високо празнење на енергија
V_2	2	2	1	2 и 3	1	ниско празнење на енергија
V_3	1	3	0	0 до 3	0	парцијално празнење со висока густина на енергија
V_4	0	3	0	0 до 3	0	парцијално празнење со ниска густина на енергија
V_5	0	0	0	1	2	локално прегревање до $300^{\circ}C$
V_6	0	0	1	2	2	локално прегревање ($300 - 1000$) $^{\circ}C$
V_7	1	0	1	2 и 3	2	локално прегревање над $1000^{\circ}C$
V_8	1	1	1	2	2	локално прегревање со парцијално празнење
V_9	0	3	1	2	2	локално прегревање со парцијално празнење
V_x						еден количник е 0 / 0
V						не е применлива ни една шифра

Може да забележиме дека, за разлика од оформените количници дадени во табела 1, тука се искористени количници и на други гасови, а со тоа се дава поквалитетен пристап и намалени можните за поголеми грешки при оценката.

Комбинацијата на “ В ” шифрите дадени во табела 4, се само специфични комбинации, со помош на овие комбинации секогаш неможе да се идентификува еднозначна комбинација.

Во случај кога неможе да се формира еднозначна комбинација на шифри се оди на комбинација која е најблиска, при што се користат и останатите критериуми за дијагностицирање и оценка .

3.3. ДОПОЛНИТЕЛЕН КРИТЕРИУМ ИЗРАЗЕН ПРЕКУ “ D “ ШИФРАТА

Табела 5.

D ₁	$C_2H_2 / H_2 \geq 2$ $C_2H_2 > 1$ (≥ 30 ppm) дополнително ако е и V_1 и / или V_2	гас во трансформаторското масло од прекинувач (преклопка) при дифузија – при дифер кој пропушта -- преку конзерваторот
D ₂	$CO_2 / CO > 10$ $CO_2 / CO = 2$ (≥ 10000 ppm)	топлоотно распаѓање на целулозата
D ₃	$CO_2 / CO < 2$ V_1 и / или V_2 и / или C_3 или C_4	електрично распаѓање на целулозата
D	не може да се сврсти од D ₁ до D ₃	не е релевантен D критериумот

Карактеристично за овој критериум е што ги користи граничните вредности и шифри што се искористени во претходно спомнатите критериуми .

3.4. SIGRE КРИТЕРИУМ

Според овој критериум се определуваат три бројки од 0 до 2 со помош на кои се дефинираат пет шифри на z т.е. од z₁ до z₅.

Табела 6.

компонента	тековна анализа	претходна анализа
H ₂	a ₂	a ₁
CH ₄	b ₂	b ₁
C ₂ H ₆	c ₂	c ₁
C ₂ H ₄	d ₂	d ₁
C ₂ H ₂	e ₂	e ₁
CO	f ₂	f ₁
CO ₂	g ₂	g ₁

Табела 7.

z ₁	p ₁ ppm	z ₂	p ₂ ppm/cas	z ₃	p ₃ ppm/cas	z ₄	p ₄ ppm/cas	z ₅	p ₅
0	< 0.3	0	< 2	0	< 5	0	< 20	0	< 1
2	≥ 0.3	1	2 до < 5	1	5 до < 25	1	20 до < 100	1	1 до < 3
		2	≥ 5	2	≥ 25	2	≥ 100	2	≥ 3

При што ознаките p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 , (дадени во Табела 7) се :

$$p_1 = e_2 - e_1 ; p_2 = ((a_2 - a_1) + (b_2 - b_1) + (c_2 - c_1) + (d_2 - d_1)) / (t_2 - t_1) ; p_3 = (f_2 - f_1) / (t_2 - t_1)$$

$$p_4 = (g_2 - g_1) / (t_2 - t_1) ; p_5 = (d_2 - d_1) / (c_2 - c_1)$$

t_1 и t_2 - специфични времиња дефинирани за секој хроматограф. Во нашиот случај (РЕК-“ Битола “-Битола) $t_2 - t_1 = 15$ мин. т.е. ова време е произлезено од почетната и крајната температура пред да се отпочне со испитување. Во нашиот случај за $T_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Интерпретација на добиените шифри со ознака “ z “ :

Со помош на оформените шифрата од “ z₁ “ до “ z₅ “ се врши оценка и дијагноза на дефектот во трансформаторот.

- Сите бројки “ z “ се 0 :

Во трансформаторот нема дефект.

- Ако една бројка “ z “ е 1 а ниедна бројка “ z “ не е 2.

Можен дефект од термичка природа како последица на струјно оптоварување.

- Ако една бројка “ z “ е 2 .

Во трансформаторот има дефект како последица на струјно оптоварување следено со топло место со висока температура (поголема од $700 \text{ }^\circ\text{C}$) .

4. IEC 60599

Кон крајот на 1997 година од страна на техничкиот комитет IEC TC10 и студиски Комитет SIGRE SC 15, изгласан е интернационален стандард IEC 60599.

Во публикацијата посебен акцент е ставен на разврстувањето на специфичните типови опрема.

Во продолжение табеларно ќе бидат презентирани нормално дозволените гранични концентрации на гасовите растворени во трансформаторското масло за специфични типови на опрема.

Нормалните концентрации се сметаат за почетен водич за детектирање на состојбата во случаи кога непостои друго искуство.

Концентрациите дадени во следниве табели се просечно дозволени за различни типови на опрема, земени процентуално од 90 до 95 % .

Тие само овозможуваат идентификација на вредностите кои обично се добиваат при Г.Х. анализа на опремата.

4.1. Енергетски трансформатори

Дозволена концентрација на растворени гасови земена во процент од 90 %

Табела 8.

Трансформатор	водор.	јаг.мон.	јаг.диок.	етан	мет.	етилен	ацетил
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
без рег.склопка	60-150	540-900	5100-13000	40-110	50-90	60-280	3-50
со рег.склопа	75-150	400-850	5300-12000	35-130	50-70	110-250	80-270

4.2. Специјални трансформатори

Дозволена концентрација на растворени гасови земени во процент од 90 %

Табела 9.

Трансформатор	водор.	јаг.мон.	јаг.диок.	етан	мет.	етилен	ацетилен
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Топилнички	200	800	6000	150	150	200	
Дистрибутивни	100	200	5000	50	50	50	5

4.3. Мерни трансформатори

Дозволена концентрација на растворени гасови земени во процент од 90 %

Табела 10.

Трансформатор	водор.	јаг.мон.	јаг.диок.	етан	мет.	етилен	ацетил
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Струјни	6-300	250-1100	800-4000	11-120	7-130	3-40	1-5
Напонски	70-1000					20-30	4-16

4.4. Изолатори

Дозволена концентрација на растворени гасови земени во процент од 95%

Табела 11.

За изолатори	водор.	јаг.мон.	јаг.диок.	етан	мет.	етилен	ацетил
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Нормални конц.	140	1000	3400	40	70	30	2

4.5. Кабли полнети со масло

Дозволена концентрација на растворени гасови земени во процент од 95 %

Табела 12.

Кабли	водор.	јаг.мон.	јаг.диок.	етан	мет.	етилен	ацетил
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Нормални концентрации	150-500	40-100	220-500	5-30	10-25	320	2-10

5. СОЗНАНИЈА И ИСКУСТВА

За поедноставна презентација резултатите од гаснохро-матографската анализа на кои е регистриран дефект пропратен со зголемена концентрација ќе бидат дадени во табела 13.

Во табелата предмет на анализа ќе бидат три енергетски трансформатори :

1Т - Блок трансформатор 250 MVA , 110 / 15,75 kV, Руско производство и искористено масло 10121 според ГОСТ.

2Т - Блок трансформатор 250 MVA ,420 / 15.75 kV, производство "Р.Кончар " Загреб, наполнет со трансформаторско масло Y 3000.

11 Т - Трансформатор за сопствена потрошувачка 25 MVA, 15.75 / 6 kV , тронамотаен, со регулациона склопка, руско производство и наполнет со трансформаторско масло 10121 според ГОСТ.

Кај сите трансформатури може да се забележи дека имаме апсолутно зголемување на одредени количина гасови (зацрнети во табелата), а во оваа прилика подетално ќе се задржиме само на трансформаторот 11Т.

Табела 13.

дата	ознака на трансформаторот	вкупен гас ml / l	гас во масло (µl / l)							дијагноза А-исправен В- сомнител. С- неисправ	
			водород H2	метан CH4	ацетилен C2H2	етилен C2H4	етан C2H6	јаг.мон CO	јаг.диок. CO2		кислород O2
НЕИСПРАВЕН ТРАНСФОРМАТОР											
9.'92	Блок ТР-1Т 250 MVA		6	14	0	75	8	504	3687	8398	A
4.'93			12	20	0	134	45	1203	6628	6228	B021
8.'94			23	58	0	171	29	865	5612	6344	B022
4.'95			38	91	1	217	30	857	6377	3382	B022
5.'95			13	79	0	224	33	382	5840	18021	B022
5.'96			9	25	0	90	18	544	5522	41432	A
НЕИСПРАВЕН ТРАНСФОРМАТОР											
9.'89	Блок – ТР- 3Т 250 MVA	63	46	210	0	277	43	655	2870	9935	C022
4.'90		76.9	57	292	0	365	123	726	2580	3573	C021
6.'90		30.2	55	92	2	108	15	51	419	4606	B022
6.'90		15.9	56	81	1	82	15	80	346	494	B022
9.'90		51.4	38	107	0	137	38	404	1739	5843	B022
1.'91		82.4	21	99	0	125	41	445	1937	19247	B022
9.'92		68	12	52	0	77	33	786	3228	7569	A
НЕИСПРАВЕН ТРАНСФОРМАТОР											
4.'93	ТР-11Т 25 MVA	75.2	16	43	0	130	32	1052	5662	1733	A
8.'94		80.6	31	163	0	106	49	590	3412	7802	B022
4.'95		93.3	1372	4351	10	4031	1037	1029	4136	2015	C022
4.'95		96	1501	5318	11	5143	1361	1049	3938	2574	C022
6.'95		18	2	3	0	4	1	25	144	4455	A

Ако ја погледнеме табелата 13 (за ТР-11Т во периодот од 04.'93 до 06.'95 може да се забележиме зголемена концентрација на гасови во '95 год.

Според критериумите за оценка и дијагноза високата концентрација на : водород H₂, метан CH₄, ацетилен C₂H₂, етилен C₂H₄ , етан C₂H₆, јаглен моноксид CO (затемнето дадени во табелата) , упатуваат на интензивно термичко разорување на маслото, меѓутоа постои неизвесност дали е делимично зафатена целулозната изолација.

После отварањето на трансформаторот најден е скоро целосно стопен еден спој што излегува од намотката и оди на регулационата склопка.

Најдениот дефект во потполност ја потврди претходно направената дијагноза а со тоа помогна да се избегне некоја поголема хаварија на трансформаторот.

ЗАКЛУЧОК

Анализата на слободните и растворените гасови е најупотребувана метода за детекција и следење на дефектите во електричната опрема, Но, интерпретацијата на добиените резултати е доста комплексна работа и треба секогаш да се прави со посебно внимание од страна на искусни работници кои подолго време се занимаваат со оваа проблематика.

Гаснохроматографската анализа е метода со помош на која оценка и дијагноза може да се врши во секое време (независно дали опремата е во погон или исклучена) а тоа овозможува ефикасно, брзо и економично пратење на состојбата на опремата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEC - 599 ,1994. Interpretacija analize gasova u transformatoru i drugoj uljem punjenje elektricne opreme
- [2] XVII Savetovanje elktroenergeticara Jugoslavije, STRUGA,MAJ , 1985 g.
- [3] XVIII Savetovanje elktroenergeticara Jugoslavije, Budva,april, 1987 g.
- [4] Draft IEC 60599 Ed 2.0: Mineral oil-impregnated equipment in service – Interpretation of dissolved and free gases analysis

Велинка Пејовиќ, дипл. хем.
Јелена Орловиќ, дипл. инг. тех.
Електротехнички институт "Никола Тесла", Београд
Проф. Д-р Дамјан Христовски, дипл. инг.
ЕТФ - Скопје

ДОСЕГАШНИ ИСПИТУВАЊА НА ПРИМЕРОЦИ МАСЛА ОД ТРАНСФОРМАТОРИТЕ ВО МАКЕДОНИЈА

СОДРЖИНА

Првите испитувања на примероци масла од енергетските трансформатори во Р. Македонија започнале 1979-та година. Во рефератот е даден општ преглед на сите досега извршени испитувања на примероци масла од трансформаторите во Р. Македонија. Резултатите од гаснохроматографските испитувања се дадени табеларно при тоа некои од резултатите се добиени од испитување на исправни трансформатори, некои од трансформатори со сомнителна исправност или пак од испитување на неисправни трансформатори, посебно мерни, а посебно енергетски.

Клучни зборови: енергетски трансформатори, изолациони масла, примероци.

ABSTRACT

The first analysis of oil samples from the power transformers in Macedonia have started in 1979. This article gives general overview of all analysis of oil samples from the power transformers, which were, up to now, carried out in the country. The results from the DGA (Dissolved Gass Analysis) are presented in tables, and some results are achieved by analysis of regular transformers, other by analysis of transformers with suspicious correctiveness, or by analysis of defective transformers, separately, measured and power transformers.

Key words: power transformers, isolation oils, samples, defect.

1. ВОВЕД

Во лабораторијата на Институтот "Никола Тесла" за испитување на изолациони масла уште од 1969-та година се вршат испитувања на квалитетот и состојбата на трансформаторските масла, а од 1975 година се врши

гаснохроматографска, DGA (Dissolved Gass Analisis) контрола за исправноста на енергетските и мерните трансформатори. Почнувајќи од 1979 година до сега се испитувани маслата од трансформаторите од 15 работни организации од Р. Македонија и тоа од 4 хидроелектрани, 3 термоелектрани, а останатите трансформатори се од електропренос, дистрибуција и од индустриски погони. Меѓутоа, редовна и превентивна контрола на маслата од трансформаторите кои се во експлоатација е извршена само на мал број енергетски трансформатори, додека кај мерните трансформатори таа е направена на уште помал број, гасната анализа е извршена само по еднаш.

Во табела 1. е даден општ преглед на сите досегашни испитани примероци масла од трансформатори во Р. Македонија. Повеќето од енергетските трансформатори испитани со методот DGA (167) се од 110 kV напонско ниво и повисоко, а преостанатите се од 35 kV мрежа.

Во бројот од 152 исправни енергетски трансформатори се наоѓаат и 11 трансформатори кои биле неисправни, но кои после извршената поправка се вратени во погон, како и 11 трансформатори кои биле сомнителни на дефект (B) и кои после повеќе последователни испитувања преминале во исправни (A).

Табела 1. Општ преглед на испитуваните примероци масла од трансформаторите во Р. Македонија.

Гаснохроматографска анализа	вкупно испит. трансформатори	Оценка за исправноста на трансформаторите			
		A(исправен)	B(сомни. на дефект)	C(неисправен)	
сите трансформатори	224	175(78%)	18(8%)	31(14%)	
енергетски трансформатори	167	152(91%)	6(4%)	9(5%)	
мерни трансформатори	57	23(40%)	12(21%)	22(39%)	
струјни мерни трансформатори	46	12(26%)	12(26%)	22(48%)	
напонски мерни трансформатори	11	7(64%)	3(27%)	1(9%)	
Карактеристики на масло: физички, хемиски и електрични	вкупно испит. трансформатори	Групи на квалитетот			
		I	II	III	IV
енергетски трансформатори	77	60(78%)	5(6%)	12(16%)	-----

Првите DGA испитувања на мерните трансформатори од Р. Македонија се извршени дури во 1991 година така што досега се испитани мал број од нив. Затоа релативно големиот број неисправни мерни трансформатори што се приметува во табелата не е ни од далеку вистинска слика за исправноста на мерните трансформатори во експлоатација.

Контрола на состојбата и квалитетот на самото масло на енергетските трансформатори од експлоатација, истотака е извршена на релативно мал број на трансформатори и тоа воглавно по еднаш, па бројката од 16% на масла од третата група на квалитет треба да се земе со резерва. Напоменуваме дека овие испитувања кај мерните трансформатори воглавно и не се вршат освен проверката на диелектричната пробојност и тоа во исклучителни случаи.

2. РЕЗУЛТАТИ ОД ГАСНОХРОМОТОГРАВСКАТА АНАЛИЗА

Методот на гаснохроматографска анализа (DGA) се состои во утврдување на видот и количината на гасните продукти од разлагањето на цврстата и течната изолација на трансформаторот кои гасови се растворени во трансформаторското масло како и од утврдување на гасовите извадени во Бухолцовото реле (кај енергетските трансформатори) во случај на негово алармирање. Врз основа на видот на пронајдени гасови од дефектот, се утврдува дефектот, односно природата на присутното разорување на изолацијата, електрично или термичко, а врз основа на измерените концентрации на гасови, а особено од брзината на нивната промена се проценува интензитетот и озбилноста на дефектот. Понекогаш е можно и истовремено испитување на примероци на масла земени од различни места на трансформаторскиот сад за да се утврди приближно локацијата на дефектот што ни помага да превземеме соодветни мерки а посебно во случаи на изненадни и непланирани испади на трансформаторот од мрежата.

Околу резултатите од (DGA) критериумите за нивна проценка и примерите од праксата за дефекти утврдени со DGA, а потоа потврдени со отварањето на трансформаторите, напишани се повеќе реферати при што ќе ги наведеме само некои од последните (L. 1, 2, 3 и 4).

Во табела 2. се прикажани некои карактеристични случаи на DGA на енергетски трансформатори (примероците на масло се земени од долното ниво на садот доколку не е назначено поинаку), а во табела 3. е за случаи на DGA на мерни трансформатори.

Првите три трансформатори од табела 2. се примери за исправни трансформатори. Трансформаторот бр. 4 бил оценет како сомнителен со присуство на топли места, а трансформаторот бр. 5 со присуство на електрични празнења но и двата после повеќе последователни испитувања со DGA биле оценети како исправни. Очигледно се работело за дефекти од минлива природа што е чест случај кај дефектите од термичка природа. Кај трансформаторот бр. 6 дефектот е утврден, трансформаторот е поправен и после повеќе последователни испитувања со DGA трансформаторот е оценет како исправен. Трансформаторите бр. 7 и 8 се примери за постепено развивање на дефектот што е карактеристика за дефектите од термичка природа. Трансформаторите бр. 9 и 10 се примери кога врз основа на само една гасна анализа, поради измерените високи апсолутни концентрации скоро на сите гасови од дефектот, со сигурност може да се заклучи дека трансформаторите се неисправни. По поправката на трансформаторите со дегазирање на маслото практично во потполност се отстрануваат заостанатите гасови од претходниот дефект и со повеќе последователни испитувања на трансформаторите тие се оценети за исправни.

Кај повеќето енергетски трансформатори од Р.Македонија вршена е DGA истовремено на примероци масло земени од главниот трансформаторски сад и од регулационата склопка. Трансформаторот бр. 11 е оценет како исправен, а релативно високите концентрации на ацетилен и водород пропратени со останатите јагленоводороди измерени во примерокот масло од регулационата склопка се толкуваат со улогата на маслото во склопката да го гаси електричниот лак каде гасовите настануваат при нормален режим на работа на склопката. Кај трансформаторот бр. 12, DGA на примероците масло земени од склопката се покажале релативно високи, повисоки од вообичаените концентрации на сите

Табела 2. Примери на гаснохроматографска анализа на енергетски трансформатори

р. бр.	Производ. мокност MVA	година на испитув.	Концентрација на гасови , ppm							шифра ИЕС 599	
			H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂		
1	МИНЕЛ 31.5	06.1987.	0	1	0	4	0	0	967	A	
		02.1992.	11	4	2	4	5	205	1234	A	
2	СССР 250	11.1980.	15	14	0	19	3	572	1959	A	
		10.1992.	7	3	0	33	0	220	1484	A	
3	ELTA 150	05.1983.	31	34	0	3	33	428	1410	A	
		05.1995.	5	59	0	7	40	266	2622	A	
4	СССР 250	07.1986.	14	24	0	56	9	695	3245	A	
		04.1995.	38	91	1	217	30	857	6377	B022	
		06.1996.	9	25	0	90	18	544	5522	A	
5	R.Koncar 80	03.1985.	27	32	35	255	45	271	2700	B102	
		07.19 8.	131	80	131	627	73	941	8580	B102	
		10.1994.	107	44	65	224	40	938	2710	A	
		04.1998.	88	22	72	106	20	670	5743	A	
6	R.Kocar 250	06.1989.	58	222	0	269	82	508	1457	B022	
		04.1990.	57	292	0	365	123	726	2580	C022	
		10.1990.	38	107	0	137	38	404	1739	B022	
		04.1996.	7	15	0	30	14	722	3795	A	
7	R.Koncar 31-.5	03.1987.	17	13	13	21	5	63	5469	A	
		05.1997.	32	25	11	100	19	274	8000	B102	
		04.1998.	154	339	22	868	117	391	9952	C022	
8	Oerlicon 41	06.1990.	13	104	17	374	59	172	2402	B022	
		04.1994.	1115	5670	660	12727	968	129	565	C022	
9	СССР 25	04.1995.	1372	4351	10	4031	1037	1029	4136	C022	
		06.1995.	2	3	0	4	1	25	144	/	
		05.1996.	11	15	0	40	4	555	5067	A	
10	Savoisien 6.5	05.1985.	1679	2052	132	3585	390	988	7561	C022	
		03.1987.	5	4	0	21	1	488	2906	/	
		10.1997.	40	12	1	6	4	695	8334	A	
11	СССР, MPC 25	10.1996.	8160	508	3277	1078	46	425	7362	/	
		10.1996.	14	4	6	79	3	345	4971	A	
12	СССР, MPC 32 MPC	11.1980.	16292	1478	1267	1210	149	866	3418	B	
		11.1980.	7	12	80	78	6	810	1416	A	
		10.1992.	101	20	27	39	8	515	3092	A	
		10.1992.	3	3	0	22	0	200	1504	A	
13	Siemens 7.1 МБР	02.1985.	9	10	0	4	1	435	3134	A	
		02.1996.	15	2	0	1	0	34	432	A	
		09.1996.	362	523	27	1075	104	544	3141	C022	
		09.1996.	168	369	21	793	77	360	2352	C022	
14	Р.Кончар 16-20 ГБР, % Г	03.1985.	80	18	7	28	7	266	2450	A	
		05.1991.	134	129	21	237	36	357	3233	B022	
		04.1998.	70	133	7	203	48	299	3098	B022	
		04.1998.	26.20	12.13	0.05	1.20	0.04	0.32	0.47		
		04.1998.	170	667	13	517	85	306	3237	C022	
04.1998.	103	213	10	352	74	365	3971	C022			
15	А 2 Г	10.1988.	1234	17721	1683	68399	8968	851	--	C022	
		10.1988.	34034	16471	1624	62043	7699	383	--	C022	

Напомена: Г - горно ниво, MPC - масло од регулационата склопка, МБР - масло од Бухолцовото реле, ГБР - гас од Бухолцовото реле

гасови, па е предложена ревизија на склопката со претходна консултација на напатствијата од производителот на склопката како што и се препорачува во ваквите случаи. Тоа е и направено, маслото од склопката е заменето, и трансформаторот со понатамошни испитувања е контролиран и оценет за исправен. Трансформаторите бр. 13 и 14 се примери за DGA пред и после алармирањето на Бухолцовата релејна заштита. После овој аларм најдобро е да се изврши истовремена гасна анализа на примерокот гас од Бухолцовото реле и на примерокот масло од релето (или горното ниво) и долното ниво на трансформаторскиот сад. Кај трансформаторот бр. 14 најголема количина од создадените гасови поради дефектот се издвоени како слободен гас во Бухолцовото реле немајќи доволно време да се раствори во маслото. Очигледно е дека се работело за изненадна појава. На крај трансформаторот бр. 15 е пример за интензивно разорување на изолацијата, посебно, на изолационото масло, така што содржината на гасови растворени во маслото значително е над содржината на самиот воздух (15154 ppm).

Во табела 3. се прикажани карактеристични случаи на DGA на мерните трансформатори од Р. Македонија. Првите десет трансформатори се струјни, а преостанатите три се напонски трансформатори. Бидејќи мерните трансформатори се затворени системи, за разлика од енергетските, со релативно мала количина на масло, во случај на дефект создадените гасови воглавно остануваат растворени во маслото. Кај исправните трансформатори концентрацијата на гасови поради дефектот се занемарливо мали и после долгогодишен погон на трансформаторот, пример трансформаторите 1 и 2. Кај неисправните трансформатори концентрациите на гасови поради дефектот се многу високи, примери 8, 9 и 10, дури и после 2-6 месеци во погон на трансформаторите.

Многу е мал процентот на мерни трансформатори што се сомнителни на присуството на дефект (В), кога е потребно после одредено време во експлоатација да се повтори гасната анализа, за да се утврди брзината на стварањето на гасови при дефект, а со тоа и сериозноста на присутното разорување. Праксата покажала дека најголем број неисправни струјни трансформатори биле TPE-11 со интензивни парцијални празнења за кои е карактеристична високата концентрација на водород пропратена со присуство на метан и етан, а отсуство на ацетилен. Во праксата сме имале случаи кога овие трансформатори со присутни интензивни парцијални празнења работат подолго време без погонски пречки меѓутоа и случаи на експлозии и при помали концентрации од наведените гасови. За разлика од нив, повеќето од испитаните напонски трансформатори во погон биле во исправна состојба. Во случај на неисправен напонски трансформатор најчесто се работи за електрично празнење со поголем интензитет во споредба со парцијалните празнења или електричното лачење, во кој случај се препорачува итно исклучување на трансформаторот од мрежа (пример трансформаторот бр. 13)

Долгогодишната пракса покажала дека DGA испитувањата на исправните енергетски трансформатори од 400 и 220 kV мрежа во рамките на превентивната, периодична контрола, доволно е да се врши на по еден примерок масло еднаш годишно а кај трансформаторите од 110 kV мрежа може еднаш во две години. Кај исправните мерни трансформатори превентивната контрола со методот DGA се сведува на испитување на еден примерок на масло на секои 5 - 6 години експлоатација. Сомнителните трансформатори на дефект а посебно неисправните се и понатаму предмет на поединачно набљудување при што во предвид се земаат

бројни фактори, а се вршат и дополнителни електрични мерења на трансформаторите.

Табела 3. Примери на гасна анализа на мерните трансформатори

ред. број.	Тип на трансформатор	Концентрација на гасови , ppm							шифра IEC 599
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	
1	струјни APU-420	3	7	0	40	1	455	862	A
2	струјни APU-123	7	1	0	26	3	209	2542	A
3	струјни APU-123	114	6	0	6	3	577	667	B-pp
4	струјни APU-123	25	10	12	34	4	212	1653	B-102
5	струјни TPE-11B	568	87	0	4	26	---	693	B-pp
6	струјни TPE-11B	1628	300	0	6	121	376	2014	B-pp
7	струјни TPE-11B	5972	3118	0	24	560	441	840	C-pp
8	струјни TPE-11B	16818	2827	1	5	720	---	1205	C-pp
9	струјни TPE-11B	20707	1222	0	4	148	---	1596	C-pp
10	струјни TPE-11B	20166	5205	1	18	1692	---	1409	C-pp
11	напонски	105	11	2	27	8	558	5251	A
12	напонски	7	156	0	38	46	1616	11789	B-021
13	напонски	379	132	862	275	18	316	2383	C202

Напомена: pp - парцијални празнења

3. РЕЗУЛТАТИ ОД ИСПИТУВАЊЕТО НА СОСТОЈБАТА И КВАЛИТЕТОТ НА ТРАНСФОРМАТОРСКОТО МАСЛО

Изолационото масло во трансформаторите има улога да ги изолира деловите под напон, значи да поседува добри електрични карактеристики како што се диелектричната цврстина, коефициентот на диелектричните загуби на мокност ($\text{tg}\delta$) и специфичниот електричен отпор. Истовремено изолационото масло во трансформаторите е и течност за ладење па мора да има соодветна подвижност која ја карактеризираат физичките карактеристики како што се вискозноста, густината и точката на течење кои ја одредуваат ефикасноста на одведување на топлина и влијаат на условите на работа при ниски температури. Во текот на експлоатацијата под погонски услови, а тоа е при работна температура, присуството на кислород најповеќе од воздухот, влагата, катализирачкото дејство на конструктивните метали, маслата ги менуваат своите карактеристики, па тие стареат. На тоа укажуваат промените на некои физички, хемиски и електрични карактеристики на маслото, а тоа се утврдуваат со периодична контрола на примероците на масло после одредено време на експлоатација на трансформаторот. Маслата со добар квалитет со правилно погонско одржување треба да траат колку и самиот трансформатор, а тоа е преку 30 години на експлоатација. Поради тоа најважно е првото полнење на трансформаторот да биде со масло со добар квалитет на што укажува и една од најважните карактеристики на маслото која се испитува кај новото масло, а тоа е хемиската стабилност. Доколку случајот сепак не ни е таков, тогаш кога

карактеристиките на маслото ќе достигнат одредена гранична вредност, е потребно да се изврши замена на маслото со ново масло или да се регенерира остареното масло со абсорбенти со инхибирање што представува и поевтина варијанта.

Во зависност од резултатите испитувањето на физички, хемиски и електрични карактеристики на примероците масло, трансформаторските масла во погон се распределуваат во една од четирите групи на квалитет. Околу испитувањето на квалитетот на маслото исто така постојат повеќе реферати од кои ќе ги наведеме само последните два (L. 5 и 6). Во табелата 4. се наведени карактеристични случаи на маслата од трансформаторите во Р. Македонија распределени во група на квалитет.

Маслата под броевите 1, 2, 3 и 4 се масла од првата група на квалитет. Маслото бр. 1 очигледно е ново инхибирано масло со кое е заменето старото масло што не е случај со маслата од трансформаторите бр. 3 и 4 кои иако неинхибирани се наоѓаат во задоволителна состојба преку 30 години во погон. Маслата 4 и 5 исто така се во здоволителна погонска состојба, со високи вредности за диелектрична цврстина, но се повеќе остарени од претходните бидејќи вредностите на поделни карактеристики на маслото се во границите на III-та група на квалитет. Маслата 7 и 8 се примери за масло од II-та група на квалитет бидејќи имаат вредност за диелектричната цврстина под граничната од 160 kV/cm за одреденото напонско ниво на трансформаторот, додека вредностите на карактеристиките кои укажуваат на остареност на маслото се во границите на I-та група на квалитет. Во вакви случаи се предлага повторна контрола на диелектричната цврстина на маслото па доколку се потврди незадоволителна вредност маслото треба да се изложи на сушење, а цврстата изолација на трансформаторот и самиот трансформаторски сад да се исперат со јак млаз. Маслото бр. 9 е од трансформатор од 35 kV мрежа каде граничната вредност на диелектричната цврстина е 120 kV /cm , а вредноста на преостанатите карактеристики на маслото се во I-та група на квалитет. Маслата бр. 10, 11, 12 и 13 се доста остарени под погонски услови но и понатаму се употребливи во постоечката состојба затоа што имаат високи вредности на диелектричната цврстина, над 245 kV/cm. Доколку од било кои причини се планира исклучување на трансформаторот при истекување на маслото тогаш се препорачува, во зависност од староста на трансформаторот и од неговото погонување во иднина, замена на маслото со ново или негова регенерација. Маслата на трансформаторите бр. 14 и 15 се разликуваат од претходните кај кои е извршено само по едно испитување во рамките на превентивната контрола и овие се подложни на периодична контрола. Како што се гледа од табелата маслото бр. 14 иако уште во 1987 година е распределено во III-та група на квалитет, долг низ години ја задржало задоволителната погонска состојба со постепено влошување на поедините карактеристики кои укажуваат на неговата остареност под погонски услови. Маслото бр. 15 било во првата група на квалитет се до 1990-та година кога преминало во III-та група, а потоа и во IV-та група поради ниската вредност на диелектричната цврстина. Бидејќи во претходните испитувања кај ова масло се добивани секогаш високи вредности за овие карактеристики, испитувањето е веднаш повторено и маслото е вратено во III-та група. Очигледно е дека се работело за лошо земање на примерок од маслото, што е чест случај во пракса.

Табела 4. Примери од резултатите добиени од испитувањето на карактеристиките на маслата од трансформаторите што се во погон

ред. број	Диел.цврст kV/cm	$\text{tg}\delta 10^{-3}$ 90°C	N_b mgKOH/g	σ , mN/m	Фенол. Инхиб.	год. произ.	год. испит.	талог n-хепт.	Група на квалит.
1	>250	9.0	0.05	30.35	има	1957	1996	нема	I
2	>250	2.9	0.04	31.38	има	1971	1996	нема	I
3	>250	15.7	0.07	24.09	нема	1962	1996	нема	I
4	>250	55.4	0.10	21.81	нема	1959	1996	нема	I
5	>250	24.0	0.17	20.628	нема	1958	1996	нема	I-III
6	>250	58.6	0.19	19.75	има	1962	1996	нема	III
7	125	4.1	0.02	32.07	има	1974	1992	нема	II
8	117	51.2	0.04	27.62	има	1975	1992	нема	II
9	129	49.0	0.04	25.04	нема	1962	1990	нема	I
10	>250	47.9	0.13	18.33	нема	1956	1990	има	III
11	>245	373.5	0.09	21.20	има	1959	1988	нема	III
12	>245	32.6	0.29	18.61	нема	1959	1988	нема	III
13	>245	75.4	0.19	17.42	има	1958	1988	има	III
14	>245	20.1	0.16	19.41	има	1957	1987	нема	III
	183	27.9	0.17	18.00	нема	1957	1990	има	III
	>250	41.0	0.25	18.49	нема	1957	1994	нема	III
15	>245	19.1	0.09	27.38	има	1973	1988	траг.	I
	66	61.9	0.15	20.46	нема	1973	1994	нема	IV
	>250	76.7	0.28	19.68	нема	1973	1994	траг.	III

Напомена: N_b - неутрализационен број, σ - меѓуфазен напон на системот масло-вода

Зачестеноста на лабораториското испитување на карактеристиките на маслото на енергетските трансформатори во експлоатација од I-та група на квалитет, во рамки на превентивната периодична контрола, кај трансформаторите од сите напонски нивоа е еден примерок на четири години, а од III-та група обично е еден примерок на секои две години. Во меѓувреме доволно е да се проверува само диелектричната цврстина на маслото со испитување на лице место еднаш годишно се додека е во погон.

4. ЗАКЛУЧОК

Користа од превентивна контрола на енергетските и мерни трансформатори во погон со методот на DGA е повеќекратно потврдена во праксата и во Р. Македонија. Бројни се примерите кога дефектите во трансформаторите се откриени во нивната рана фаза само врз основа на резултатите од DGA. Во случај на аларм на релејната заштита кај енергетските трансформатори методот на DGA е сеуште незаменливо средство за утврдување на присуството или отсуството на дефект во трансформаторот.

После скоро 30 години редовна, превентивна контрола на состојбата и квалитетот на маслата од енергетските трансформатори во погон денес во Србија

практично не постојат трансформатори со масла со незадоволителна состојба и квалитет. Заслуга за тоа е фактот дека во последниве 20 години на Југословенскиот пазар на нови масла не можеше да помине масло со незадоволителен квалитет. Остарените трансформаторски масла од погоните се заменуваани со нови масла или, што е почест случај, се регенерирани и инхибирани со што им е продолжен работниот век за скоро 12 години колку што редовно го следиме квалитетот на регенерираните трансформаторски масла во експлоатација. За жал кај повеќето трансформатори во Р. Македонија не е вршена редовна превентивна контрола на карактеристиките на маслото па не постои вистински преглед на нивната постоечка состојба.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. В.Пејовиќ: Основни предуслов за откривање кварова трансформатора у зачетку методом DGA. 21 Саветовање SIGRE, Врњачка Бања, 1993.
- [2]. В.Пејовиќ: Нека искуства са контролом трансформатора гаснохроматографском методом. 21 Саветовање SIGRE, Врњачка Бања, 1993.
- [3]. М. Опачиќ, П. Андриќ: Нека експлоатациона искуства са капацитативним напонским трансформаторима. 21 Саветовање SIGRE, Врњачка Бања, 1993.
- [4]. А.Војковиќ, В.Пејовиќ: Instrument transformers surveillance and prevention of failures, SIGRE Pariz, 1996.
- [5].В.Пејовиќ: Превентивна испитивања енергетских трансформатора пре и у току њихове експлоатације анализом узорака улја, Саветовање "Трансформатори у Електроенергетици", Београд, 1996.
- [6]. В.Пејовиќ: Испитивање квалитета нових трансформаторских улја, 22 Саветовање SIGRE, Врњачка Бања, 1995.

ПРИЛОГ

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Табела 2, гаснохроматографска анализа, трансформатори под реден број:

1. Електроскопје, ТС- Козле, бр. 0821727;
2. ТЕ "Неготино", 1Т, бр. 92499;
3. ТЕ "Осломеј", 1АТ, бр. 154051;
4. ТЕ "Битола", 1Т бр. 104974 ;
5. "Југохром"ТР - IV, бр. 32500;
6. ТЕ "Битола", 3Т, бр. 408048;
7. "Југохром"ТР - III, бр 335010;
8. "Железара" - Скопје, Рег. - 5, бр. 989089Т1/1;
9. ТЕ "Битола", 11Т, бр. 105594;
10. "Југохром"Р - 1, бр. А - 94630;
11. ТЕ "Битола", 13Т, бр. 122762;
12. ТЕ "Неготино", 1ТР, бр. 7272;
13. "Југохром"К - 3, бр. Т - 84821;
14. "Југохром"ТР - II, бр. 334001;
15. А - 2 РЕК "Битола", (нема податоци), испитувано во октомври 1998 година.

Табела 4, карактеристики на маслата, трансформатори под реден број:

- 1,2,3,4,5, и 6 се трансформатори од ХЕ "Вруток", со редни броеви: 308001, 337013, 334024, 334008, 182502 и 307015, испитувани се во 1996 година;
- 7 и 8 се трансформатори од ТЕ "Неготино" со редни броеви: 7272 - 1ТР и 92529-21Т;
- 9 и 10 се трансформатори од ХЕ "Глобочица" со редни броеви: 120-120 и 331000;
- 11,12, и 13 се трансформатори од ХЕ "Вруток", со редни броеви: 120033, 182501 и 182504;
- 14 и 15 се трансформатори од "Југохром" , со редни броеви: ТР - II и ТР - IV, со редни броеви: 334001,32500.

МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

За сите мерни трансформатори кои се дадени во табелата 3, немаме податоци:

1. е трансформатор од ТС - Скопје 4, со реден бр: 795025/76, испитан во 1997 година;
 - 2 и 3 се трансформатори од "Југохром";
- Останатите ТПЕ - 11, се од "Електроскопје", испитани се во 1992 година;
- Сите три напонски трансформатори се од ТС - Скопје 4 на "Електропренос", испитани се 1996 година.

Д-р Дамјан Христовски
ЕТФ, СКОПЈЕ

Александар Анѓушев, дипл. инж.

ТРАНСФОРМАТОРСКИ МАСЛА - ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕКОЛОШКА ОПАСНОСТ

КРАТКА СОДРЖИНА

Во трудов е даден краток преглед на главните изолациони и останати карактеристики на трансформаторските масла со посебен осврт за нивното влијание по здравјето на човекот и околната средина. Притоа е посветено поголемо внимание на трансформаторските масла кои во себе содржат полихлорирани бифенили РСВ, а пренесени се и некои странски искуства околу третманот на овие масла.

клучни зборови: трансформаторски масла, полихлорирани бифенили (PCB), екологија, токсичност и канцерогеност.

ABSTRACT

The paper gives a brief review of the main transformer oils isolating and other characteristics with particular review of their influence for human health and environment. Special attention is given to the oils with polychlorinated biphenils (PCB) and foreign experience with PCB treatment.

keywords: transformer oils, polychlorinated biphenils (PCB), ecology.

1. ВОВЕД

Трансформаторското масло се користи за изолација на намотките на трансформаторот, но и за одведување на топлината која се создава во нив при самата експлоатација на трансформаторот. Поради тоа, трансформаторските масла треба да задоволуваат одредени физички, хемиски и електрични карактеристики.

Физички карактеристики со кои треба да се одликуваат овие масла се: мала густина, ниска вискозност, висока точка на палење, ниска точка на течење, да се бистри и чисти, без механички или други примеси од растително-животинско потекло.

Од хемиски аспект маслата треба да се неутрални т.е. со мал неутрализационен број (NB), некорозивни, да се инертни према оксидација, односно со добра оксидациона стабилност. Исто така маслата треба да се одликуваат со ниска растворливост на водата во нив и со добри гас-апсорпциони карактеристики.

Од електричен аспект маслата мора да поседуваат што помал коефициент на диелектрични загуби ($\text{tg}\delta$) кој претставува одличен показател за квалитетот на маслото како изолатор исто како што тоа ни го покажува и специфичниот електричен отпор. Битна електрична карактеристика е диелектричната цврстина посебно од аспект на погонската сигурност на трансформаторот.

Маслата што се користат за оваа намена потребно е да се еколошки подобни и биоразградливи до продукти кои не се токсични, канцерогени, ниту штетни за околната средина.

Според начинот на кои се добиваат трансформаторските масла ги делиме на минерални и синтетички трансформаторски масла. Минералните масла се добиваат со рафинација на нафтата и се состојат од јаглеводороди, органски соединенија и метали во трагови. Според видот на јаглеводородите кои се поддоминантни минералните масла ги делиме на парафински и нафтенски. Синтетичките масла се јаглеводородни масла кои се произведени од јаглен наместо од нафта. Меѓутоа усвоено е дека под синтетички масла ќе подразбираме изолациони масла кои наместо јаглеводороди содржат други хемиски соединенија, хлор и флуор. Синтетичките масла имаат предност пред минералните кога се бара повисока точка на палење и помала промена на вискозноста за време на експлоатациониот период, а имаат и подобра оксидациона и термичка стабилност.

Во групата на синтетички масла припаѓаат и полихлорираните бифенили (PCB) т.н аскарели. Аскарелите и нивниот третман се посебно интересни, па затоа понатаму ќе бидат и подетално разгледани.

При изборот кој вид трафо-масло по оптимално би ги задоволувало зададените критериуми за квалитет, од еднаква важност за тој избор ќе ни биде еколошката подобност на избраното масло како за време на неговата експлоатација, така и после тоа. Што се однесува до законите и прописите со кои се регулира областа на влијанието на трансформаторските масла врз животната средина и човековото здравје, тие закони постојат, но се нејасно дефинирани и застарени. Поради тоа тука се пренесени некои од странските искуства.

2. ЕКОЛОГИЈА НА ТРАНСФОРМАТОРСКИТЕ МАСЛА

2.1. Токсичност и канцерогеност на трансформаторските масла

Најчесто трансформаторските масла не претставуваат никаква опасност по човековото здравје доколку со нив правилно се манипулира и ако се избегнува вдишувањето на маслените пареи или контактот со очите. Токсификацијата со маслата е невозможна и од проста причина што работниците кои манипулираат со нив не се во постојан контакт со маслото, а при неговата замена се превземаат заштитни мерки. Сепак, според научните податоци синтетичките масла, па и некои минерални масла заедно со нивните адитиви може да бидат доста токсични и опасни по човекот.

Денес во светот се произведуваат нештетни масла кои се хемиски стабилни, со мала испарливост, со висока хемиско-бактериолошка стабилност, отсуство на пена и секое иритирачко дејство врз лицата што манипулираат со нив.

Според токсичноста маслата може да се класифицираат во три групи:

- Во првата група се минералните масла на база на нафта, со или без адитиви, кои покажуваат низок степен на токсичност. При долготраен контакт тие благо ја иритираат кожата и ја прават преосетлива. Доколку овие масла се недоволно рафинирани, при подолг контакт со кожата може да предизвикаат кератоза или рак на кожата.

- Во втората група се маслата на база на нафта, со или без адитиви, кои содржат полесно испарливи деривати. При подолг контакт со кожата благо ја иритираат и ја прават преосетлива. Посебно опасни по респираторниот систем се пареите кои не треба да се вдишуваат. Исто така при манипулација со нив треба да се избегнува пушењето за да се избегне можноста од пожар, но и можното вдишување на токсичните материи што се ослободуваат при контактот на пареите со огнот од цигарите.

- Во третата група се синтетичките масла, со или без адитиви. Тие покажуваат низок степен на токсичност и при подолг контакт со кожата благо ја иритираат. Токму во оваа група постојат најригорозните ограничувања во поглед на токсичноста и тие се однесуваат на РСВ и некои вештачки јаглеводороди. Исто така токсични може да бидат и минералните масла, поточно ароматичните јаглеводороди доколку се не адекватно обработени.

Подкомитетот за нафта на САД во 1969 год. објавил листа на потенцијално штетни супстанции, со која се пропишува нивната максимално дозволена застапеност во базните масла, а на оваа листа се надоврзал и Комитетот за здравство на САД со листа на базните масла кои би можеле да предизвикаат канцерогени заболувања. Така гранично дозволените концентрации на поедините компоненти во базните масла се:

аромати	max 10% ;
РСА	max 5ppm;
бензопирени	max 5ppm;
диоксини (PCDD)	0;
фурани (PCDF)	0;
крисени	0.

Полицикличните аромати РСА се потенцирани како можни носители на токсичност и канцерогеност, па со современи рафинациони постапки се тежнее да се намали нивната содржина на минимално ниво. Во 1948 год. Светската здравствена организација за болестите на канцер LARC, објавила листа во која ги рангира хемиските супстанции според нивните канцерогени потенцијали на:

1. Канцерогени;
- 2а. Веројатно канцерогени;
- 2б. Можно канцерогени;
3. Не е можна класификација;
4. Веројатно не се канцерогени.

Тогаш добро рафинираните масла биле во класа 4, а вакуум дестилатите во 2б. Денес, 50 години подоцна според новите сознанија благодарение на технолошките достигнувања LARC има извршено промена при оценувањето, па добро рафинираните масла се оценети за во класа 2, а вакуум дестилатите во класа 1. Канцерогени може да бидат и конституентите на отпадните масла кои такви стануваат во услови на високи температури и присуство на оксидациони процеси.

Во Европа е јасно дефинирано кои хемиски соединенија можат да предизвикаат канцерогени заболувања. Тоа се: натриум нитрит, трикрезил фосфат, полихлорирани бифенили и др. Присуството на хлор во маслото задолжително ја зголемува веројатноста за настанување диоксини (PCDD) при неговото согорување. Согорувањето и испарувањето на маслото е доста опасно и според американски искуства најголемата дозволена концентracија на маслените пари во воздухот може да изнесува $0.5 \text{ mg} / \text{m}^3$.

2.2. Загадување на животната средина

Под загадување на животната средина се подразбира присуството на остатоци од материја, кои случајно ја преживеале својата намена и кои може да имаат непредвидливо штетно дејство. Во овие загадувачи спаѓаат сите нафтени деривати. Загадувањето со нафтени деривати е присутно насекаде: во воздухот, водата и почвата.

Докажано е дека влијанието на отпадните масла врз почвата може да биде многу токсично по микрофлората и да ја направат почвата мртва за растителниот свет на подолг временски период. После повеќе месечна контрола на контаминираните површини, вегетацијата не била опоравена, а тлото останало масно. Јаглевородородите кои доспеваат во земјата многу споро и тешко се разградуваат и со години се причина за загадувањето на тлото.

Отпадните масла делуваат на водотоците така што го спречуваат кислородот да продре во водата. На тој начин се намалуваат условите за живот на растителните и животинските видови, доаѓа до интоксикација на микроорганизмите и создавање на отровни материи. Според разни сознанија дојдено е до податокот дека 1/5 од загадувањето на водите е последица на отпадните масла, 1 литар минерално масло прави неупотребливи за пиење 1 милион литри вода. Исто така интересен е податокот дека 1 тон отпадно масло кое ќе стаса во вода предизвикува ефекти еднакви со оние што ќе ги предизвикаат отпадните води од една 40 илјадна населба. Отпадните масла се многу опасни и штетни загадувачи на атмосферата доколку ги палиме заради добивање на енергија или за да ги уништиме. Големи загадувачи се рафинериите за нафта од причина што емитураат гасови од јаглевородороди и сулфур диоксид, а и пари со интезивен мирис. Само 50-70% од гасовите согоруваат во тек на производството. Продуктите што настануваат при согорувањето во себе содржат гасови на сулфур, азот, хлор, фосфор кои се многу штетни. За едно масло веламе дека е еколошки подносливо за околината, доколку тоа ги задоволи следните барања:

- при првото полнење маслото мора да биде неутрално за околината;
- приоритетот при изборот на маслата секогаш им се дава на рециклираните, т.е. преработените масла;
- маслото да е еколошки и токсиколошки прифатливо, односно да не ја загрозува водата, т.е. да е полесно и немешливо со неа;
- физиолошкиот статус мора да му биде јасно прецизиран, односно да не е ни токсично, ни канцерогено;
- после употребата маслото треба да биде брзо биоразградливо, а притоа да не настанат штетни нуспродукти.

Под биоразградлива материја подразбираме материја која под дејство на некои паразитски организми, како габи и бактерии, може да се преобрази во

елементарни природни состојки, јаглород диоксид и вода. Биоразградувањето не може да се спореди со разградувањето под влијание на некои хемикалии или со разградувањето заради температурните промени. Биолошки добро разградливо масло е тоа кое ќе се разгради повеќе од 80% според тестот СЕС-L-33-T-82, а според OECD тестовите ако е разградливо повеќе од 70%.

Германската сојузна канцеларија за околина - UBA изработува стандарди и законски прописи, доделува еко етикети и дава модели врз база на кои се дефинираат статусите на маслата. Најчесто се надгледуваат неколку параметри и тоа:

- водоотровност - изразена како LD50 и ја дава средната летална доза која може да предизвика умирање на минимум 5% од експерименталните животни;
- био акумулација - изразена како $\log K_{ow}$ (коефициент октан-вода);
- биолошко разградување.

Под поимот VUR е изразена водозагрозеноста и се дава како етикета од страна на UBA за оценување на материјалите според штетноста. Оценките за биоразградливоста и VUR загрозеноста се дадени во таблица во која е направена споредба меѓу неконвенционалните базни масла и минералното базно масло.

Според неа дојдено е до заклучок дека добро биоразградливото масло не мора да биде идеално во поглед на неговото штетно влијание над водата, на пример: полиестерско масло. Од друга страна полиалфа олефините иако се лошо биоразградливи во суштина се помалку штетни за водата од полиестрите.

UBA поставува 3 групи на услови за задоволување на критериумите за да производите бидат еколошки прифатливи:

1. Се забранува:

- употреба на компоненти кај кои $VUR > 2$;
- мазивните масла несмеат да содржат нитрити и хлор;
- дозволено е само 50% присуство на различни компоненти;

2. Да се врши проверка на еко-тестовите:

- базната компонента да е најмалку 80% биоразградлива според методот СЕС-L-33-T-82 односно најмалку 70% според OECD методите;
- адитиви можат да се користат во било која количина, меѓутоа да се биоразградливи во ист процент како базната компонента;
- адитивите кои не се до таа мерка разградливи можат да се користат до количина од 5%, но само доколку се токсиколошки прифатливи и се со потврда од овластена установа;

3. Потребна е декларација од производителот:

- изјава за типовите на компонентите во маслото (правна регулатива, доверлив договор);
- назнака за намена и примена;
- спецификации за намената да соодветствуваат на техничките стандарди;

Кај нас од 1966 год. важи "Договор за основите за уредување за собирање на корисни отпадоци и преработка во секундарна суровина". Со овие прописи се регулира кои отпадоци може да предизвикаат штетни последици, се регулира начинот за утврдување на економската оправданост на преработката и чувањето на отпадоци и начините за нивно уништување и неутрализација.

Иако уништувањето на маслата е најстроγο забрането, тоа не се почитува поради слабо разработените законски прописи и лошото санкционирање од страна на инспекциските служби.

2.3. Отстранување на отпадните масла

За да се отстранат отпадните масла, а притоа да нема штетни последици по животната средина, потребно е нивно елиминирање или контролирано одлагање. Елиминирањето на отпадните масла се состои од постапки на регенерација и рерафинација, постапки на запалување, искористување како гориво или постапки на разградување. Во Германија 1986 г. донесен е закон со кој се пропишува како да се третираат отпадните масла. Според него отпадните масла се групирани според видот и степенот на загадување, а за секоја група се назначени алтернативни решенија:

а) Употребувани масла со содржина на хлор помала од 0,2% и полихлорирани бифенили кои се под 0,02% можат да се преработат и да се употребуваат како рафинирани базни масла.

б) Употребувани масла (минерални и синтетички) кои содржат хлор и полихлорирани бифенили над дозволената вредност пропишана за таа категорија, а можат да се искористат за горива во ложишта кои се со контролирано согорување и со контрола на издувните гасови.

в) Отпадните масла со висока содржина на адитиви, хлор и аскарели, како и масла од непознато потекло, можат да се согоруваат само во специјални печки во кои е обезбедено потполно согорување и во кои контролата на издувните гасови е според постојните прописи.

Забрането е мешањето на маслата од категориите **б** и **в** со маслата од категоријата **а**.

Според овој закон, фирмите кои создаваат отпадни масла, должни се да ги опремаат местата за собирање на таквите масла, да го организираат нивното собирање и селекцијата по класи и видови, но и да му платат на претпријатието кое се грижи за изнесувањето, преработката или елиминацијата на маслата. Цената зависи од категоријата па според тоа најмногу се плаќа за категоријата **в**, а најмалку за **а**. Во просек изнесува 20 DEM за 1 kg отпадно масло.

Методата на согорување како едноставна и економски исплатлива постапка за елиминација е често прифатена. Од маслото грубо се одвојуваат механичките нечистотии и водата, а понатаму се употребува филтрација и ултрафилтрација. Согорувањето може да се изврши исклучиво во котловски услови. Прв и најважен чекор за што поквалитетно согорување е распрскувањето на маслото и негово мешање со котловското гориво кое пак може да биде максимум 50%.

Доколку маслото се користи како гориво за ложење од него ќе мора да се отстранат водата, хлорот и аскарелите, а потоа да се филтрира и се помешува со масла за ложење за да добиеме масло со бараната вискозност. Доколку отпадните масла се премногу контаминирани, согорувањето е во специјални печки со потполна контрола на гасовите и уредите што ги елиминираат.

Според актот донесен 1985 година во САД, утврдени се граничните услови при кои може да се изведе согорувањето на маслото како и граничните вредности на дисперзираните гасови во близина на урбаните зони:

- арсен	> 5 ppm
- хром	> 10 ppm
- кадмиум	> 10 ppm
- олово	> 100 ppm
- халогени елементи	> 4000 ppm

Како што напомним, за да се разблажи концентрацијата на адитивите во маслата кои што и покрај филтрирањето постојат најчесто маслата се мешаат со поголеми количества мазут. Со ваквото разблажување доаѓа до намалување на концентрацијата на отровните гасови кои потекнуваат од адитивите, меѓутоа се зголемува опасноста од пропаѓање на делови од ложиштето. Затоа тие се изведуваат со посебен проект и се опремуваат со специјална опрема за третирање на агресивните гасови.

Кај нас не постојат единствени прописи за собирање, селекција, складирање и разградување на отпадните материи, т.е. масла.

Злоупотребата за нивно користење како секундарни суровини е секојдневна. Затоа се наметнува потреба за донесување законски прописи по европски терк како и категоризација на отпадните масла и нивна селективна наплата според категоријата. Тие закони треба да се стимулативни кон развојот на оваа дејност.

3. ПОЛИХЛОРИРАНИ БИФЕНИЛИ (PCB)

Полихлорираните бифенили се диелектрични течности и на пазарот се среќаваат под различни имиња во зависност од производителот како на пр: PYRALEN (Франција), ARCOCHLOR (САД и В.Британија), SOLVOL (Русија) и CLOPHEN (Германија). Кај нас се нарекуваат аскарели.

Хемиски гледано PCB се хлорирани ароматични јаглеводороди, безбојни се и се одликуваат со одлични изолациони способности, термичка и оксидациона стабилност, имаат многу висока точка на палење, биолошки се скоро неразградливи, нехигроскопни и потребно е минимално одржување во погон. Долго се сметало дека аскарелите се негориви но со дополнителни испитувања на експлозија и пожар изведени врз опрема која содржела аскарел, се покажало дека во присуство на електричен лак или пожар, сепак, доаѓа до создавање на најтоксичните материјали кои му се познати на човекот, фураните и диоксините. Значи PCB би биле идеални масла доколку не би биле токсични и потенцијално канцерогени. Аскарелите се таложат во живите организми и многу тешко се разградуваат. Голем недостаток им е и цената, која е осум пати поголема од онаа на минералните масла. Денес тие се заменуваат со силиконски масла. Работеејќи на замена на аскарелите, во САД се дошло до две нови врсти на трансформаторски течности:

1. "Помалку запалива група" која содржи хидрокарбонати, силикони и комплексни естри, а во која мора да има точка на палење не помала од 300⁰ С. На оваа група денес и припаѓаат веројатно 95% од маслените трансформатори.

2. Негориви хлорирани хидрокарбонти кои содржат тетрахлоретилен и трихлор бензол.

Светските експерти имаат различни ставови околу степенот на опасност на аскарелите. тие се најопасни ако бидат термички разложени на температури од 300 до 800⁰ С кога се создаваат опасните по човекот: полихлориранитедиоксини PCDD и полихлорираните фурани PCDF, кои во количина од 1mg може да отрујат возрасен човек. Покрај тоа, аскарелите може да бидат опасни и сами по себе, па треба многу да се внимава при манипулирањето со нив и на местото каде тие се депонираат. Постојат во светот различни искуства за инциденти со PCB трансформатори. Еден од најголемите се има случено во Њујорк - Binghampton кога при пожар била ослободена поголема количина на PCDD и PCDF. Пожарникарите и индивидуите

кои биле во зградата на трансформаторот, а која имала непрописна вентилација, осетиле проблеми со очите, кожни иритирања и тегоби со црниот дроб и нервниот систем.

Дури и по три години од несреќата, во тлото и во сидовите на зградата била присутна недозволлива концентрација на РСВ, а во серумот на ензимите и во епителот на контаминирани лица сеуште биле присутни PCDD и PCDF. Отогаш забрането е РСВ да се сместуваат во било какви трафо згради. Друг голем инцидент се случил во Чикаго 1983 г. кога околу 70 литри трафо масло со РСВ се истуриле, па од тогаш овие трансформатори рестриктивно се распоредуваат на теренот. Иако аскарелите повеќе не се произведуваат, постојат докази дека многу трансформатори во погон се контаминирани со РСВ иако никогаш не биле исполнети со нив. Постојат случаи на трансформатори кои претходно биле исполнети со РСВ, а откако маслото било заменето со друго, сепак останале некакви остатоци од РСВ.

Од двата случаја заклучуваме дека е потребно квалитативно и квантитативно одредување на присуството на РСВ и во други видови на изолациони течности. Затоа се користи гасно-хроматографската анализа пропишана со стандардот ИЕС 997.

Аскарелите, освен во трансформаторите, може да се сретнат и во други затворени системи како во кондензаторите, во различните хидраулични апарати и во апаратите за пренос на топлотна енергија (радијатори). Исто така, аскарелите се сретнуваат во т.н отворени системи како што се разредувачите за различни видови бои и лакови, епоксидни смоли и лепаци, како додаток на импрегнирачките материјали, во различни мазива хидраулични масла, но и за површинска обработка (копир хартија - транспарент). Денес употребата на аскарелите во отворените системи во најголем дел од светот се забранети, додека употребата во затворените системи сеуште се толерира со зголемени превентивни мерки. Се претпоставува дека досега е произведено 1 милион тони РСВ, а се смета дека во природата сега постојат околу 30 -40 илјади тони РСВ во вид на секундарна контаминација.

На ниво на поранешна Југославија оваа проблематика е доста анализирана и изработен е елаборат за реалните опасности од РСВ трансформаторите. Во овој елаборат се пропишани превентивните мерки за контрола и заштита од РСВ-те со посебен осврт врз заштитата во случај на хаварија.

Најголемата опасност кај нас од РСВ трансформаторите се наоѓа во неправилното ракување со нив, но и од злоупотребите на некои сопственици на РСВ трансформаторите кои за да се ослободат од нив ги препродаваат, па дури се обидуваат и да ги уништат со спалување на нестручен начин. Спалувањето секогаш мора да се врши на соодветна температура, во строго контролирани услови и во специјални постројки. Затоа, се додека не се пронајде најоптимално решение во однос на РСВ трансформаторите, се препорачуваат следните зафати дадени од Електро Техничкиот Институт "Никола Тесла" од Белград:

- се утврдува точниот број на РСВ трансформаторите кои се во погон и вон него како и складираното количество на РСВ течностите;
- РСВ трансформаторите кои моментално се во погон, треба да се одржат во живот до крај на нивниот експлоатационен период, а со соодветни мерки на заштита и стручно ракување треба да ја смалиме веројатноста од пожар и можно истекување на минимална мерка;
- да се изградат домашни прописи и упатства кои мораат стриктно да се почитуваат;
- во зависност од расположливите количини на РСВ маслата да се организира нивното еколошко и безбедно одлагање и евентуално уништување, на економски оправдан и еколошки безбеден начин.

4. ЗАКЛУЧОК

Трансформаторските масла како многу значаен дел од изолацијата на трансформаторите можат битно да влијаат врз погонот на трансформаторот, па и на целиот ЕЕС. Затоа е потребно да му се посвети посебно внимание на овој тип на изолација и тоа од секаков аспект.

Во трудов е направен скромн обид за анализа на трансформаторските масла од еколошки аспект. Во него се наведени голем број сознанија за начинот на кој делуваат отпадните трафо-масла и РСВ врз животната средина и човекот и за начините како тие треба да се третираат според светските стандарди, за да не дојде до потешки последици.

Целта на овој труд е да ги мобилизира научно-стопанските кругови да се вклучат во создавањето на една јасна регулатива што ќе ја обработува оваа проблематика и на тој начин да обезбедат побезбедна иднина за идните поколенија.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Зборник на стручни теми од Советувањето "Трансформаторите во електроенергетиката", Белград, 1996 год. , реферати на авторите Г.Дотлиќ, Д. Златановиќ и В. Пејовиќ.
- [2]. Реферати од IX-то, XII-то, XIII-то и XVI-то "SAVJETOVANJE ELEKTROENERGETICARA JUGOSLAVIJE", од авторите В. Пејовиќ, П. Дудуковиќ и А. Бојковиќ.
- [3]. Дипломска работа "Анализа на трансформаторските масла од електроенергетски, физички, хемиски и еколошки аспект", од А. Анѓушев под менторство на Проф. д-р Д. Христовски, Скопје, 1998 год.

в. проф. д-р. Љубомир Николоски, Електротехнички факултет - Скопје

СУШЕЊЕ НА НАВЛАЖНЕТА И ИМПРЕГНИРАНА МАСЛО-ХАРТИЕНА ИЗОЛАЦИЈА

КРАТКА СОДРЖИНА

Познато е дека масло-хартиената изолација за високонапонските апарати се приготвува на тој начин, што хартијата во вградена состојба во апаратот отпрво се суши под дејство на вакуум и повишена температура. Потоа, хартијата се ипрегнуира со масло не нарушувајќи ги условите на вакуум. Понекогаш, високонапонските апарати со масло-хартиена изолација, после кус период поминат во работни услови, може да ги загубат добрите изолациони својства заради продор на влага. Затоа, интересно е да се знае дали е можно да се изведе сушење на таков апарат. Во овој труд се опишува експеримент спроведен на модел од масло-хартиена изолација со висока содржина на влага во хартијата. Ваквата изолација се суши со помошта на висок вакуум и повишена температура кои делуваат во текот на одредено време. Резултатите покажуваат дека во принцип таквиот начин на сушење е можен. Дадени се потребниот вакуум, температура и времетраењето при оваа постапка.

Клучни зборови: Масло-хартиена изолација, сушење

SUMMARY

It is well known that the paper - oil insulation is so prepared, that the paper installed in the high voltage apparatus is first dried up with the influence of high vacuum and elevated temperature. Then, under vacuum the paper is impregnated with oil. Sometimes, the high voltage apparatus with oil - paper insulation, after a short period under working conditions loses his good dielectric properties because of high content of moisture. Now, it is interesting to know if there is possible to dry such an apparatus and how. In this paper we describe the experiments carried out on a model of the oil paper insulation with high water content in the paper. The insulation is dried up with influence of high vacuum and elevated temperature during some time. The results show that such drying on a model is possible. The needed vacuum, temperature and time for drying the model are presented and discussed.

Key words: Oil-paper Insulation, Drying.

1. ВОВЕД

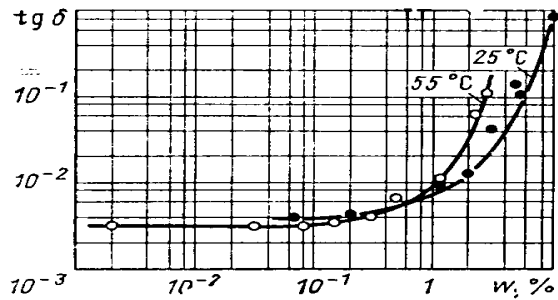
Масло-хартиената изолација е многу значаен вид изолација за висок напон уште од самиот почеток на електротехниката. Најтипична примена на ваква изолација имаме кај кондензаторите и кај кабелите. Во овие примени односот на хартија кон масло е голем. Маслото ги пополнува само процепите меѓу слоевите на хартијата и порите во самата хартија. Својствата на масло-хартиената изолација зависат од својствата на обете компоненти, хартијата и маслото, а исто така и од технологијата на приготвувањето. Најчесто за оваа цел се користи целулозната хартија, заради нејзината ниска цена.

Целулозата е природен полимер чија макромолекула се состои од 2000 до 3000 гликозни прстени, поврзани со кислородни мостови. Сите материјали базирани на целулозата се многу порозни бидејќи имаат капилари широки од 10^{-1} до 10^{-2} микрометри. Таквата структура има огромна внатрешна површина и ги привлекува водените молекули. Механизмот на ова привлекување се засновува и на привлечните електростатски сили меѓу поларната молекула на водата и поларните ОН групи кои се во составот на целулозната молекула. Хартиената на собна температура може да сордржи до 9% кондензирана и апсорбирана вода. Во процесот на припремањето на квалитетна масло-хартиена изолација потребно е кондензираната и апсорбираната вода да се елиминира, а сите капилари да се исполнат со квалитетно импрегнациско масло. Тоа се прави со повишена температура и висок вакуум за одредено време кое исто така е важен фактор во овој процес.

Оваа технологија многу е истражувана повеќе години наназад во Германија [1], и најден е оптимумот во постигнатиот квалитет. Така на пример, во согласност со литературата [2], најдобри резултати се добиваат кога содржината на вода во хартијата се намали до износ под 0,1%. Таквиот квалитет се постига користејќи температура до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 10^{-1} Pa . Траењето на сушењето зависи од дебелината на изолацијата бидејќи тоа е еден дифузионен процес, а обично се движи до неколку денови.

2. СТАРЕЕЊЕ И РЕГЕНЕРАЦИЈА НА МАСЛО-ХАРТИЕНАТА ИЗОЛАЦИЈА

Сликата 1 го покажува односот меѓу двата најважни параметри на квалитетот, имено факторот на моќноста $\text{tg}\delta$ и содржината на влагата w . Добро е познато дека масло-хартиената изолација под работни услови подлегнува на комплексен и спор процес на стареење. Во тој процес, расте содржината на гасови и вода во маслото. Водата исто така оди во хартијата и секогаш постои една рамнотежа на содржината на вода меѓу двете фази. Уште поголема опасност за квалитетот на масло-хартиената изолација е кога се наруши херметичноста на апаратот. Во тој случај, изолацијата на апаратот предвреме го губи својот добар квалитет што се познава по намалувањето на изолациониот отпор R_{iz} и порастот на факторот на загубите $\text{tg}\delta$. Исто така, повишеното ниво на парцијалните празнења е знак за остарена и навлажнета изолација.



сл. 1: Однос меѓу факторот на загубите и содржината на вода [4]

Типичен пример каде прашањето за можноста за сушење на веќе импрегнирана и остарена масло-хартиената изолација е кај мерните трансформатори за висок напон. Праксата покажува дека често и кај не многу години стари трансформатори можно е да се наруши херметичноста и тоа предвреме да си ги влошат своите изолациони параметри $\text{tg}\delta$ и R_{iz} . Се поставува прашање дали ваквите апарати можат пак да се “исушат” (да им се отстрани водата) и одново да се импрегнираат.

Експериментите покажуваат дека само со примена на висок вакуум и повторно импрегнирање можно е единствено да се одстранат парцијалните празнења, но не и да се подобрат вредностите за R_{iz} и $\text{tg}\delta$. Се насетува дека за да се постигне оваа цел потребно е да се примени и повишена температура, исто како и при процесот на првобитната изградба на овој вид изолација. Затоа се планирани спроведени подолу опишаните експерименти.

3. ЕКСПЕРИМЕНТИ НА МОДЕЛИ

Авторот направи експерименти врз модели од веќе импрегнирана масло-хартиена изолација со висока содржина на вода. Целта на експериментите беше да се одговори на следните прашања:

- Колку висока треба да биде температурата во процесот на сушење?
- Колку низок треба да биде притисокот (односно колку висок треба да биде вакуумот)?
- Колку долго треба да трае процесот на сушење?

Како критериум за содржината на влага и степенот на исушеноста одбран беше износот на факторот на загубите $\text{tg}\delta$.

Пробите врз кои се вршеа експериментите се состоеа од по 12 листа целулозна хартија дебели по 1000 микрометри собрани во снопче. Тие се со кружна форма со дијаметар до 90 mm. Секое ливче тежи 0,785 грама и така 12 ливчиња тежат околу 5 грама. Содржината на вода во хартијата беше измерена пред експериментот и беше најдено дека изнесува (8-9)%, а тоа е содржината на влага во хартијата во состојба вообичаена при испораката. Хартијата беше импрегнирана со ново минерално масло со добар квалитет со едноставно натопување и киснење во маслото во текот на 48 часови. Пробите се прицврстуваат и стегаат со одредена механичка сила меѓу две алуминиумски плочи со †Роговски° профил и се ставаат во специјални стаклени контејнери (слика 2) со волумен од околу 2 литри. Во контејнерите може да се создаде висок вакуум и да се регулира температурата. Исто така, со приклучување на шерингов мост во колото, може да се мери и факторот на загубите $\text{tg}\delta$ во текот на процесот на сушење. Првиот контејнер со моделот беше исполнет со масло за целото време на траење на процесот на сушење, а другите два

беа без масло. Така, експериментот требаше да одговори и на прашањето кој од овие два начина ќе даде побрзи резултати. И во двата случаи притисокот во контејнерот се одржуваше на ниво од 0,3 Torr.

Зависноста на најважните параметри од времето, имено, температурата, факторот на загубите и притисокот за време на експериментот на квалитативен начин дадени се на сликата 3.

Почетниот пораст на $tg\delta$ за време на почетното загревање е заради порастот на проводливоста. Аналогно на ова се јавува и стрмо опаѓање на $tg\delta$ на крајот од експериментот, заради ладењето на пробата до собна температура.) Вредноста на факторот на моќност $tg\delta$ има индекс b на почетокот, и индекс e на крајот од експериментот, индекс o на собна температура и индекс θ за повишена температура. Температурата се одржуваше константна за време на периодот Δt .

Процесот на сушење беше многу пати повторуван за истата проба и при секој нов период температурата беше подигана на повисоко ниво.

Првиот експеримент беше спроведен без да се примени греење и тој беше сосема непродуктивен, односно не се јави подобрување на $tg\delta$ без оглед на времето Δt на држење под вакуум.

Резултатите се преставени во табелите 1 и 2. Од табелата 1 можеме да видиме дека единствено на 90°C добиваме приметно намалување на $tg\delta$ од 9,9% на 5,2% Тоа не е доволно за добра масло-хартиена изолација, но тоа покажува дека сепак и на овој начин е можно да се намали содржината на влага. Всушност, водејќи сметка дека во контејнерот има околу 2 литри масло а само 5 грама хартија, намалувањето на содржината на влагата може да се толкува со премин на влагата од хартијата во маслото, како поверојатен процес, а претпоставката дека влагата е отстранета од контејнерот е помалку веројатно.

Табела 1: Сушење на пробата потопена во масло

$tg\delta_{\theta b} / \%$	применети услови	$tg\delta_{\theta e} / \%$
$tg\delta_{\theta b}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 9,9\%$	$\Delta t=4\text{h}$; $\theta=20^{\circ}\text{C}$; $p=0,3$ Torr	$tg\delta_{\theta}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 9,9\%$
$tg\delta_{\theta b}(\theta=40^{\circ}\text{C}) = 16,5\%$	$\Delta t=20$ h ; $\theta=40^{\circ}\text{C}$; $p=0,3$ Torr	$tg\delta_{\theta e}(\theta=40^{\circ}\text{C}) = 16,5\%$
$tg\delta_{\theta b}(\theta=70^{\circ}\text{C}) = 44,5\%$	$\Delta t=30$ h ; $\theta=70^{\circ}\text{C}$; $p=0,3$ Torr	$tg\delta_{\theta e}(\theta=70^{\circ}\text{C}) = 44,2\%$
$tg\delta_{\theta b}(\theta=90^{\circ}\text{C}) = 73,5\%$	$\Delta t=28$ h ; $\theta=90^{\circ}\text{C}$; $p=0,3$ Torr	$tg\delta_{\theta e}(\theta=90^{\circ}\text{C}) = 58,3\%$ после ладењето: $tg\delta_{\theta e}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 5,2\%$

Резултатите од табелата 2 покажуваат дека сушењето без присуство на масло е поефикасно. Ова и можеше да се очекува. Овде навистина влагата е отстранета од хартијата преку парите кои се отстрануваат преку вакуум пумпата. И од оваа табела се гледа дека примената само на висок вакуум без примена на загревање не дава намалување на $tg\delta$ и на содржината на влагата. И овде температурите под 90°C не се ефективни.

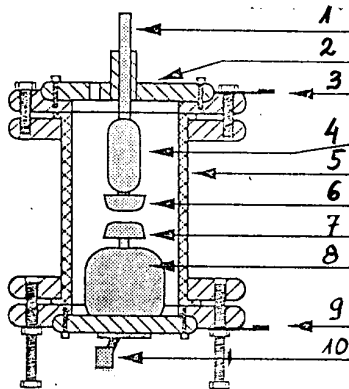
Сликите 4 и 5 многу понагледно го илустрираат процесот на сушење.

Табела 2: Сушење на пробата без присуство на масло

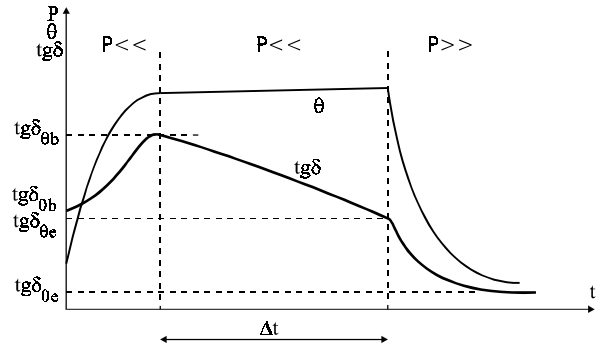
$\text{tg}\delta_{\theta b} / \%$	применети услови	$\text{tg}\delta_{\theta e} / \%$
$\text{tg}\delta_{\theta b}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 20\%$	$\Delta t=52 \text{ h} ; \theta=89^{\circ}\text{C}; p=0,3 \text{ Torr}$	$\text{tg}\delta_{\theta}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 3,8\%$
$\text{tg}\delta_{\theta b}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 3,8\%$	$\Delta t=18 \text{ h} ; \theta=90^{\circ}\text{C}; p=0,3 \text{ Torr}$	$\text{tg}\delta_{\theta e}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 1,9\%$
$\text{tg}\delta_{\theta b}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 1,9\%$	$\Delta t=139 \text{ h}; \theta=100^{\circ}\text{C}; p=0,3 \text{ Torr}$	$\text{tg}\delta_{\theta e}(\theta=20^{\circ}\text{C}) = 1,3\%$

4. ЗАКЛУЧОК

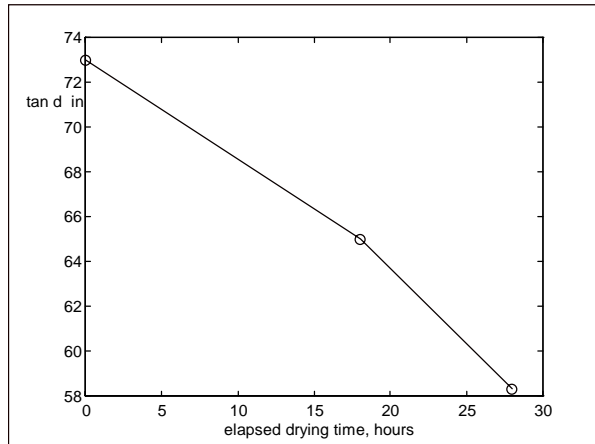
Експериментите кои се опишани погоре покажуваат дека сушење на веќе импрегнирана изолација е можно, но потребни се високи температури, висок вакуум и доволно долго време. Пожелно е да се спроведат слични експерименти на реални објекти со масло-хартиена изолација. Јасно е дека потребното време е многу поголемо од времето потребно кога хартијата се суши како нова, сеуште неимпрегнирана. Натamoшните експерименти треба да покажат дали и колку се намалува и полимеризациониот број на хартијата во текот на овој процес. Имено, ако тој број многу се намалува, тоа значи дека истовремено со сушењето настанува и стареење на хартијата, бидејќи полимеризациониот број на целулозата е најважниот показател на стареењето на истата. Препорачливо е постапката да се простудира и од аспект на економичноста, со оглед на долгото време и поторшената енергија.



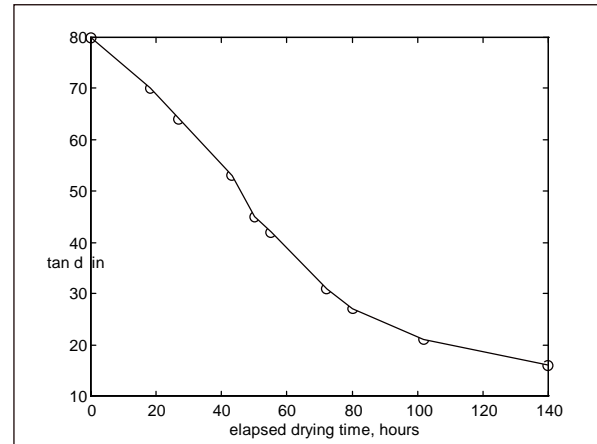
сл.2: Контејнер со проба: 1-прицврстувач на VN електрода; 2-капак; 3-VN мерен извод; 4-прицврстувач на VN електрода со федер; 5-стаклен ѕид; 6-VN електрода, $\Phi=60\text{mm}$; 7-NN електрода $\Phi=60\text{mm}$; 8 - Al контејнер со греачи и температурен сензор; 9-NN врска; 10-електрично напојување на греачот.



сл.3: Временска зависност на битните параметри на пробата при сушењето



сл.4: Фактор на загубите во зависност од времето за процес на сушење со присуство на масло (последен ред од табелата 1)



сл.5: Фактор на загубите во зависност од времето за процес на сушење без присуство на масло (последен ред од табелата 2)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wanser: Über die trocknung von hochspannungskabeln in fein und hochvacuum, *Dissertation*, techn. hochschule Braunschweig
- [2] M. Beyer, W. Boeck, K. Möller, W. Zaengel, *Hochspannungstechnik*, Springer 1986.
- [3] L. Nikoloski et al: The relation between power loss factor and insulation resistance on measuring transformers in on site measurement, *1994 IEEE International Symposium on electrical insulation*, Pittsburgh, PA USA, p.p. 62-65.
- [4] Großekathöfer H. D. Der Trocknungsprozess von papierisolationen und der einfluß von restfeuchte auf die electrischen eigenschaften des impregnierten dielectricums. *Dissertation*, Universitaet Hannover 1973.

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ - СИГРЕ С К О П Ј Е

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО-СИГРЕ

Ацо Ристески, дипл.ел.инж. - ЈП ЕСМ - Подружница "Електропренос" - Скопје
Проф. Д-р Љубомир Николоски, дипл.ел.инж. - ЕТФ - Скопје

ПРОФИЛАКТИЧКО ИСПИТУВАЊЕ НА МАСЛО - ХАРТИЈА ИЗОЛАЦИЈА СО МЕТОДАТА НА ПОВРАТЕН НАПОН

СОДРЖИНА

Во трудот се излага принципот на профилатичкото испитување на масло-хартиената изолација според методата на повратен напон. Потоа се даваат и неколку примери за примена на таа метода и споредба со другите профилатички методи кај енергетските трансформатори.

Клучни зборови: повратен напон, масло-хартиена изолација, профилатичко испитување.

ABSTRACT

In this paper We describe the method of recovery voltage measurement as a prophylactic method for insulation testing. Some examples of application of such measurements in Power Transformers and comparation with other prophylactic measurements are also given.

Key words: Recovery, voltage, oil-paper insulation, prophylactic testing.

1. ВОВЕД

Методот на повратен напон е одамна познат во техниката на висок напон за испитување на состојбата на изолацијата. Но тој не добил досега поширока примена ниту популарност за разлика од "класичните" методи како мерење на отпорот на изолацијата и факторот на диелектрични загубите $\text{tg}\delta$.

Со развитокот на современите електронски мерни методи и примената на микропроцесорите, денес се успеало овој метод одново да добие важност бидејќи

станал едноставен за употреба и дава додатни податоци за состојбата, особено на масло-хартиената изолација, како онаа на енергетските трансформатори. При тоа се работи навистина за неструктивна метода, бидејќи се употребува низок напон од 1000 до 2000 V. Веќе се појавија и комерцијални мерни инструмент базирани на оваа метода [1]. Вредноста на овој метод се состои во тоа што тој пред се дава податок за содржината на влага во хартијата кој податок е одлучувачки за давање оценка за состојбата на остареност. На тој начин овој метод е комплементарен со другите методи и комбиниран заедно со нив дава поцелосна слика за состојбите на овој вид изолација.

2. ФИЗИЧКИ ПРИНЦИПИ НА МЕРНАТА МЕТОДА

Под дејство на еднонасочно електрично поле во диелектрикот настануваат два физички процеси:

- проводливост
- поларизација

Проводливоста е предизвикана од движењето на слободните наелектризирани честички, пред се јоните, кои, иако во мала концентрација, ги има во сите диелектрици.

Поларизацијата пак е процес на придвижување на конечни растојанија на "врзани" електрични честички.

Сите досега познати профилактички методи на испитувањето на изолацијата, всушност, се засноваат на овие две физички појави. И двете појави зависат од градбата и од состојбата на изолацијата.

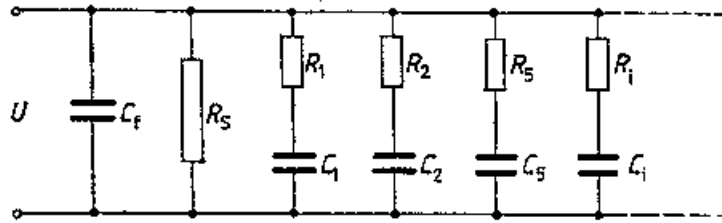
Проводливоста е релативно едноставен феномен и истиот се изразува преку специфичната проводливост и во крајна линија преку отпорот на изолацијата.

Поларизацијата, пак, е доста сложен феномен и таа се состои од повеќе подвидови, кои меѓусебе имаат различна брзина на одвивање и различна сопствена фреквенција на одвивање [2].

Поларизацијата е физичката причина за зголемениот капацитет на еден кондензатор со материјален диелектрик во однос на кондензатор без диелектрик (изразен преку коефициентот на релативна диелектричка пропусливост). И двата физички феномена се пропратени со генерирање на енергетски загуби во диелектрикот. Проводливоста предизвикува енергетски загуби и при еднонасочен како и при наизменичен напон. Поларизационото поле предизвикува енергетски загуби при временски променливо електрично поле како што е наизменичното.

Мерењето на факторот на загубите како профилактичка метода се заснова токму на постоењето на овие загуби при овие два физички феномена. Но, мерењето на факторот на загубите $\text{tg}\delta$ е еден збиен феномен на сите загуби и заради проводливоста и заради поларизацијата и истиот се мери при константна фреквенција од 50 Hz. Факторот на загубите, всушност, претпоставува една многу упростена шема на диелектрикот.

Всушност, најправилната еквивалентна електрична шема на еден диелектрик е дадена на сликата 1.



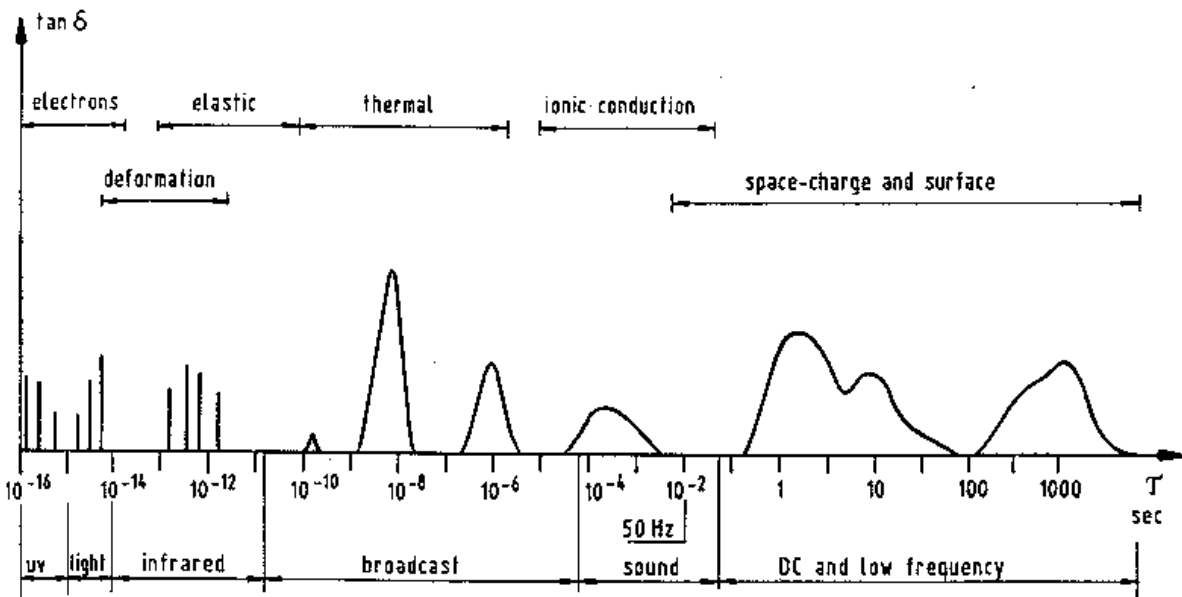
сл.1

Капацитатот C_f го претставува геометрискиот капацитет (без присуство на диелектрик).

Секој вид на поларизација е претставен со една паралелна гранка $R_i - C_i$. Секој вид поларизација дава придонес кон вкупните загуби во зависност од фреквенцијата на побудното електрично поле.

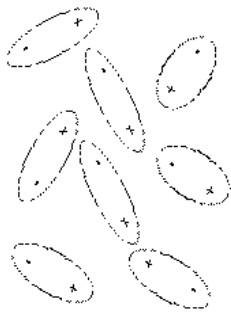
Всушност, колото од слика 1 има фактор на загубите $\tan \delta$ кој е фреквентно зависен т.е. постои таканаречен поларизационен спектар.

На сликата 2 дадена е поларизациониот спектар на факторот $\tan \delta$. Кога фреквенцијата на побудното електрично поле ќе постигне резонантна фреквенција на соодветната поларизација, факторот на загубите постига локален максимум.



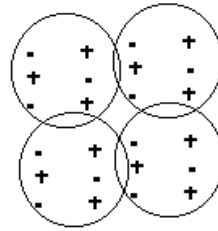
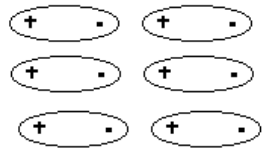
сл.2 Поларизационен спектар на факторот на загуби $\tan \delta$.

Кај масло-хартиената изолација покрај брзите поларизации (електронска) многу битни се поспорите (диполно-релаксационата) и миграциската која е најспора. Диполно релаксационата поларизација е типична за поларни молекули како што е водата. Миграционата поларизација е типична за нехомогените диелектрици составени од слоеви хартија или други материјали.

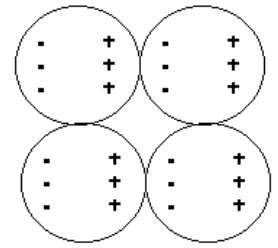


сл. 3а

Диполно релаксациона поларизација



$E = 0$



$E > 0$

сл. 3б

Миграциска поларизација

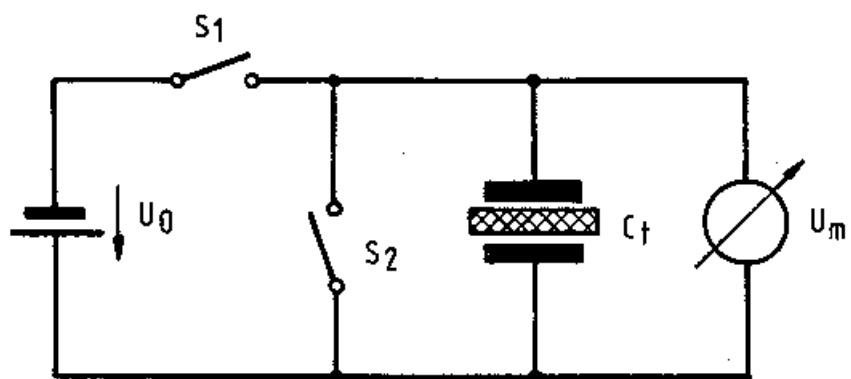
"Недостаок" на методот на мерење на факторот на загубите $\text{tg}\delta$ е што тој се мери на фиксна фреквенција од 50 Hz, па не може да се добијат сознанија за тоа колкав е $\text{tg}\delta$ при други, пред се пониски фреквенции, на кои се одигруваат поспорите поларизации.

Масло-хартиената изолација се состои од две основни компоненти: целулозни влакна (хартија) и изолациско масло. Во ваквиот изолациски систем поларизациониот спектар е силно зависен од содржината на влагата и од другите продукти на стареењето. Молекулата на водата има многу силен поларен момент, а исто така и некои други продукти на стареењето. Така, временската константа на најтипичните видови поларизации се намалува, на пр. од 1000 s за нова и сува изолација, на 10 s за влажна и остарена. Затоа, за да се оцени навлажнетоста и остареноста на оваа изолација, треба да се истражува нискофреквентниот дел на спектарот на $\text{tg}\delta=f(f)$, односно $\text{tg}\delta$ да се мери на многу ниски фреквенции на пр. 0,001 Hz.

3. ОПИС НА МЕРНАТА МЕТОДА И МЕРНАТА ПОСТАПКА

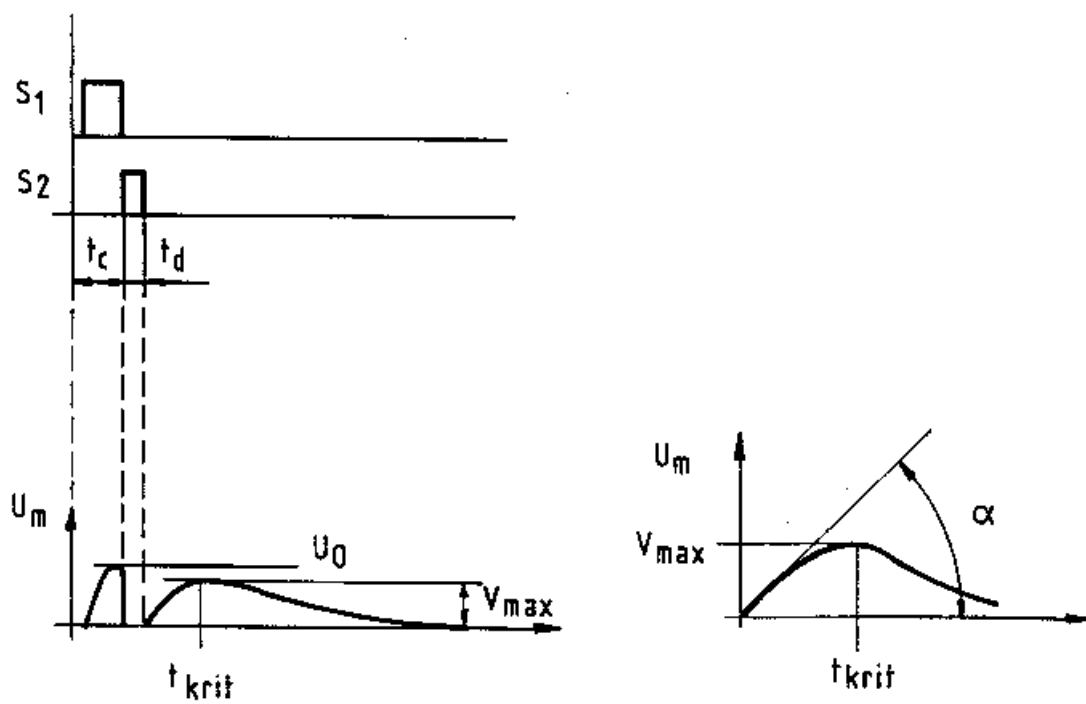
На слика 4 е даден принципиелниот изглед на колото за испитување. Тука C_1 е испитуваната изолација.

Ако прекинувачот S_1 се вклучи за време t_c , за тоа време објектот C_1 ќе се полни од изворот до извесен електричен полнеж. Ако потоа истовремено S_1 се отвори, а S_2 се затвори за t_d (вообичаена е $t_d=1/2t_c$) дел од товарот на C_1 ќе се затвори и исчезне, а дел ќе остане заробен во длабочината на изолацијата, пред се во меѓуслоевите и граничните површини (миграциска поларизација) затоа, после отварањето на S_2 одново ќе се забележи пораст на напонот на C_1 кој ќе се регистра преку мерниот инструмент.

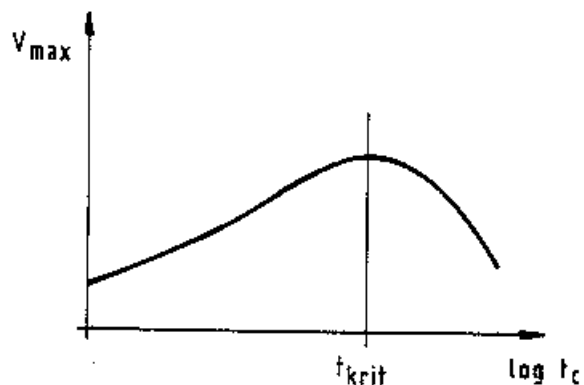


а) коло

сл.4 Принципиелно коло на мерниот инструмент



сл.4в) временски дијаграм на повратниот напон



сл.4с) максимум на повратниот напон V_{\max} као функција од времето на полнење t_c

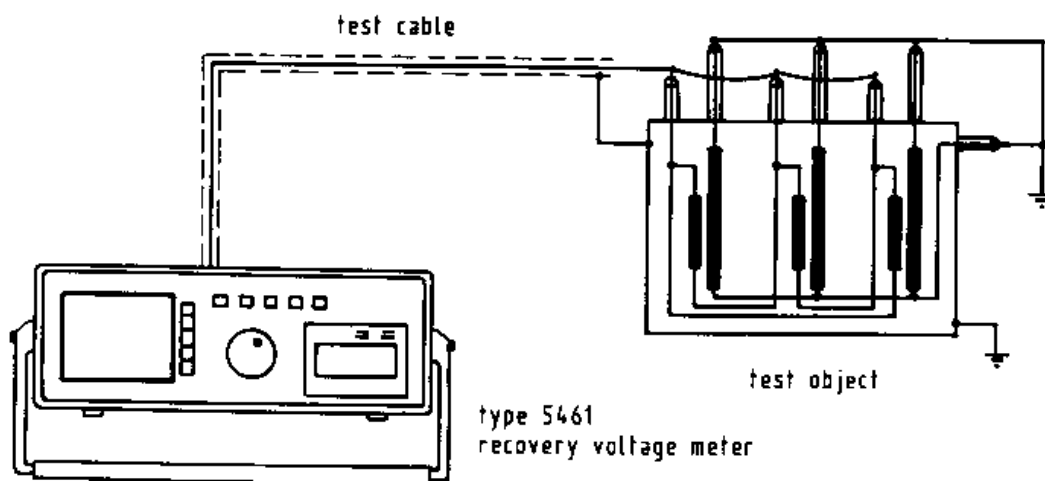
Двата карактеристични параметри на оваа метода се максималниот напон V_{\max} (сл.4 в) и почетниот напон на кривата $\text{tg}\alpha$.

Ако сега t_c се зголемува систематски, почнувајќи од многу мали износи, па се до големи (истовремено се менува $(t_d=1/2t_c)$), тогаш ќе се менуваат и овие два параметри V_{\max} и $\text{tg}\alpha$.

На сл. 4 с се гледа зависноста на V_{\max} од $\log t_c$. Се докажува по теориски пат дека оваа крива го постига својат максимум за $t_{c \text{ krit}}$ при износот на временската константа. Овој резултат покажува дека кривата $V_{\max}=f(t_c)$ го претставува поларизацискиот спектар со максимален износ при временската константа на изолацијата.

За да не се прават огромен број тешки експерименти со несигурно мерење на времињата t_c и t_d , со помош на денешните микропроцорски управувања автоматика и мерна техника направени се погодни инструменти [1] со кои може да се реализира кривата од сл. 4 с за даден објект (на пример енергетски трансформатор).

На слика 5 дадена е шемата на поврзување на инструментот и испитуваниот објект.



сл.5 Испитна врска при мерење со методата на повратен напон

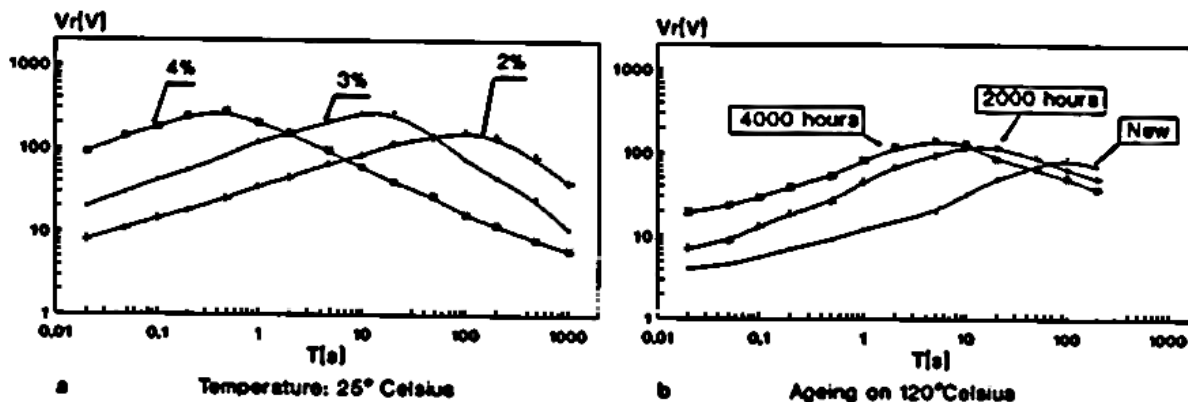
Типични карактеристики на еден ваков инструмент се:

Напонот на изводот	$V_0=2000\text{ V=}$
t_c/t_d	2
t_t -подрачје	10 ms - 10 000 s

4. ТИПИЧНИ РЕЗУЛТАТИ И ПРИМЕР НА МЕРНИ РЕЗУЛТАТИ

Подолу се прикажани резултати по методата на повратен напон кај енергетските трансформатори. Сигурноста на изолацијата кај овие објекти зависи од остареноста и од содржината на водата во маслото, но пред се во хартијата. Многу е полесно да се измери содржината на вода во маслото (на пример со Карл-Фишера метод), преку мерење на специфична отпорност и $\text{tg}\delta$, но ова не кажува многу за состојбата на хартијата. Како што се гледа во подолните примери, состојбата на масло-хартиената изолација може директно да се дознае од поларизациониот спектар и без испитување на маслото посебно.

На сликата 6 се гледа измерениот спектар при константна температура на лабораториски модели на масло-хартиена изолација.

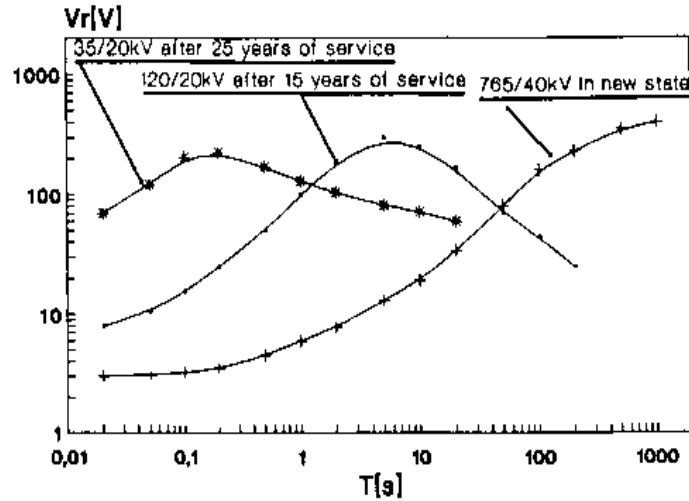


сл.6а Поларизационен спектар во зависност од содржината на влага при $Q=25^{\circ}\text{C}$

сл.6б Поларизационен спектар во зависност од времето на стареење на 120°C (вештачко стареење)

Од покажаните криви јасно се гледа каде се поместува максимумот на спектарот при поголема влажност, односно поголема остареност (налево, односно кон помали времиња).

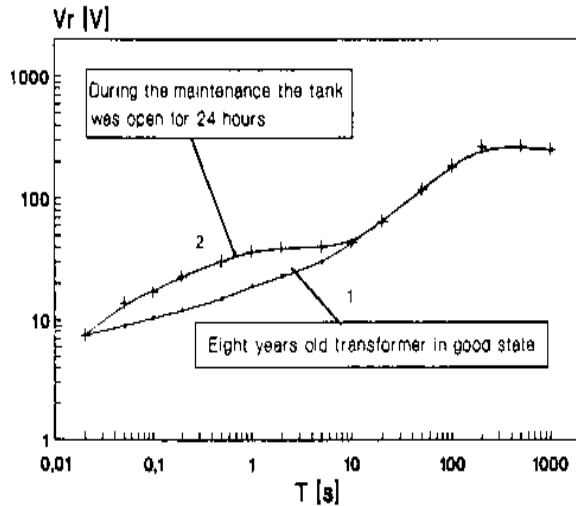
Следниот пример (слика 7) сведочи за осетливоста на оваа метода. Тука се прикажани спектрите на три трансформатори со различна старост.



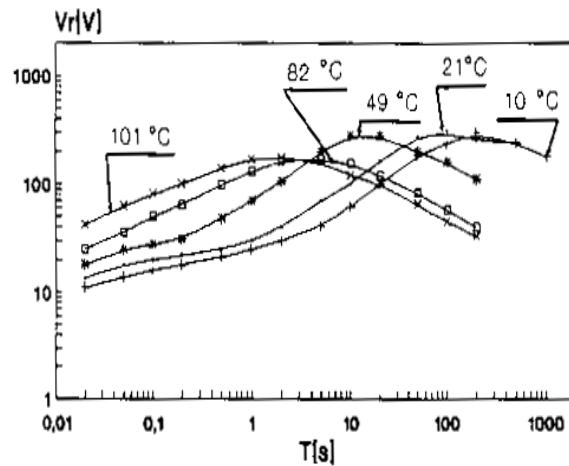
сл.7 Спектар на три трансформатори со различна старост

На слика 8 даден е спектарот за еден енергетски трансформатор при што кривата еден била земена 1988, а кривата 2 една година подоцна. Подоцнежната крива има две темиња од кои поголемата е на 200 s, а помалата на 0,5 s. Состојбата укажува на нешто необично иако првичен заклучок би бил дека трансформаторот е во добра состојба. Истрагата покажала дека трансформаторот имал дефект на маслената пумпа, па нивото на масло било испразнето 1/3 од горното ниво така што 1/3 од трансформаторот во текот на еден ден бил изложен на атмосферски услови така се навлажил (долевањето на масло било без претходен третман на активниот дел).

Една внимателност е потребна, имено спектарот е зависен од температурата при која се врши мерењето.



сл.8 Спектар на енер. трансформатор кој бил лошо третиран.
1-пред 2-по третирањето



сл.9 Температурна зависност на спектарот

Примери на неодамна мерени трансформатори во "Кончар" - Загреб споредени со вообичаени мерења на R_{iz} и $tg\delta$.

1.Мерење на отпор на изолација:

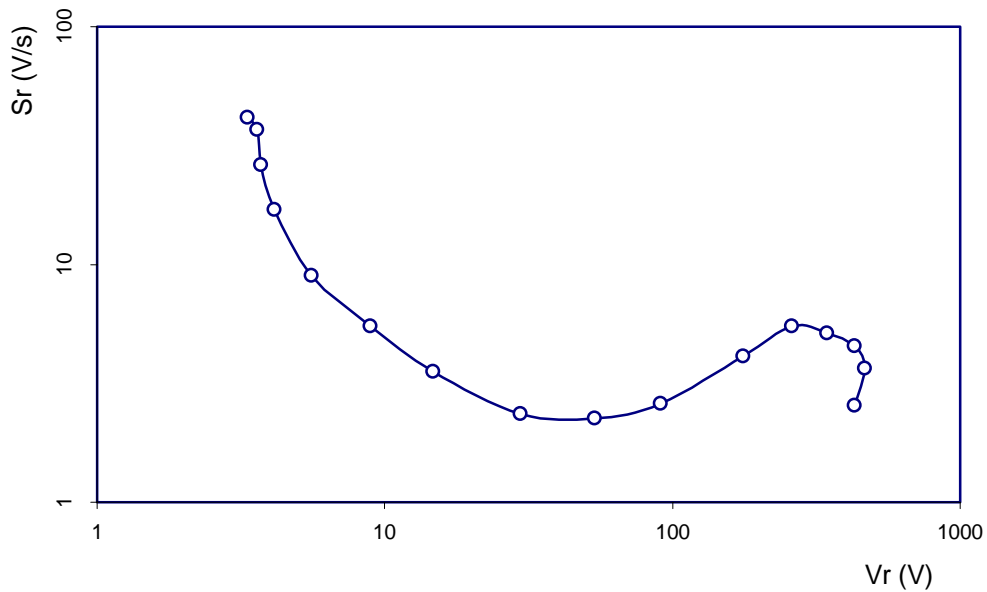
	R15s	R60s	R60s/R15s
VN:NN(STN+m)	8000	10000	1.25
VN:m(NN+STN)	32500	33500	1.03
NN:STN(VN+m)	5000	7500	1.50
STN:m(VN+NN)	6500	10000	1.54

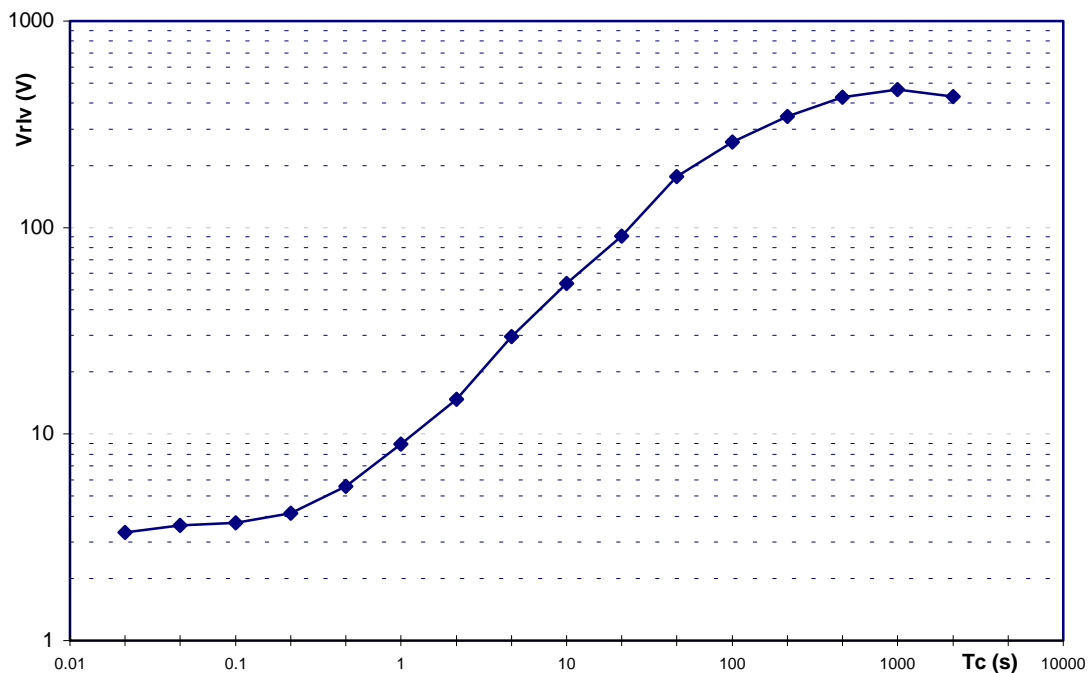
2.Мерење на капацитет и агол на диелектрични загуби:

	C(pF)	tgδ
VN:NN(STN+M)	7328	0.215
VN:m(STN+NN)	3186	0.169
VN:STN+m(NN)	3268	0.176
NN:VN+m(STN)	8033	0.231
STN: NN (VN+m)	14147	0.325
STN:m(VN+NN)	11134	0.292

3.Анализа на спектарот на поларизација

Tc (s)	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000
Vrs (V)	3.33	3.6	3.72	4.14	5.58	8.93	14.7	29.6	53.7	91	176	260	345	429	465	430
Tpeak	1.49	2.49	4.79	8.9	41.8	96.7	122	144	160	176	208	269	374	572	899	1484
Sr (V/s)	41.5	36.9	26.2	17	8.95	5.5	3.55	2.35	2.25	2.6	4.1	5.5	5.15	4.55	3.65	2.55





Од споредбата гледаме дека двете методи, се сосема во согласност: се работи за нов трансформатор кој има висок отпор на изолација, мал фактор на диелектрични загуби и максимум на кривата $V_r(T_c)$ се наоѓа при големи времиња од околу 1000s.

5. ЗАКЛУЧОК

Опишаната профилатичка метода на повратен напон за испитување на изолација, иако одамна позната, со помош на модерната мерно-регулациска техника одново добива на значење, бидејќи е едноставна за употреба и има специфични исказни можности за состојбата на изолацијата. Затоа сметаме дека би требало да почне и нејзина примена кај нас за постепено да стекнуваме искуства со истата и увидот во состојбата на изолациониот систем кај трансформаторите да се надопонува на досега познатите методи.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Tettex Instruments, Information No 29
Polarisation spectrum analysis for diagnosis of insulation systems.
- [2] Кончар Енергетски трансформатори "Анализатор на поларизациониот спектар на изолациониот систем".

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ СИГРЕ
СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕРУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

Валентин Талимџиоски дипл.ел.инг.
"Еуроинвест - 11Октомври" - сектор Развој
Прилеп

ПОЛИМЕРНИ ИЗОЛАТОРИ ЗА НАДВОРЕШНА МОНТАЖА

КРАТКА СОДРЖИНА

Предмет на овој чланак ќе биде предноста на полимерните изолациони материјали во однос на класичните керамички материјали.

Целта на чланокот е да го запознае корисникот со релевантните точки на оваа проблематиката и воедно да отвори насоки и размислувања за започнување на примена на овие изолатори во нашата земја.

SUMMARY

Subject of this article is the advantage of polimer isolating materials in relation to classic ceramic materials.

The goal of this article is to introduce the user with relevant items on this problematic and also open directions for beginning applications on these insulators in our country.

клучни зборови: Полимерни материјали, силиконски изолатори, керамички изолатори, преносни водови.

1. ВОВЕД

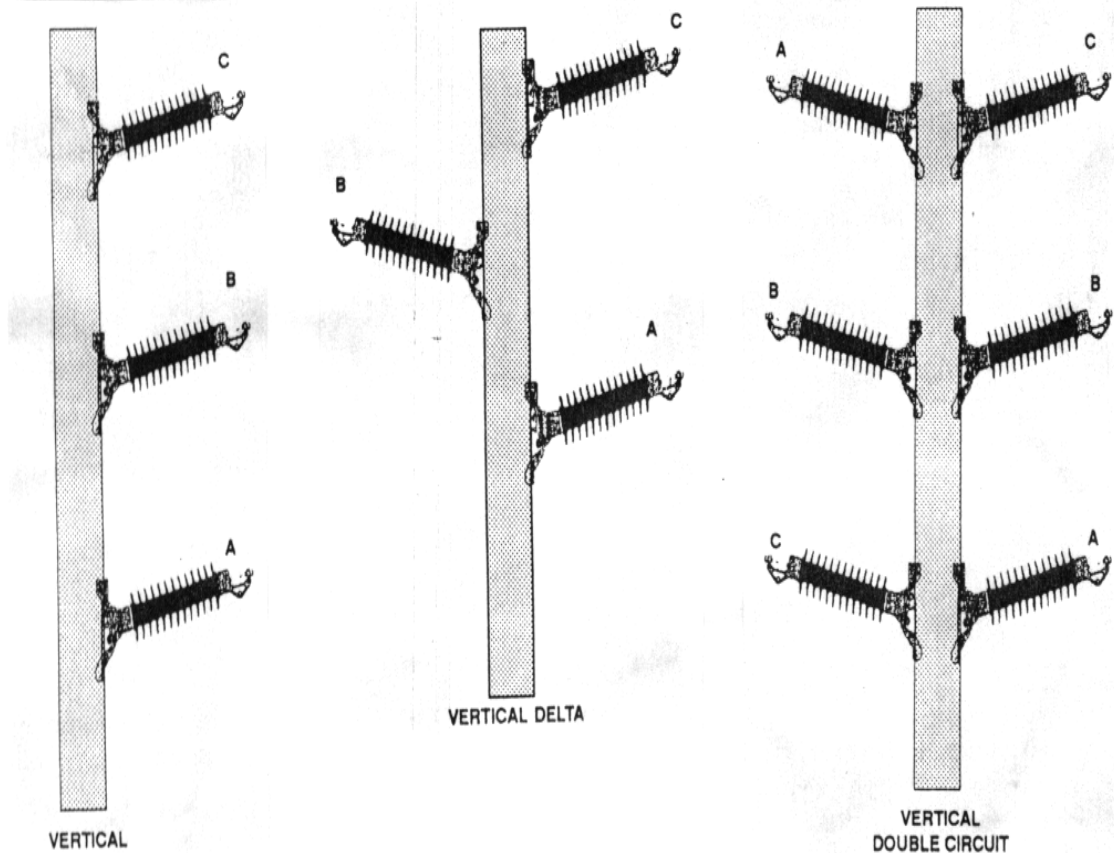
Употребата на полимерните материјали за надворешни монтажа континуирано расте цело време. Иако веќе 30 години се употребуваат, полимерните изолациони материјали го немаат истото ниво на стандардизација како порцеланот кој е во употреба повеќе од 100 год. Како со секоја технологија која не е добро стандардизирана, таа резултира со недоразбирања и конфузија, која може да влијае врз изборот и примената од страна на корисникот.

Првите генерации на полимерни производи не го донесле очекуваното ниво на примена, пред се во времетраењето на употребата, примарно заради УВ зрачење, кинење или отпорност на вода, и корисниците се уште се сомневаат во перформансите на полимерниот материјал.

1.1 Компактни преносни линии

Ефективната употреба на преносните линии со минимално влијание врз околината станува еден од примарните интереси на планирањето на преносниот систем во сите индустријализирани земји.

На пример во САД преносни линии со типични напони од 115, 138 и 230 kV се или ќе бидат изградени во урбани или урбано погодни региони кои се осетливи на влијание од околината. Земајќи го во обзир изгледот на воздушните линии се воведуваат нови структурни концепти и иновации во опсегот 115 до 230 kV. Типични конфигурации кои што денеска можат да се најдат можат да се видат на слика 1.



слика 1

1.2 Примена

Првиот чекор во примената на полимерните изолатори би можела да биде замената на класичните изолатори на конвенционално изведен вод. Со монтажа на изоалациони конзоли доаѓа до битно смалување на главата на столбот. Со тоа се постигнува потесен енергетски коридор и поповолно оптеретување на столбот. Тоа е првиот степен во компактирањето на водовите. Понатамошна можност е вградување на меѓуфазни изоалациони одстојници, со што се постигнува уште потесен коридор на трасата со иста или поголема погонска сигурност на водот. Со тоа е овозможено посточките водови да можат со релативно едноставен и ефтин зафат да се оспособат за погон под повисок напон.

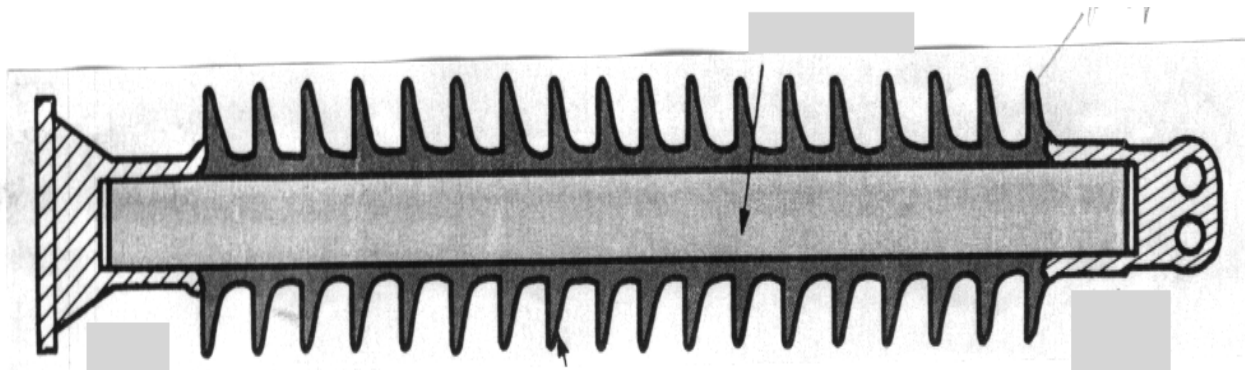
Основната улога на компактираните водови е фиксирање на меѓусебната положба на водовите во распонот на најмало технички и економски оправдано растојание.

Полимерните производи кои на почеток ги покривале само висечките изолатори, сега покриваат широк спектар на примени: од дистрибуција до пренос плус мноштво специјални апликации како што се железничка електрификација, прекинувачи, одстојници а исто така и во конструкција на алати за работа под напон.

Испитувањата на пазарот во 1994 год. покажуваат дека полимерните изолатори завземаат околу 25% од меѓународниот пазар на изолатори, додека 30% во САД.

2. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЛИМЕРНИТЕ ИЗОЛАТОРИ

Полимерните изолатори се составени од три основни дела: носач, фитинзи и ребра заедно со покривка на носачот прикажани на слика 2.



слика 2

2.1. Носач

Елементот што го носи механичкото оптеретување на изолаторите е фиберглас зајакнат со епоксидна смола. Носачот се состои од голем број унидирекционално насочени стаклени влакна, кои се хемиски врзани со матрикс од епоксидна смола и се одликуваат со хомогена структура на материјалот.

Носачот од фиберглас обезбедува максимално дизајнирање на оптеретувањето неопходно за конструкции со голем распон со поголеми дијаметри односно потешки проводници.

Заради внатрешната флексибилност на фибергласот, овие изолатори имаат супериорен отпор на изненадни оптеретувања што се должат на откажување на проводникот, паѓање на мраз, и други небалансирани услови на оптеретување.

2.2. Метални фитинзи

Металните арматури ги превземаат механичките функции помеѓу напонските, односно заземјените компоненти и изолациониот материјал. Истите се изработуваат како топло поцинкован одливкок но исто така и од некородиран челик, алуминиумски и бакарни легури.

Заштитните арматури имаат повеќефункционално значење :

- Намалување на густината на електричното поле во зоната на проводниците во разводната постројка

- Поништување на "корона" ефектот и напонот на радио пречки

- Брзо превземање на електричниот лак и водење кон крајното место на удар.

Површинските радиуси на употребуваните арматури треба да се изберат соодветно на преносниот напон. Правилното димензионирање и положбата на заштитните арматури се од големо значење за позитивното влијание на векот на траење на изолаторот.

2.3. Ребра и покривка

Делот што го покрива носачот и ребрата се од полимерен матријал EPDM (на база етилен пропилен) или силиконската гума (на база силиконски еластомери) нанесени на носачот со инјекционо пресување.

Спомнати се и други материјали но нив не ги наведуваме заради супериорноста на овие два.

Вистина е дека сите полимери делат еднакви предности над порцеланот. Сите тие се лесни и отпорни на вандализам и кршење. Но овдека сличностите завршуваат.

Конвенционалните EPDM состави се органски по природа, и се подложни на деградација од средината. Праксата и лабораториските тестови покажуваат дека органските состави ја губат нивната способност да ја распарчуваат водата на ситни капки, особено кога се подложени на контаминирана средина.

За разлика од нив изолаторите од силиконска гума се неоргански по природа, не се подложни на УВ или временски влијанија како другите полимери. Силиконската гума има многу помали одводни загуби од EPDM, обезбедувајќи пониски енергетски загуби за време на животот на изолаторот.

Едноставно, композитните силиконски гумени изолатори конзистентно ги надминуваат сите други полимерни изолатори. Заради сево ова понатаму ќе зборуваме за силиконски изолатори.

Да би се спречило оставањето на трага на површината на изолаторот заради одвод и електричен лак на носачот од композитниот изолатор, носачот мора

ефективно да биде заштитен од продирање на вода и влегување на други загадувачи. Овој потенцијално штетен услов не може да се случи кај овие изолатори заради тоа што носачот е комплетно и перманентно заштитен со безрабна покривка од силиконска гума, добиена со инјекционо пресување, процес кој ги елиминира меѓупросторите помеѓу ребрата.

Како резултат на инјекциониот процес, и специјалните кондиционирања направени пред пресовањето, покривката е сигурно врзана за површината на носачот и челичните фитинзи.

Извештајот од 10 годишното искуство спроведено на Chalmers Unerversity во Шведска ја сумира супериорноста на силиконската гума:

"Како дел од процесот на стареење, слој од ниска молекуларна тежина се формира на површината од ребрата и покривката на носачот. Се чини дека овај слој ја штити површината на изолаторот од понатамошни временски изложувања како абсорбер на ултравиолетово зрачење, кој ја штити површината од фото-оксидација. Уште повеќе, ниско молекуларниот силиконски слој ја одржува површината на изолаторот хидрофобна, заради ниската адхезиона сила помеѓу силиконскиот слој и водата, и го спречува развојот на електричен лак на површината, што ја штити површината од tracking (оставање трага на површината на изолаторот после празнењето)"

3. СПОРЕДБА НА СИЛИКОНСКИ СО ПОРЦЕЛАНСКИ ИЗОЛАТОРИ

3.1. Стабилност и времетраење

Силната јонска врска и блиската поврзаност на атомите кои ја сочинуваат керамиката, како што се помеѓу силициумот и кислородот во силикатите, доведуваат оваа структура да има тенденција да биде многу стабилна и општо да не се деградира од шокови на околината. Ова значи дека керамиката како и силиконот не се оштетуваат со УВ зраци, површинска електричната активност, влажност, итн.

Формулацијата на полимерниот материјал е комплексен оптимизационен процес, таков да може да се постигне со интезивно експериментирање и испитување од страна на стручњаци за материјалите. Формулацијата може широко да варира со базна полимерна содржина од 20% - 80% од тежината на материјалот. Адитивите се употребени за да ги зголемат и да ги зајакнат механичките карактеристики. Типичните полнителите вклучуваат антиоксиданти, пластицизери (супстанца која пластифицира друга супстанца), пигменти, катализатори, успорувачи на горење, стабилизатори за УВ зраци и други, зависно од специфичната формулација.

3.2. Кртост

Керамиката е многу крта. Тоа значи дека таа лесно се крши со ракување, пренесување или инсталација. Вандализмот е примарниот допринесувач за механичка штета во употреба. Општа пракса е да се вклучи фактор на кршење кога се купуваат порцелански изолатори за линиски конструкции, кој е дополнителен фактор на трошок за единицата.

Порцеланските линиски изолатори крти по природа не дозволуваат никакво искривување. Кога тој "паѓа", тој пука на два дела и дозволува проводникот да падне. Овој феномен доведува до случај на каскадна структура на "паѓања", каде

следната линија, под влијание на ударот на паднатиот проводник, исто така ќе падне, доведувајќи до паѓање на следниот склоп со краен резултат на километри од дистрибутивна линија на земјата. Полимерните изолатори ги немаат овие карактеристики и воопшто не страдаат заради вандализам, ракување или транспорт.

3.3. Тежина

Густината на полимерниот материјал е многу пониска отколку на керамиката, што резултира во значајно намалување на тежината на производот (Тежината на силиконските изолатори е околу една третина од тежината на порцеланските). Разликите во тежината растат со напонот. Полимерните средства немаат потреба од кранови или други средства за кревање за употреба или инсталација. Полимерните изолатори имаат предност при користење во густе урбани средини. Некерамичките изолатори нудат висок однос цврстина/тежина, што дозволува поголеми распони, поефтини структури, и подобар визуелен изглед.

3.4. Геометрија

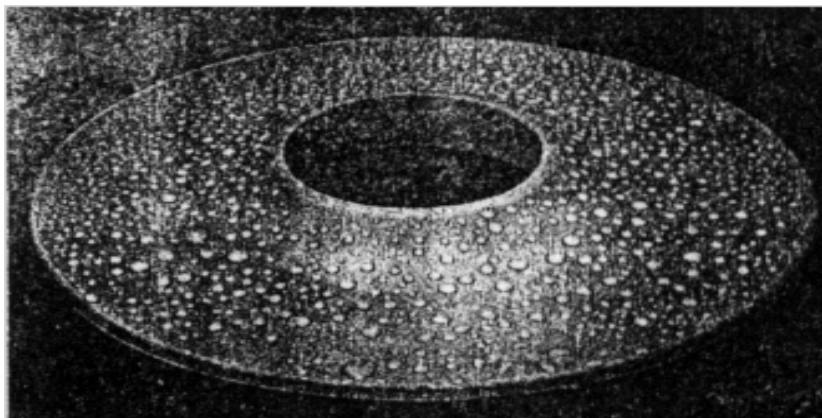
Покривката на полимерниот изоалатор е типично пресована и не е тешко да се направат деловите за истите трошоци но кои имаат поголема ползечка патека по единица должина отколку кај порцеланот. Профилите на крилцата можат да се направат посложено без проблеми во производството. Ребрата со променлив дијаметар (мало-големо наизменично) обично денеска се произведуваат, со што се подобрува понашањето на изоалаторот при прескок при влажни услови со избегнување на премостување на сите крилца (ребра) истовремено за време на многу влажни услови.

3.5. Перформанси при загадување

Стабилните хемиски врски на керамичкиот материјал исто така значат дека тој има висока слободна енергија на површината, карактеристика која ја опишува јачината на површинската адхезија на загадувачи. Со висока слободна површинска енергија, порцеланот лесно се влажи. Водата на површината има тенденција на формирање на филаменти, кои ја покриваат или опфаќаат површината. Материјалите со оваа карактеристика се познати како "хидрофилни" (имаат склоност кон вода). Хидрофилните површини не работат добро при загадени услови, бидејќи филаментите од водата ги раствораат проводните загадувачи, намалувајќи го вкупниот отпор на изолацијата со формирање проводен електролит вдолж континуирана патека, кој може да иницира процес на празнење.

Полимерните материјали типично употребени за надворешна монтажа имаат мала површинска слободна енергија. Кога е нов и без изложување на средината, полимерниот материјал ја одбива влагата и е многу хидрофобен. Сочувувањето на хидрофобните карактеристики при изложување на околината е најпосакуваниот атрибут. Водата на површината на хидрофобниот материјал формира водени капки, така што проводните загадувачи растворени во водените капки се дисконтинуитани (прекинати).

Овој услов резултира во мало течење на одводна струја и веројатност за сува врска, што по ред бара повисок напон за предизвикување прескок. Хидрофобната природа на полимерните материјали се манифестира така што водата има тенденција да формира капки отколку да формира филаменти (тесни патеки) вдолж површината (види сл. 3).



слика 3

Хидрофобните површини презентираат поголем отпор на течење на одводна струја отколку хидрофилните површини и побаруваат поголема одводна струја и доволно растурање на енергија за да се иницира прескок. Заради ова полимерните изолатори имаат повисок напон на празнење од конвенционалните порцелански изолатори.

Изборот на вистинскиот тип и должина на изолатор зависи од природата на загадувачот, локалните временски движења, праксата на чистење.

Предности на полимерите во однос на порцеланот и обратно

Карактеристика	Порцелан	Полимер
Јачина на притисок	+	-
Големина	--	+++
Тежина	--	+++
Кршење	-	+++
Отпорност на стареење	+++	++
Хидрофобност	---	++
Ползење/Ед.должина	-	++
Празнење при загаду.	---	++

4. ДОСЕГАШНИ НАПОРИ И РЕЗУЛТАТИ ПОСТИГНАТИ ВО "ЕУРОИНВЕСТ - 11ОКТОМВРИ"

Во "Еуроинвест - 11Октомври" одамна се носиме со идејата да го усвоиме производството на ваков тип на изолатори. Проучуваме стручни материјали и прозводи од фирми технолошки поразвиени од нас.

На почеток како главни проблеми за решавање се појавија следниве точки:

1. Конструирање на носач со бараните механичките карактеристики.
2. Знаоѓање решение на врската фитинг-носач.

3. Изнаоѓање на вистинскиот состав на силиконската гума како би се добиле бараните електрични карактеристики.

4. Изнаоѓање технолошка постапка на нанесување на силиконската гума врз носачот при што силиконската гума мора добро да заптива и да нема порозност.

Во "Еуроинвест - 11 Октомври" конструкцијата на носач не е проблем и ние произведуваме носачи со различни дијаметри и должини. Истите се направени од композитни материјали добиени со пултрузија со следниве карактеристики:

		Единица	Вредност	Испитен метод
1.	Изоалционен отпор после 24 часа во вода	Ω	$10^{11}-10^{12}$	DIN 53482
2.	Површински отпор после 24 часа во вода	Ω	$10^{10}-10^{11}$	DIN 53482
3.	Специфичен воломенски отпор после 24 часа во вода	Ω	10^{14}	DIN 53482
4.	Пробоен напон нормален на слоевите на $90 (+/-2) ^\circ\text{C}$	kV/mm	10	DIN 53481
5.	Пробоен напон паралелен на слоевите на $90 (+/-2) ^\circ\text{C}$	kV/25mm	50	DIN 53481
6.	Отпоност на струјни патеки	класа	КА3	DIN 53480
7.	Сила на притисок	МПа	300	DIN 53454
8.	Сила на истегање	kN/mm ²	1.1	DIN 53454
9.	Сила на свиткување	МПа	25000	DIN 53452

На нив се прицврстени фитинзи од поцинкуван челик. Цврстината на затегање на овој склоп е многу битна и таа треба да ги задоволи барањата на стандардите, кои се различни и зависат од типот на изоалаторот и напонското ниво.

Што се однесува до пултрудираниот профил со правилен избор на димензиите да се постигнат бараните механички својства. Проблем беше да се постигне бараната јачина на фитинзите со носачот кој проблем се решава со соодветна конструкција на врската.

Проблемот за нанесување на силиконската гума врз композитот е решен во соработка со кооперант од нашата земја.

Значи, останува сеуште отворено прашањето на составот на силиконската гума и ние се надеваме овој проблем сами или во соработка со кооперанти да го решиме во догледно време.

После евентуална изработка на серија пробни изолатори, после лабораториските испитувања, ние би предложиле пробна монтажа на овие изолатори во соработка со ЕСМ, на пример на некој пробен покус далековод или пак на фиктивен далековод кој ништо не напојува туку е само подложен на напон.

ЗАКЛУЧОК

1. Полимерните изолациони материјали нудат значајни предности над порцеланот. Високите перформанси на полимерните производи ги надминуваат порцеланските заради многу причини.

2. Полимерните материјали се докажале, со преку 30 години употреба.

3. Формулацијата на полимерните материјали мора да биде таква да тие бидат отпорни на деградација заради употребените напоните со комплексен процес на оптимизација на составот на материјалот и дизајн на покривката, што вклучува земање во обзир на условите на производство.

4. Производите треба да се димензионираат на посебни основи. Заради разликите во составот, дизајнот на производот, и условите на производство, полимерните материјали не се идентични нити сродни. Корисниците не можат да ги предвидат перформансите на еден полимерен производ базиран на искуството на друг кој има различен состав и/или дизајн.

Факт е дека овој тип на изолатори имаат многу предности над порцеланските и дека технолошкиот развој ги наметнува како решение со најдобри технолошко-економски својства. Според тоа сакале ние или не нивната примена ќе заживее и кај нас. Досегашните резултати во конструкцијата на носачот многу охрабруваат и покажуваат дека во "Еуроинвест - 11Октомври" има сили за усвојување на технологијата на производство на овие изолатори самостојно или во соработка со партнер (силиконскиот дел).

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] IEE Electrical Insulation Magazine May/June-Vol. 13, No.3 1997
- [2] Transmission & Distribution International june 1990
- [3] Transmission & Distribution International june 1992
- [4] Transmission & Distribution International прва четвртина 1994
- [5] Проспекти од Sediver

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ - СИГРЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

Александар Рибароски дипл.ел.инг
"Еуропрофил" д.о.о.
с.Алданци, Крушево

**ЗАЈАКНАТИ ЕПОКСИДНИ ЕЛЕКТРОИЗОЛАЦИОНИ КОМПОЗИТНИ
МАТЕРИЈАЛИ
СО БЕСКОНЕЧНИ СТАКЛЕНИ БЕЗАЛКАЛНИ ФИЛАМЕНТИ
“GRP - FILAMENT WINDING COMPOSITE”**

Summary

Subject of this text is information for one part of technologies for the building on the Filament Winding Glass fibers Reinforced Plastic composite electrical insulation materials, by the technical possibility's of technology, structural construction on the laminas and laminates, forms, application and technical data of materials.

СОДРЖИНА

Предмет на текстот е информирање за една област од технологиите за градба на намотувани композитни електроизолациони материјали, преку техничко технолошки можности на технологијата, проектирање на структурата на ламина (поединечна структурна обвивка) низ структурата на попречниот пресек на изолациониот материјал, преку можни изведби на форми од композитниот електроизолационен материјал и вообичаените технички карактеристики на материјалот и апликации во елетроопрема и уреди.

Клучни зборови

Композитни материјали, стаклени безалкални филаменти, ламина, проектирање на композитен ламинат, мостра, капсулирање на намотка, полимеризација.

1. ВОВЕД

Согласно определбата пред се текстот да биде информација за една технолошка постапка, ќе се задржиме на нејзините можности, нејзината применливост и на карактеристиките на материјалите изработени по таа постапка. Во самиот текст нема да се навлегува во презентација на математичката проектна пресметка на композит. Моделот на пресметката се смета дека е од интерес за потесен специјализиран круг корисници.

1.1. ЗБОР ДВА ЗА КОМПОЗИТНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ

Материјал добиен преку технолошка постапка со вградувањето на повеќе разнородни сировини со различни особини во една целина го нарекуваме композит. Карактеристиките на новиот материјал се сублимат на вредности од поединечните состави. Од карактеристиките на влезните сировини, нивниот сооднос и техничкиот приод при формирање на целината ќе зависат и крајните карактеристиките на новодобиениот материјал.

Електроизолационите зајакнати композитни материјали во основа се градат од синтетски сировини. Со развојот и усовршувањето на техничко-технолошките можности за изработка на синтетските сировини и нивната применливост се овозможува композитните материјали се повеќе да го најдуваат своето место и нивна практична примена во сите области.

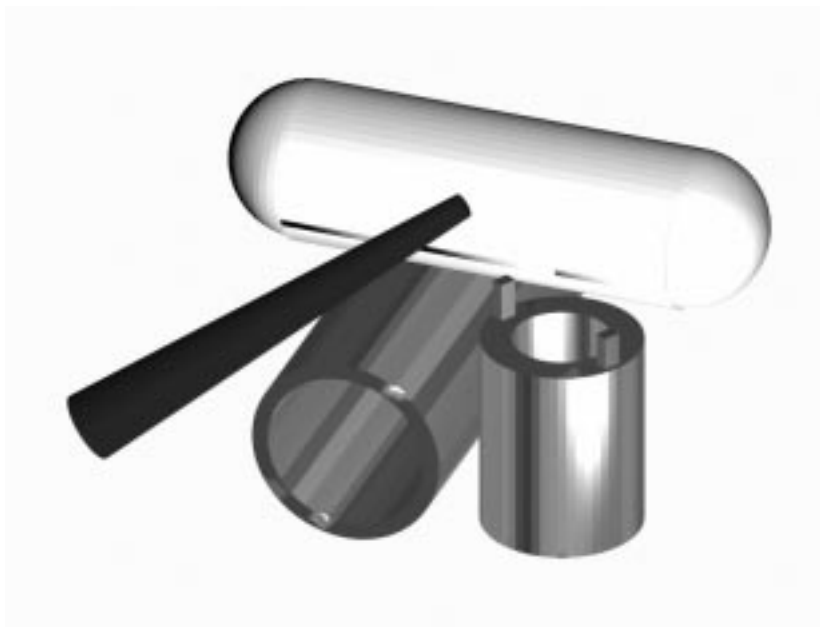
Во прво време композитните материјали се применувале како супститути на челиците, пред се заради тоа што со нивна примена е извршено видното смалување на тежинскиот сооднос на предметите при исти перформанси. Низ практиката се утврдило дека со примената на композитните материјали се постигнува општа заштеда и тоа: на енергија, на работна рака, на време, на материјал и на природни ресурси - метали. Согледувањата стекнати со истражувањата потврдиле дека овие композитни материјали имаат и исклучително добри, освен механички и електроизолациони особини. Во природата не посојат идеални нешта. Па така не постои ни идеална технологија со која сите проблеми ќе ги разрешиме. Зацртаните цели техниката ја наведуваат да развива прикладни технички постапки и да усвојува материјали со кои ќе ги надминува препреките.

Ако во градежништвото денес е незамислива градба без армираниот бетон, тогаш ќе се сложиме дека индустријата за електроопремата и нејзините корисници се повеќе ќе му посветуваат внимание на композитните синтетски електроизолациони материјали поради нивните перформанси и применливоста. Меѓу овие синтетски композитни материјали е зајакнатиот стакло- епоксиден филаментен композит - електроизолационен материјал добиен по пат на **"Filament Winding"** (во натамошниот текст **"FW"**) технолошка постапка. Согласно нашата терминологија согласен превод може да се наведе за изразот **"Filament Winding"** како намотување на влакна . Самиот превод не го поистоветува попрецизно предметот на обработка па за да се постигне додефинирање на именувањето на технолошката постапка потребно е да наредиме низа на зборови како што е: намотување на импрегнирани Ы (намокрени) со смолни системи бесконечно долги тенки влакна. Овој начин на термилошко изразување мораме да признаеме дека е гломазен и реторички ги отежнува комуникациите. За да не се создава дилема при утврдувањето на начинот на изработка на еден производ и негова класифицираност на убедување сум дека терминот: **"Filament Winding"** или кратко **"FW"** треба

сеуште да го користиме, пред се поради пошироката техничка јавност и нејзино лесно снајдување при типизацијата на материјалите.

2. "FW" ТЕХНОЛОШКА ПОСТАПКА

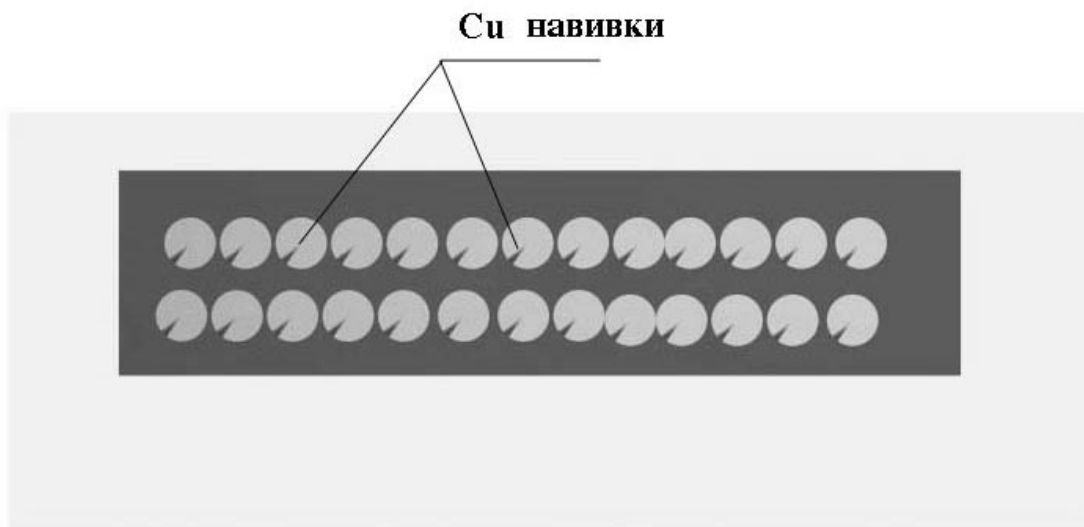
Тежнението да се постигнат високи технички перформанси, мали тежини, занемарлив отпад и искористеност на енергетските потенцијали со примена на влезни сировини со кои или природата е релативно богато обдарена или синтетски се добиваат низ технолошки процеси, изнудува технологиите од ден на ден се повеќе да понудуваат нови технолошко технички решенија и материјали. Пратењето на технолошките новини честопати е исто така невозможно од мноштво на причини. Мноштво на новини не ни се достапни, но со некои располагаме и ни се наоѓаат во непосредна наша близина. Една од тие технолошки постапки со кои се изработуваат композитни материјали е "FW" технолошката постапка. За појаснување, станува збор за безалкални бесконечни стаклени филаменти - "ровинзи", кои се импрегнираат со врзивни синтетски смоли и по пат на намотување се оформува композитен материјал.



Сл.1 "FW" производи

Станува збор за постапка која по пат на намотување гради структура на ламина, во случајов во форма на обвивка. Процесот за изработка композит е континуиран и преку хибриден спој на повеќе разноструктурни ламини-обвивки чекор по чекор се доаѓа до градба на изолационен композитен материјал како една целина. Особена погодност е тоа што при оваа технолошката постапка и можности што ги овозможува таа можно е едновремено вградување, преку цврст спој, на проведен материјал во композитот, па на тој начин да се изработи компактна високонапонска намотка за сув дистрибутивен трансформатор или енергетска пригушница.

Анализирајќи ги карактеристиките на материјалите добиени со помош на ”FW” технолошката постапка доаѓаме до податоци кои ги надминуваат нашите очекувања. За споредување на електро-механичките карактеристиките на овие материјали најмеродавни се мерените вредности согласно методите на испитување по **DIN** и/или **BS** стандардите. Сознавајќи ги особените на материјалот преку тест-методите, можностите кои што технолошката постапка ги овозможува и изборот на влезните сировини на оваа технологија и даваат широка апликација особено во индустријата за изработка на трансформатори и енергетски пригушници.



Сл.2. Попречен пресек на **Cu** индуктивна намотка сместена во ”FW” **КОМПОЗИТ**

Технолошката опрема располага со **CNC** поддршка преку која се овозможува идеална корелација помеѓу проектираната конструкција и изработениот материјал. Проектирањето на електроизолационите карактеристиките на материјалот се врши преку изборот на сировини, а со просторното усмерувањето на арматурата се разрешуваат механичките карактеристики согласно очекуваните електро-механички напрегања. Спротивставувањето на механичките напрегања кај овој тип на композит го превзема арматурата од стаклени филаменти во материјалот. Арматурата, која е **сса** 60 до 65% застапена во структурата, посебно се пресметува и усмерува во зависност од задачите кои ги добива во самиот композит преку векторскиот дијаграм на сили. Математички пресметаната арматура од особена важност е да биде еднакво така и вградена при изработката на материјалот. Нумеричко управуваната и контролирана опрема освен што овозможува повторливост при изработката има важна улога во однос на правецот на положување и на градбата на структурата по спратови во волуменот на материјалот. Оптимизацијата на вградената количината на материјал, задржувањето на димензиите на материјалот во определени толерантни зони како и габаритите на производи кој се опфатени ја прават оваа технологија доста флексибилна.

Оваа технологија, покрај технолошката постапка за добивање на композити инкапсулирани намотки за суви енергетски трансформатори и пригушници

изработува и материјали во облик на (сл.1.) цилиндрични површини - цевки, конуси или сфери и нивни комбинации . При комбинирањето на повеќе форми единствен услов е тие форми да имаат една заедничка ротациона оска.

Секоја технологија за себе е со посебен приод, но децидно кажано, при "FW" техниката станува збор за технолошка постапка за производство на композитни материјали од областа на влажно импрегнираните со смолни системи стаклени безалкални филаменти, а преку двостепена полимеризација, добивање на зајакнати композитни материјали со завршено стареење на материјалот.

Техничко-технолошкиот приод овозможува производство на "FW"- електроизолациони материјали, позиции и елементи за уреди со високи технички перформанси. Тоа значи градба на производ, почнувајќи од материјал полупроизвод преку меѓуфазни елементи и позиции (изолациони цилиндри за регулатори, прекинувачи и др.), до уредба за "FW"- високонапонска намотка или "FW"- намотка (сл.2.) за пригушница со воздушно јадро. По структура "FW"- намотката може да биде изработена со таков попречен пресек и структура за да соодветствува на проектираните напрегања и набележаните барања. Тие напрегања можат да бидат напонски, фреквентни, електроотпорни, механички и термички без дополнителни дообработки на обликот на капсулата опфаќајќи го проводникот целосно во композитот заштитиувајќи го од агресивни медиуми и нивни влијанија и заржувајќи го во трајна геометриска форма при струјни удари. Добиениот метал-композит-спојот меѓу проводниот и електроизолациониот материјал е без задржување на воздушни меури, компактен и со севкупна бандажираност на навивките по сите правци. Капсулацијата по пат на намотување на композитот странично и врз проводникот, намотката ја доведува во цврста трајна геометриска положба која понатаму не може механички да се деструктурира. "FW" индуктивната намотка изработена по овој приод е вгнездена помеѓу основната, меѓуслојните и завршната композитна изолација и ограничена со дистантните завршници преку компактен спој обезбедувајќи потребно напонско ниво на изолација(Si). Решавањето на напонското ниво како проблем е првата придобивка што оваа технологија го овозможува. Следниот проблем кој што можеме едновременно да го разрешиме со "FW" изолацијата е решавањето на механичките издржливости при напрегања. Особено важен услов за задржување на карактеристиките на намотката при влијание на ударни струи и напони е задржувањето на геометријата на намотката по нејзиното ударно напрегање. Зајакнатиот намотан "FW" композит, за разлика од техниката со залиен епоксид, како што е спомнато, ја армира индуктивната намотка со моќни стаклените филаменти кои едновременно се и со добри електроизолациони и термички особини. Механичката носивост на филаментот ги превзема напрегањата на проводникот врз себе преку неговата структурна распределеност. Намотувањето на "FW" изолацијата е пратено со попречно предзатегање на самите струкови од филаменти, при тоа струкот правилно се поставува врз основата истиснувајќи го воздухот меѓу навивките и целосно затворајќи го проводникот со композит. Со вградување на "FW" изолација во трансформаторските намотки можеме да го оптимизираме габаритот со оптимизирање на дебелините на димензиите на изолацијата - меѓуслојните растојанија.

Ова, од друга страна значи оптимално вградување на материјал во елементот или уредбата и постигнување на компактна целина-капсула во која намотките се вградени трајно.

3. СТРУКТУРА НА КОМПОЗИТОТ

Согласно начинот на изработка на материјалот со "FW" техника, како што е напомнимато, станува збор за намотување. Намотувањето треба да го разбереме како положување на трака од филаменти врз ротирачка основа - модел. Во зависност од аголот на намотување ќе дефинираме радијална, дијагонална и аксијална ламина. Ламините меѓусебно можат да бидат комбинирани при проектирањето во зависност од векторскиот дијаграм на сили на оптоварување. Структурата на ламината се гради со положување на трака од стаклени филаменти. Положувањето на траката може да биде под различен агол во однос на подолжната ротирачка оска. За агол на положување кој со оската на моделот ќе зафаќа 90° (мех) ќе речиме дека ќе изгради ламина со радијален слој, за агол поголем од 0° , а помал од 90° ламина со дијагонален слој и за агол еднаков со 0° (мех) станува збор за ламина со аксијално положување на бесконечните влажно импрегнирани со смолни системи стаклени безалкални филаменти.



Сл.3. Мостри при намотување на ламина

При "FW" техниката со положувањето на ровинзите се овозможува градба на плетка или мостра (сл.3) на ламината или обвивката околу моделот. Положувањето на ровинзите ја прати надворешната форма на моделот.

Микро структурата на ламината и поредувањето на ламините во структурата на материјалот ја проектира проектантот на композитот врз основа на бараните проектни карактеристики што треба да се постигнат со материјалот кој ќе биде граден во текот на намотувањето.

Градбата на сидот на една електроизолациона обвивка започнува со првото радијално поставување на ровингот преку ламината од конечната структура на сидот на композитот. Изборот на бројот на ровинзи и нивното усмерување ја дефинира геометријата на траката - дебелина и ширина. Од друга страна усмерувањето на ровингот во композитот ги решава механичките оптоварувања. Ламината се формира после потребен број на ротирачки циклуси на моделот односно после структурното положување на ровингот по целата ротирачка површина формирајќи ја мострата на вплетување на импрегнираниот ровинг.

Со надоградување на повеќе ламини една врз друга се формира сидот на цилиндерот. При ова, да се напомене дека секоја ламина може да има различна површинска структура или конфигурација во однос на мострата и аголот на намотување. Во основа аголот и мострата влијаат на механичките издржливости на ламината, а дебелина на ламината и структурниот состав на ламини во сидот на материјалот влијаат на вкупните карактеристики на производот како одзив.

Имајќи го сето ова на располагање проектантот на композитниот материјал може максимално да ги искористи карактеристиките на влезните сировини и да дефинира изработка на структура на материјал и поединечно учество на ламините така што ќе исполни најмала можна зафатнина, а при тоа да добие производ со реално очекувани високи перформанси.

4. АПЛИКАЦИИ

Согласно техничките карактеристики на самиот **GRP - "FW"**- Композитен материјал - дадени во прилог, согласно начинот, можностите и комбинациите на структурата на ламини за градба како и можноста во композитот едновременно да



сл.4. "FW" 3 - f пригушница со воздушно јадро

биде вграден и проведен материјал (Cu или Al), како што е тоа на пример индуктивната намотка, ја прави овој тип на технологија наметлива како реално решение за градба на суви инкапсулирани трансформаторски нисконапонски и високонапонски намотки или градба на индуктивитети со воздушно јадро - пригушници.

Овдека мора да се напомене дека оваа технологија не смееме да ја поистоветиме зо технологијата за заливање на намотки во смолни маси затоа што пред се овде станува збот за армиран композитен електроизолационен материјал со

стаклени безалкални филаменти и не се работи за вбризување туку за намотување на КОМПОЗИТОТ.

5. ДИМЕНЗИИ НА ПРОИЗВОД

Техничките можности на опремата за изработка на производ овозможуваат да се изработуваат елементи со минимален внатрешен дијаметар на производот од 50мм па се до 1800мм и должина од 500 мм до 2000 мм, при тоа максималната тежина на поединечен елемент да не надминува 3500 кг, а максималниот дијаметар да не надминува 2000мм. Минималниот сид на "FW" композитна облога е од 0,5 мм до 1 мм.

6. КАРАКТЕРИСТИКИ И МЕРНИ МЕТОДИ

Технички податоци за GRP - "FW"- композитен материјал

	единица	Вредн.	Испитна постапка
1. Содржина на арматура	%	60-65	DIN 53395
2. Содржина на смола	%	35-40	DIN 53395
3. Специфична тежина	gr/cm ³	1.95	DIN 53395
4. Апсорпција на вода	%	0.1	DIN 53481
5. Отпор на изолација по 24 часа во вода	Ω	10 ¹¹ -10 ¹²	DIN 53482
6. Површински отпор по 24 часа во вода	Ω	10 ¹⁰ -10 ¹¹	DIN 53482
7. Специфичен волуменски отпор по 24 часа во вода	Ω	10 ¹²	DIN 53482
8. Пробоен напон нормално на слоевите на 90+/-2 °C	kV	30	DIN 53481
9. Пробоен напон паралелно на слоевите на 90+/-2 °C	kV	40	DIN 53481
10. Отпорност на струјни стази	classa	KA3	DIN 53480
11. Цврстина на притисок	MPa	120	DIN 53454
12. Цврстина на истегање	MPa	360	DIN 7753
13. Цврстина на свивање	N/mm ²	170	DIN 53452

7. ЗАКЛУЧОК

"FW" композитните материјали спаѓаат во сферата на производи чии карактеристики се проектираат и градат. Производи кои преку прецизно избирање на влезни сировини, начинот и техниката на проектирање на излезните карактеристики на производот, а особено со прецизното изведување на намотувањето ќе овозможи да се изработи материјал или производ според потреби.

Спецификата на приодот кон конструкцијата на композитот значително го поместува местото на конструкторот на финалниот производ меѓу изборот на материјал и проектирањето на финалниот дел. Широкиот опсег на можности кои што ги дава оваа технологија едновременно бара и една поголема зависност и поврзување помеѓу проектантот на материјалот и конструкторот на финалниот дел. Конструкторот на делот пред се мора да дефинира барања за карактеристики на "FW" композитниот материјал. Од дефинираните барања се проектира и изведува материјал во облик и димензии и со карактеристики такви какви што се потребни.

За разлика од приодот кој што се има при избор на класичните технички материјали со ограничен избор на карактеристики кај "FW" техниката поставуваме барања за особините и карактеристиките и поднесивите носивости кои што треба да ги задоволи материјалот. Тие карактеристики можат да се прерачинуваат и изработуваат согласно типот и потребите на производот. При проектирањето на урдбата наејзиниот конструкторот не ќе може да се послужи со таблица за избор на материјал од кој што ќе го изработи производот, туку на материјалот ќе му ги дефинира услови и барања кои ги очекува според потребите на финалната уредба. Изборот на структурата на "FW"- композитниот материјал и приодот при неговото димензионирање ќе му го препушти на проектантот на композитот и тука е нивната точка на коперативност.

Проектантот на композитот ќе испроектира материјал во зависност од потребите на секој поединечен елемент врз основа на дефинираните барања и критичните напрегања. Материјалот за потребите на проектантот ќе биде проектиран, димензиониран и создаден. Новосоздадените карактеристики на "FW" композитниот материјал само би го потврдиле зацртаното со проектната задача преку вредности за карактеристиките на композитот во однос на бараните.

ЛИТЕРАТУРА

Стандарди **DIN, BS**

Стручни извештаи

Испитувања при атестирање

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ

Илија Бендевски дипл.ел. инг
Тони Паспаловски дипл.ел.инг
РЕК - Битола ПЕ - Термоелектрани
Служба за електро одржување

ПОСТАПКА НА ЗАМЕНА НА СТАТОРСКИ СТАП ОД НАМОТКАТА НА ТУРБОГЕНЕРАТОР ТИП ТВВ-200-2АУЗ

СОДРЖИНА

Во трудот е опишана постапката на замена на еден стап од статорската намотка на турбогенератор тип ТВВ-200-2АУЗ, како и сите испитувања кои се вршени sukcesивно. При стандардно ремонтно високонапонско испитување на статорската намотка пробиена е намотката во фаза А на генераторот од блок бр.2 во ТЕ - Битола.

CONTENTS

In the paper is described the way of replacing and all examination done in that process on a one rod of the stator winding at turbogenerator type ТВВ-200-2АУЗ. In capital repair of Power Plants BITOLA, during standard high voltage testing of the stator winding on generator 3 broke isolation of phase A.

КЛУЧНИ ЗБОРОВИ: Статорска намотка, изолација

1. ВОВЕД

Состојбата на изолацијата на намотките на статорот од генераторите е од посебно значење и интерес за техничкиот кадар чија обврска е да даде виза врз основа на одредени критериуми дека соодветната машина има технички показатели дека наредниот период е спремна за експлоатација.

Последните години се поприсутно е сомневањето дека докажувањето на квалитетот на состојбата на изолацијата на статорските намотки треба да се прави со високонапонско испитување на истите.

Ова сомневање беше потврдено за време на ремонтот 97 г. на блок 2 во ТЕ Битола за време на високонапонското испитување на генератор 2.

2. ТЕХНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СТАТОРСКАТА НАМОТКА

2.1. Номинални карактеристики на турбогенераторот

ТИП: ТВВ 200 - 2АУЗ

Номинална активна моќност-----225 MW

Номинална реактивна моќност-----140 MVar

Номинален напон-----15.75 kV

Номинална струја-----9703 A

Соединување на намотката на статорот-----двојна звезда

Класа на изолација на статорската намотка-----“ В “

2.1. Основни карактеристики на средствата за ладење

Турбогенераторот е изведен со непосредно оладување на намотката на статорот со дестилирана вода (дестилат), а намотките на роторот и активното железо на статорот со водород. Дестилатот во намотката на статорот циркулира под притисок на пумпи и се оладува со разменувач за топлина (сместени надвор од генераторот).

2.1.1. Водород во куќиштето на генераторот

Номинален притисок на водородот-----3 ata

Номинална температура на ладниот гас (H₂)-----32 °C

Чистота на водородот-----> 97 %

Содржина на кислород-----< 1.2 %

Влажност на H₂ при номинален притисок-----< 30 %

2.1.2. Дестилат низ статорската намотка

- Номинален проток на дестилат-----	27 m ³ /h
- Допуштено отстапување-----	+3 m ³ /h
- Номинален надпритисок на влез во намотката-----	3 kgc/cm ²
- Допуштено отстапување-----	+0.5 kgc/cm ²
- Номинална температура на ладниот дестилат-----	40 °c
- Допуштено отстапување-----	+5 °c
- Номинален специфичен отпор на дестилатот-----	200 kΩ/cm

3. ИСПИТУВАЊЕ НА СТАТОРСКАТА НАМОТКА

Со оглед на тоа дека целокупната опрема потребна за ова испитување во ТЕ Битола се поседува од самото пуштање на првата електрана вработениот технички кадар ова испитување го прави секоја година со усталена рутина.

Така беше и при генералниот ремонт на ТЕ Битола 2 во 1997 година.. Според стандардната шема на испитување при испитен напон од 1.2Un (18.9kV) проби испитуваната фаза А . Пробојот беше констатиран според покажувањата на инструментите на самиот команден пулт кој се користи при ова испитување.

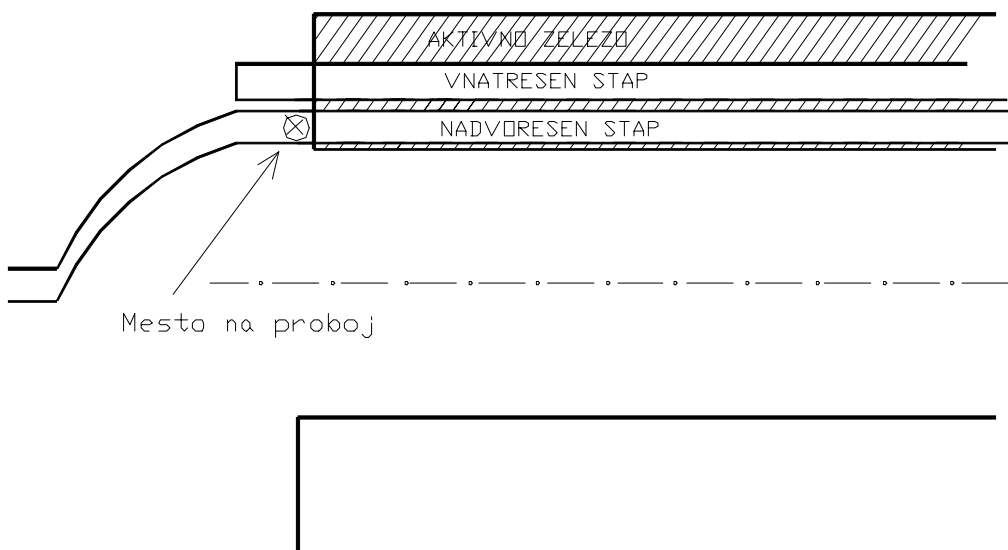
Распоредените работници околу генераторот кој имаа задача за посматрање на евентуален видлив пробој и обезбедување на машината, при испитувањето овој пробој не го забележаа.

Со оглед на тоа да во нашата земја ова се случува за прв пат беше побарана стручна помош како за утврдување на самото место на пробојот така и за замена на пробиениот штап од специјализираната ремонтна фирма “Енергоремонт” од соседна Бугарија.

Стручна помош за консултации при испитувањето беше побарана од Електротехнички факултет Скопје

Утврдувањето на местото на пробојот се направи со повторно високонапонско испитување. При покачувањето на испитниот напон повторно проби намотката но сега веќе зачати на местото на пробојот и со посматрање точно можеше да се види каде е местото на пробојот.

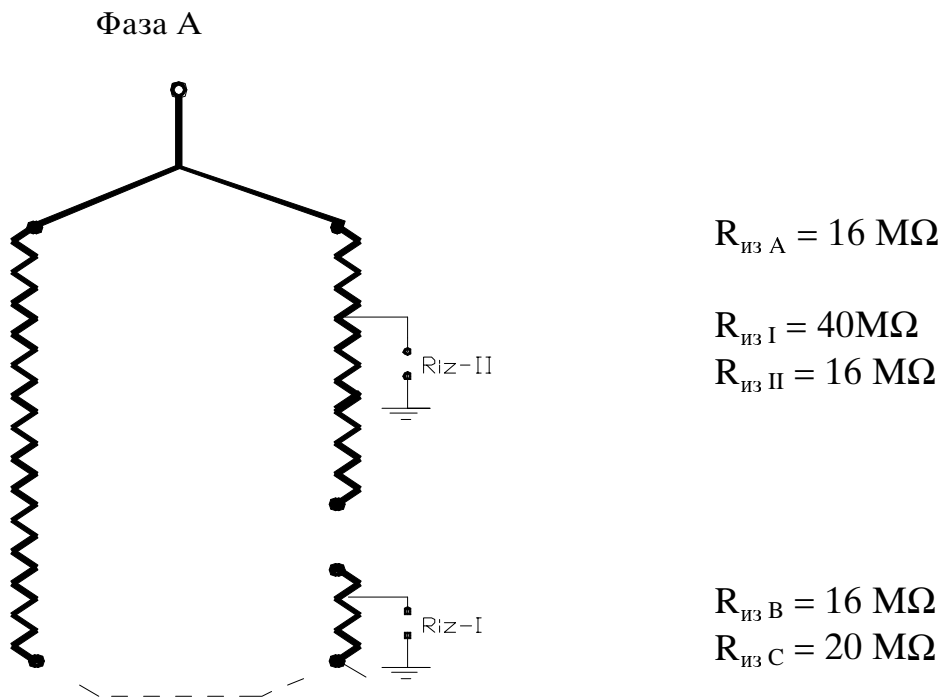
Пробојот беше према активното железо на надворешен штап на самиот излез на штапот од активното железо (сл. 1). Покасно се утврди дека тоа е жлеб 19, а самиот штап припаѓаше на фаза А. Самото место на пробој беше на растојание од еден штап од звездиште на генераторот , што значи дека тоа место во нормален погон беше на напон од околу 0.5kV фазен напон .



Сл. 1 Место на пробој на штап во жлеб број 19 (фаза А)

3.1. Испитувања на статорската намотка со изваден пробиен стап

После вадење на пробиениот стап измерен е отпорот на изолација и добиени се следните резултати:



Сл.2 Намотката од фаза А со изваден стап

При ова испитување користен е истосмерен напон од 2.5 kV и при мерењето на $R_{из\ A}$ кратко беа споени изводите во звездиште на фаза А. $R_{из\ I}$ е отпорот на изолација на делот од намотката во фаза А од отспоениот дел до едниот извод во звездиште. $R_{из\ II}$ е отпорот на изолација на останатиот дел од намотката во фаза А.

Извршено е високонапонско испитување на сите фази посебно со испитен напон од $1.2 U_n$ 50 Hz во траење од една минута. При ова испитување намотката од фаза А беше со споено звездиште.

3.2. Испитувања на резервен стап од статорската намотка

Пред вградување на новиот штап на истиот беа направени следните испитувања :

- а) Испитан е резервниот стап на заптивање со ставање на истиот под притисок од 8 ата со вода во траење од 24 часа.
- б) Високо напонско испитување со напон од 32 kV во траење од 1 минута
- ц) Измерен е капацитетот на штапот $C = 7.060\ nF$
- д) Измерен е $\text{tg } \delta = 0.018$
- е) Измерени се парцијални празнења $p = 500\ pC$

Испитувањето на парцијалните празнења и $\text{tg } \delta$ е извршено со испитен напон од 32 kV.

После вметнување на новиот стап во жлебот од статорот на генераторот (не поврзан со останатиот дел од намотката) извршено е високонапонско испитување на стапот со $U_{ic} = 23\ kV$ 50 Hz во траење од 1 минута.

3.3. Испитување на намотката на статорот со споен стап

Извршено е високо напонско испитување на целата намотка (со поврзан стап) со напон од $U_{ic} = U_n = 15.75 \text{ kV } 50 \text{ Hz}$ во траење од 1 минута. Истото испитување е направено и на другите фази..

4. ЗАКЛУЧОК

Напредокот на мониторинг системите како за секоја позначајна постројка така и за генераторите го доведуваат стручниот кадар задолжен за следење на спремноста на генераторите за погон да ги преиспитува ставовите, методите и начинот на давање сертификат за расположивост за погон на значајните постројки.

Според местото на пробојот наведено во оваа информација тешко е дека може да се претпостави дека во нормален погон на ова место би се случил пробој. Вработените во ТЕ Битола како водечки кадар од оваа област во Македонија треба да ги преиспитаат критериумите и методите за докажување на расположивоста на своите генератори.