

7. ИСПИТУВАЊЕ НА ИЗОЛАЦИЈАТА

7.1. ПРОФИЛАКТИЧКО ИСПИТУВАЊЕ НА ИЗОЛАЦИЈАТА НА ВИСОКОНАПОНСКАТА ОПРЕМА

7.1.1. Вовед

Електричната високонапонска опрема која е во погон трпи разни влијанија и напрегања како од работниот напон така и од пренапоните, температурата, атмосферските влијанија и друго. Својствата на изолацијата со текот на времето се влошуваат, што со еден збор се означува како „стареење на изолацијата“.

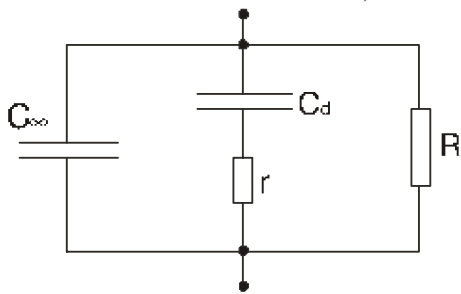
Старењето на изолацијата е сложен физичко-хемиски процес и може да се одвива долго, низ целиот нејзин животен век. За да се зголеми сигурноста на погонот, потребно е да се следи процесот на стареењето на изолацијата систематски во редовни временски интервали. Потребно е да се вршат мерења на некои својства на изолацијата, преку кои се суди за степенот на остареноста и неопходноста од преземање мерки за нејзина „регенерација“, ако таква регенерација е можна, или за замена на дотраената опрема. Таквите испитувања се викаат „профилактички“. Некои од овие испитувања се спроведуваат со висок, а други со релативно низок напон.

Профилактичките испитувања се спроведуваат, обично, на терен, на самото место на вградување на соодветниот апарат, бидејќи транспортот на испитуваниот апарат до високонапонската лабораторија е скап и бара подолго време на застој. Според тоа, за вршење на вакви испитувања потребно е да се располага со пренослива испитна опрема.

Повеќето профилактички испитувања истовремено се неразрушувачки, односно **недеструктивни**. Тоа значи дека при нивната примена нема опасност за разрушување – пробив на изолацијата, бидејќи тие се вршат со смалени напони, обично далеку под работниот напон на испитуваната изолација.

7.1.2. Еквивалентна шема на испитуваната изолација

Однесувањето на изолацијата под дејството на напони од различен вид можеме да го образложиме со еквивалентната шема дадена на сл. 7.1 (Шемата од сликата 2.2 може да се употреби само за напон со индустриска фреквенција, додека шемата од сликата 7.1 е универзална, важи за сите видови напони.)\



Сл. 7.1. Еквивалентна шема на електричната изолација

Ознаките на сл. 7.1 го имаат следното значење:
 C_∞ – капацитет на примерок изолација дефиниран од геометриските димензии и сите видови брзи поларизации (јонска, електронска). Износот на овој капацитет не зависи од фреквенцијата на приложениот напон, освен за многу високи фреквенции од редот на мегахерци.

C_d – додатен капацитет, кој е резултат на процесите на насобирање на товари (апсорпција) на граничните површини кај нехомогените диелектрици (овој процес се нарекува и миграциона поларизација), но се јавува и како резултат на диполната поларизација. Во практиката кај изолационите конструкции изолацијата речиси секогаш е

нехомогена.

r – отпор кој е приклучен сериски со C_d и ги моделира загубите на енергија кои се одвиваат во C_d при горе споменатите бавни процеси на полнење и празнење на C_d .

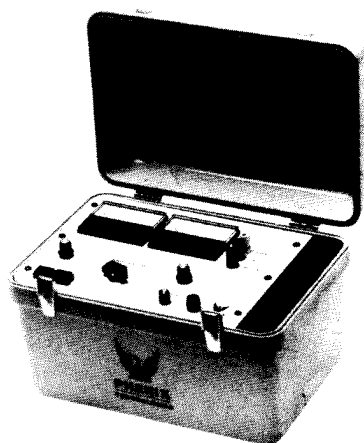
R – отпор на проводноста низ диелектрикот кој, иако има голем износ, сепак не смее да се занемари.

7.1.3. Отпор на изолацијата и неговото мерење

Под отпорот на изолацијата R_{iz} , во смисла на профилактичките испитувања го разбираме односот на наринатиот еднонасочен напон U и струјата и кај испитуваната изолација, $R_{iz} = U / i$.

Отпорот на изолацијата се мери со мегаомметри кои работат со еднонасочен напон. Испитните еднонасочни напони се стандардизирани и изнесуваат 500, 1000, 2500 и 5000 V. На пример, вообичаено е роторската намотка (возбудната намотка) кај генераторите да се мери со 500 V, статорската со 1000 V, а кај енергетските трансформатори се користи напон од 2500 V или 5000 V.

Мегаомметрите се изведени, обично, како аналогни инструменти (со стрелка). Постојат мегаомметри со вграден индуктор – еднонасочен генератор, кој со вртење со соодветна рачка го создава потребниот мерен напон. Посовремените изведби имаат вградено батерии или акумулатори, од кои со помош на вибратор (осцилатор) и исправувач се добива потребниот висок еднонасочен напон. На тој начин овие инструменти на терен се независни од напојувањето од мрежа, што е голема предност (сл. 7.2).

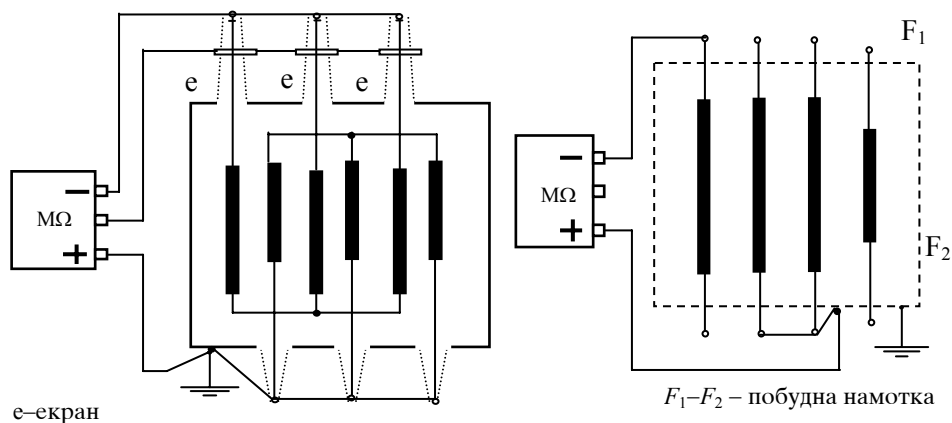


Сл. 7.2. Изглед на еден мегаомметар со вграден извор за еднонасочен напон напојуван од батерии

Сите изведби имаат три стегалки (приклучни точки): позитивна, негативна и стегалка за одвод на паразитските (ползечки или површински) струи. Позитивната и негативната стегалка се поврзуваат на двете електроди, меѓу кои е испитуваната изолација, а одводот за паразитски струи се врзува на специјално направен екран за прифаќање на површинските струи со цел нив да ги исклучиме за да не влијаат врз мерењето, (обично сакаме да ги исклучиме) ако сметаме дека значително ќе влијаат на резултатот од мерењето.

На сликата 7.3 е прикажано приклучувањето на мегаомметарот кај еден енергетски трансформатор и вртлива електрична машина. Мерните објекти треба целосно да се отспојат од енергетската мрежа на која во нормален погон се приклучени.

Резултатите од мерењето се споредуваат со препораките или со резултатите од претходното мерење. Бидејќи отпорот на изолацијата многу зависи од температурата, може да се споредуваат само резултатите сведени на иста температура (обично тоа е 20 °C), ако постои начин за сведување во вид на таблица или крива за соодветниот тип изолација, а ако сведувањето е несигурно, треба да се настојува да се мери секогаш при приближно иста температура. Освен тоа, и напонот при кој се врши мерењето треба да е ист, за да резултатите можат да се споредуваат.



Сл. 7.3. Мерење на отпорот на изолацијата со мегаомметар:

а – мерење кај енергетски двонамотан трансформатор меѓу намотките VN и NN+маса; б – мерење кај вртлива електрична машина меѓу едната фаза и другите две фази заземјени

Отпорот на изолацијата како однос меѓу приложениот напон и струјата зависи од времето поминато од моментот на приклучувањето на напонот, односно тоа е величина зависна од времето. Дека ова е така, можеме да се увериме ако ја погледнеме еквивалентната шема на сликата 7.1 од која гледаме дека при нагло приложување на еднонасочен напон на изводите, струјата која влегува во шемата зависи од времето, односно постои преоден процес на воспоставување на струјата.

За да се исклучи влијанието на струјата на апсорпцијата, односно на процесот на полнењето на C_d преку r , прочитувањето на отпорот не се врши веднаш по вклучувањето на напонот, туку по истекот на една минута. Понекогаш се практикува прочитување по 5 или 10 минути. Се смета дека после ова време отпорот на изолацијата ќе се зголеми до вредноста R , дефинирана со проводноста на изолацијата.

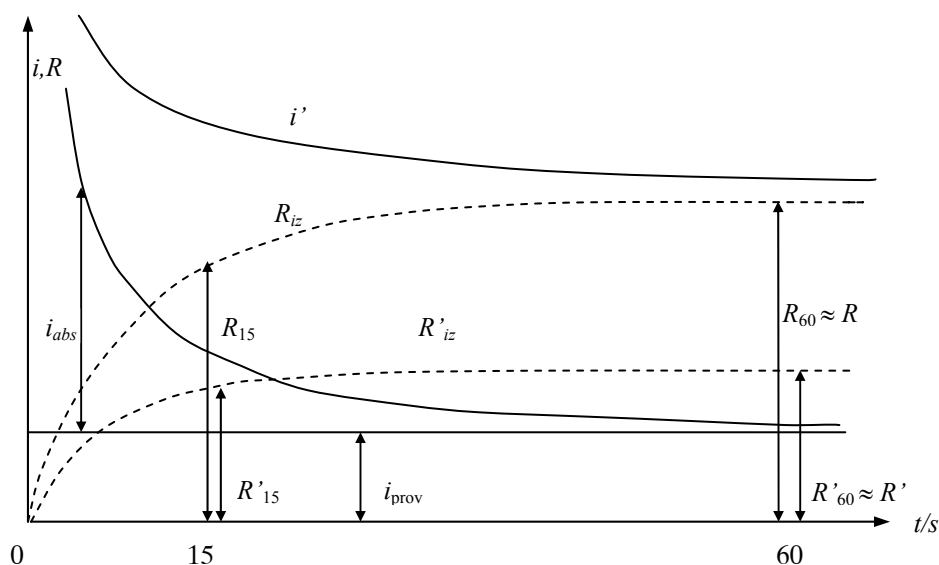
По приклучувањето на еднонасочниот мерен напон струјата на апсорпцијата (низ гранката $r - C_d$ на сл. 7.1) опаѓа според експоненцијален закон:

$$i_{abs} = \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{T}}, \dots T = rC_d. \quad (7.1)$$

Вкупната струја, врз основа на која се мери отпорот на изолацијата, е

$$i = \frac{U}{R} + \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (7.2)$$

Оваа зависност е дадена на сликата 7.4.



Сл. 7.4. Зависност на струјата низ изолацијата i , i' и отпорите R , R' од времето при вклучувањето на еднонасочниот напон; кривите i' и R' важат за навлажнета изолација

Ако како резултат на мерењето се добие мала вредност за R_{60} , тоа може да укажува на општо навлажнување или, пак, површинско навлажнување. Но исто така, мал локален дефект кој ја понижува целата изолација (односно се простира од едната електрода до другата, иако со мал волумен, во вид на каналче) исто така може да даде мал отпор на изолацијата.

Ако изолацијата е многу навлажнета или загадена, струјата на проведувањето $i_{prov} = U / R$ е многу голема и разликата меѓу почетната и конечната струја е мала. Струјата тогаш брзо се воспоставува и стрелката на мегаомметарот брзо се смирува. Затоа, ако ги отчитаме покажувањата на мегаомметарот по 15 секунди и по 60 секунди и направиме однос, тој може да биде мерило за состојбата на изолацијата. (Понекогаш, кај објекти со голем капацитет односот на отпори се прави при 1 и 10 минути).

При влажна и (или) загадена изолација односот R_{60} / R_{15} е мал и близок е на 1. Тоа е затоа што доминира компонентата на струјата U / R . Овој однос се вика **коэффициент на апсорпцијата** и е добар показател за степенот на навлажнетоста на изолацијата при температури помали од 35 – 40 °C. Ако температурата е повисока, струјата на проводноста толку се зголемува, што односот R_{60} / R_{15} веќе не се разликува многу кај сува и влажна изолација и се приближува кон 1.

7.1.4. Мерење на коефициентот на диелектричните загуби $\text{tg} \delta$

Во диелектрикот при наизменично електрично поле (на пример при 50 Hz) настануваат загуби на енергија поради несовршеноста на диелектрикот. Загубите се непожелни, бидејќи додатно го загреваат диелектрикот, што може да доведе до влошување на неговите својства и до т.н. „топлотен пробив“.

Загубите при наизменичен напон можеме упросто да ги прикажеме преку еквивалентната шема прикажана на сликата 7.5, која се состои од кондензатор без загуби и отпор во кој настануваат загубите. До оваа претстава се доаѓа ако, според сликата 7.1, реактивната

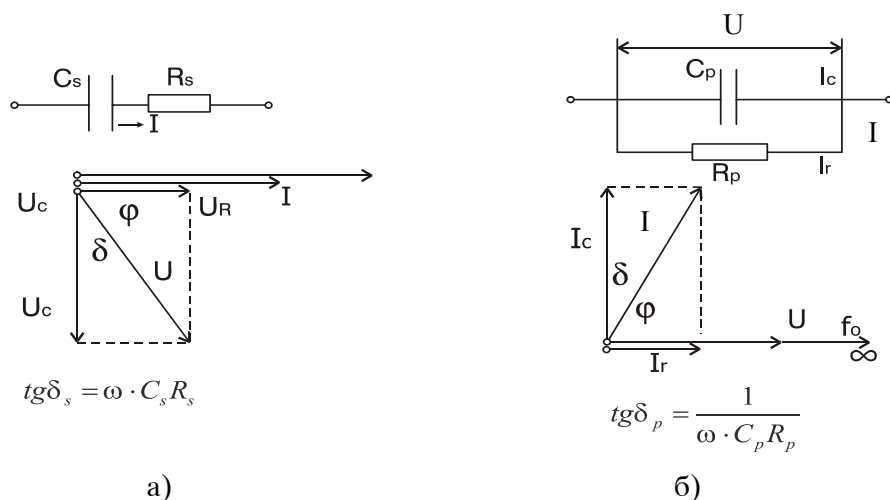
компонента на струјата во гранката $r - C_d$ ја придодадеме на струјата низ C_∞ , а активната компонента на струјата низ истата гранка ја придодадеме на струјата низ R .

Можеме да претпоставиме дека овие елементи се врзани сериски или паралелно. И двете претстави можат да послужат за моделирање на загубите, но секогаш треба да знаеме која шема ја користиме, бидејќи износите на елементите (особено на отпорот) за двете шеми не се исти.

Загубите на моќноста ќе бидат, на пример, за паралелната врска:

$$P = UI \cos \varphi = UI_R = UI_C \operatorname{tg} \delta = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = S_C \operatorname{tg} \delta. \quad (7.3)$$

Шемите на сликата 7.5 се приближни, а поточна е еквивалентната шема на сликата 7.1, која



Сл. 7.5. Еквивалентни шеми, фазорски дијаграм и коефициент на диелектричните загуби кај реалната изолација.

- а) сериска еквивалентна шема, $\operatorname{tg} \delta = \omega C_s R_s$;
 б) паралелна еквивалентна шема, $\operatorname{tg} \delta = 1 / (\omega C_p R_p)$

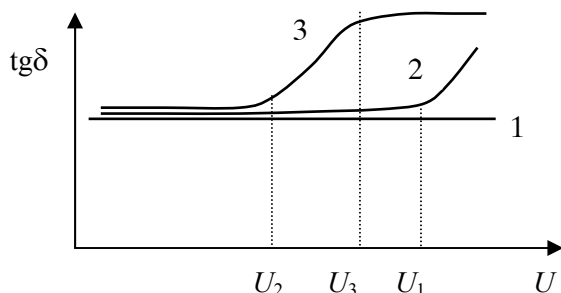
пак е посложена за анализа.

Од равенката 7.3 се гледа дека загубите во изолацијата се пропорционални на $\operatorname{tg} \delta$ кој се вика фактор на диелектричните загуби. Вкупните загуби во изолацијата зависат од нејзината големина (геометриски димензии), но бидејќи $\operatorname{tg} \delta$ не зависи од геометриските димензии, усвоено е да се мери токму тој фактор. Тој се дава обично во проценти или промили, бидејќи е број без димензии, на пр. $\operatorname{tg} \delta \% = 100 \operatorname{tg} \delta$; $\operatorname{tg} \delta^{\circ} /_{\infty} = 1000 \operatorname{tg} \delta$.

Факторот на диелектричните загуби $\operatorname{tg} \delta$ на даден диелектрик зависи од низа влијателни величини. Поважни од нив се температурата и висината на применетиот напон. При споредбени мерења треба да се мери при исти напони и температури. Кај некои видови изолации (на пример масло-хартината) може да се изврши пресметување на други температури (обично на 20°C) ако мерењето било извршено на температура различна од 20°C . Во секој случај, температурата при мерењето на $\operatorname{tg} \delta$ не смее да биде помала од 10°C .

Мерењето на коефициентот на диелектричните загуби кај објектите кои имаат големи димензии може да открие само такви дефекти кои опфаќаат голем дел од волуменот на изолацијата. Такви се: општо навлажнување, остарување. Концентрираните пак дефекти, кои лесно се откриваат при мерењето на отпорот на изолацијата, овде тешко се откриваат. Но, кај објекти со мала големина (и мал капацитет) и локалните дефекти можат да се одразат јасно на износот на $\operatorname{tg} \delta$ (на пример, струјни трансформатори за висок напон, воведни изолатори за висок напон).

Ако изолацијата содржи гасни шуплини, при повисоки напони во нив настануваат парцијални празнења и додатни загуби. Ова се одразува и на пораст на измерениот износ на факторот на загубите $\tan \delta$. Се добиваат зависимости како на сликата 7.6.



Сл. 7.6. Зависност на $\tan \delta$ од напонот.

1 – изолација без шуплини, 2 – изолација со мали шуплини, 3 – изолација со многу и големи шуплини

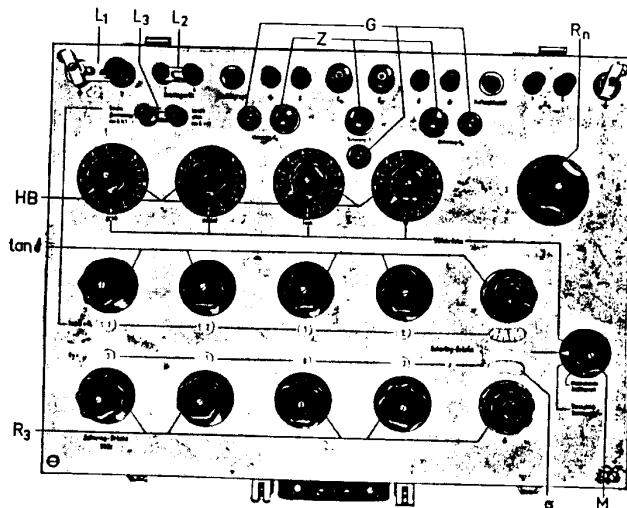
Факторот на диелектричните загуби зависи од фреквенцијата на мерењето. Тој факт се користи кај некои специјални испитувања на изолацијата.

Во практиката најчесто во својство на профилактичко испитување, мерењето на $\tan \delta$ се врши при $f = 50 \text{ Hz}$ и при напон од 10 kV . Ако номиналниот напон на опремата е помал од 10 kV , се врши мерење при номиналниот напон.

Шемите на поврзувањето на намотките на испитуваните апарати се исти како и при мерењето на отпорот на изолацијата. Значи, може да се мери или меѓу 2 посебно одвоени намотки (или фази кај вртливите машини), или меѓу намотки (или фази) и заземјените делови. На пример, кај трансформаторите се мери меѓу една намотка и заземјениот казан, при заземјување на сите други намотки. Но се мери и меѓу две намотки. Кај вртливите машини се мери меѓу една фаза (на статорската намотка) и заземјеното железо ‡ при заземјени други две фази.

Резултатите од мерењата на $\tan \delta$ треба да се споредат со резултатите од претходните мерења или со мерењата извршени при изработката на апаратот во фабриката. Но исто така се прават споредби со пропишаните износи дадени во разни препораки и правила.

Самото мерење се врши со мостови за наизменична струја кои работат при висок напон. Најпознат е Шеринговиот мост, претставен на сл. 7.7.

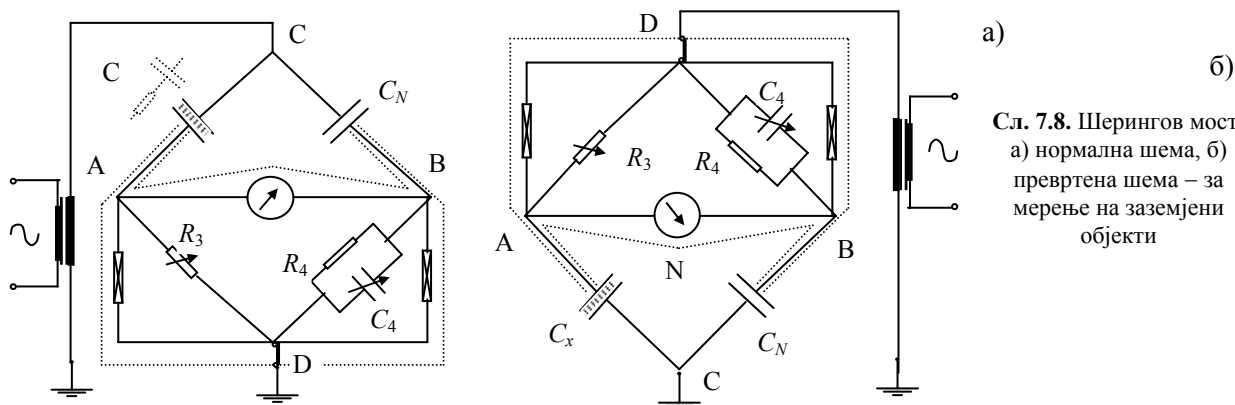


Сл. 7.7. Шерингов мост MES8 од фирмата Хартман – Браун

Нормалната шема од сликата 7.8а се користи ако е можно двете електроди на испитуваниот објект да се изолираат од земјата. Трансформаторот за напојување на мерната шема може да биде и еднополно изолиран, бидејќи едниот извод му е на потенцијалот на земјата. Самиот мост, во потесна смисла на зборот (R_3, C_4, R_4 , и N), се наоѓа на низок потенцијал во однос на земјата и мерните елементи не се опасни за пипање на ракувачот, бидејќи е заземјена точката D од мостот. Речиси целиот висок напон отпаѓа на C_x и C_N . Многу е битно нормалниот

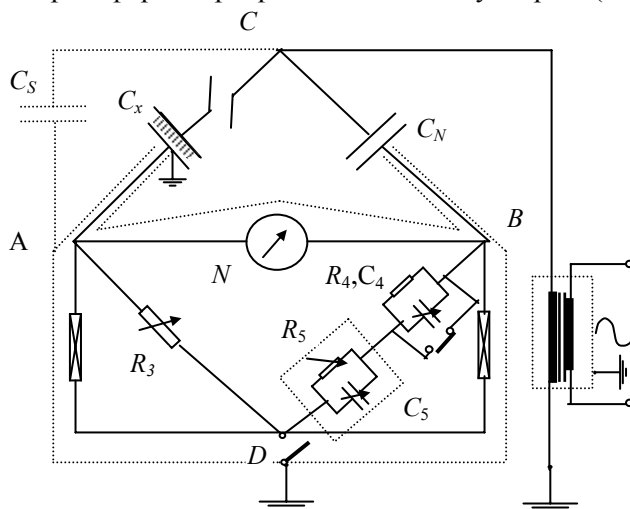
(еталонскиот) кондензатор C_N да биде без загуби, бидејќи мерењето се засновува на разликата во загубите меѓу C_x и C_N . Затоа, еталонскиот кондензатор се изведува како гасен кондензатор.

Но како што рековме, поинтересно е да се мери $\tan \delta$ на намотка во однос на заземјените делови кои играат улога на втората електрода на испитуваниот кондензатор C_x . Во таков влучај, во бившиот СССР, на пример, вообичаено е да се користи шемата од сл. 7.8б, т.н. превртена шема. Сега е заземјена точката C и сите мерни елементи (R_3, C_4, R_4, N) се под висок напон и не смее да се допираат од страна на ракувачот. Урамнотежувањето се врши оддалеку, преку изолациони лостови.



Сл. 7.8. Шерингов мост:
а) нормална шема, б)
превртена шема – за
мерење на заземјени
објекти

Во западните земји вообичаени се други шеми неопасни за ракувачот и поудобни за работа. Така, на сликата 7.9 е прикажана шемата на мостот MES-8 од фирмата H&B. Таков поседува и лабораторијата за висок напон при ЕТФ во Скопје. Според оваа шема, заземјена е точката A . Напојниот трансформатор треба да има секундарна (високонапонска) намотка која е



Сл.7.9. Шема на Шерингов мост со додатен уред за мерење на заземјени објекти.
 $C_5 - R_5$ е додатен уред)

двополно изолирана. Паразитниот капацитет C_s кој лежи паралелно на мерениот објект C_x и кој најмногу потекнува од паразитните капацитети во напојниот трансформатор (и поради кој во сликата 7.8б се прибеѓнува кон „превртена шема“), би го обезвреднил мерењето. Неговото влијание се отстранува со три мерења и со помош на додатниот уред $R_5 - C_5$.

При првото мерење Шеринговиот мост се урамнотежува на вообичаен начин. Додатниот уред $R_5 - C_5$ се поставува на $C_5 = 0$, $R_5 = 0$ (додатниот уред премостен!). Измерената вредност сега одговара на збирот од капацитетите $C_x + C_s$ и на $\tan \delta$ од $C_x + C_s$

При второто мерење, доводниот проводник до C_x се прекинува, така што во таа гранка останува само капацитетот C_s . Сега елементите на мостот $C_4 - R_4$ се сврзуваат накусо, при што се оставаат во положбата каква што била при првото мерење. Сега мостот се урамнотежува со помош на C_5 и R_5 и овие поставувања одговараат на вредноста C_s и $\text{tg}\delta$ од C_s . При третото мерење во гранката 4 одново се вклучуваат R_4 и C_4 и мостот се урамнотежува со R_3 и C_4 , а притоа високонапонската врска пак е вратена во нормална – приклучна положба.

По ова трето урамнотежување, влијанието на C_s е отстрането, а резултатите на мерењето се прочитуваат на вообичаен начин. Има и други решенија на овој проблем на мерење на заземјени објекти, но на нив овде нема да се запираме.

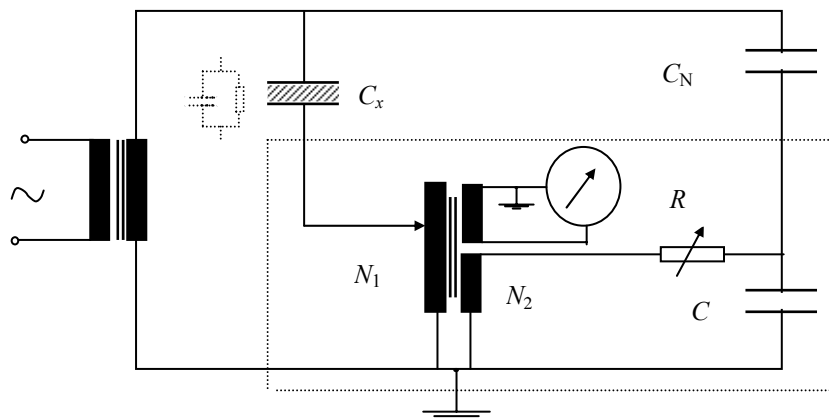
Условите за рамнотежа на мостот се познати од предметот „електрични мерења“. При постигната рамнотежа на Шеринговиот мост важи:

$$\text{tg}\delta = \omega C_4 R_4 \quad \text{и} \quad C_x = \frac{R_4}{R_3} C_N.$$

Величините од десната страна се или однапред познати, или се прочитуваат по постигнувањето на рамнотежата на мостот.

Отпорот R_4 се прави еднаков точно на износот $10000/\pi$ или $1000/\pi$, а C_4 го читуваме во микрофаради. Тогаш при $f=50 \text{ Hz}$ ($\omega=2\pi f$) се добива $\text{tg}\delta_x = C_4$, т.е. бројчено е еднаков на капацитетот C_4 изразен во микрофаради. Урамнотежувањето е рачно.

Со успех се користат и т.н. „трансформаторски мостови“, каков што е Глиновиот мост (сл. 7.10). Самиот мост, во потесна смисла на зборот, е еден струен трансформатор кој има 3 намотки намотани на едно магнетно јадро. Првата намотка има многу отцепи со преклопки кои можат да вклучуваат повеќе или помалку навојки во намотката. Низ оваа намотка тече струјата од испитуваниот објект C_x .

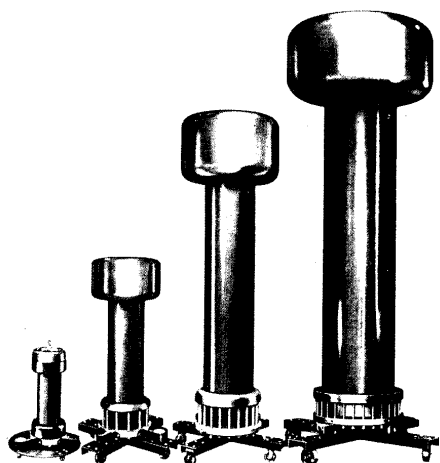


Сл. 7.10. Изведба на трансформаторски (Глинов) мост

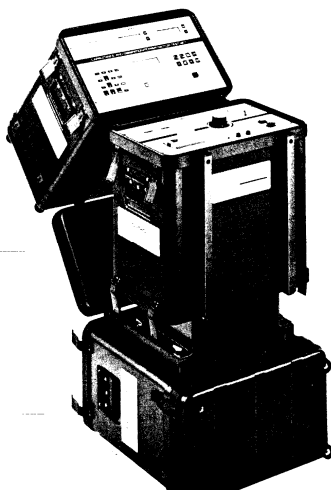
Во втората намотка струјата тече низ еталонскиот кондензатор (сл. 7.11). На третата намотка е приклучен нулиндикаторот. Со регулирање на бројот на навивките N_1 , се постигнува рамнотежа. Условите при рамнотежата се (види: V. Bego: Mjerenja u elektrotehnici, Tehn. knjiga, Zagreb):

$$C_x = C_N \frac{N_2}{N_1}, \dots, \text{tg}\delta = \omega CR$$

Мерењето на факторот на диелектричните загуби во теренски услови е сврзано и со борба против електромагнетни пречки, кои доаѓаат од соседните проводници под напон. Ова е особено



Сл. 7.11. Низа високонапонски еталонски кондензатори за мерење на факторот на загубите



Сл. 7.12. Автоматски современ трансформаторски мерен мост Tettex

изразено при мерењето на објекти со мал капацитет. Против пречките се бориме на разни начини, пред сè со оклопување. Освен тоа, самото мерење на факторот на загубите на терен е комплицирана работа, бидејќи опфаќа опрема со голем број инструменти и прибор, потреба од точно мерење на високи напони, континуирана регулација на напонот и слично. Затоа, потребни се комплетни теренски системи кои се приспособени

за оваа намена и снабдени со сите потребни делови и прибори.

Современите изведби на мерни системи за теренско мерење на факторот на диелектричните загуби имаат вградено специјални електронски кола кои го мерат нивото на електромагнетните пречки и генерираат контранапони кои ги отстрануваат напоните индуцирани од пречките. Истовремено тие имаат и автоматика за самостојно урамнотежување. Заради поудобна работа при теренски мерења на објекти со помал капацитет (енергетски и мерни високонапонски трансформатори), овие системи имаат вградено и напојни извори за висок наизменичен напон, нормален кондензатор C_N , а резултатот од мерењето се добива на вграден печатач. Целокупната работа на системот е управувана од микропроцесор. Ваков мерен систем за теренско мерење на факторот $\tan \delta$ и капацитетот од швајцарската фирма Tettex поседува и лабораторијата за висок напон при ЕТФ во Скопје. Тој работи на трансформаторски принцип (сл. 7.12).

7.1.5. Мерење на парцијалните празнења во изолацијата

Под парцијални празнења се разбираат празнењата во внатрешноста на самата изолација, но такви кои не поминуваат од едната електрода до другата, туку минуваат само куси растојанија било близу до електродите, било во внатрешноста на самата изолација (види подетално во поглавјето 5.2.1).

Иако оваа појава не претставува целосен пробив, сепак е многу штетна за изолацијата, особено онаа од органско потекло. Парцијалните празнења многу го забрзуваат стареењето на изолацијата и физичко-хемиски ја менуваат. Парцијалните празнења обично настануваат во мали шуплини останати во внатрешноста на изолацијата по нејзиното леење или импрегнирање, како и во разни примеси (нечистотии).

Самото парцијално празнење претставува краткотрајна појава на пробивање на извесни мали домени во внатрешноста на изолацијата и како такво не е достапно за директно мерење. Но, секое такво празнење се манифестира на изводите од објектот, кој има вкупен капацитет C_x , како краткотраен импулсовиден пад на напон ΔU_x . Преку овој пад на напонот и преку износот на

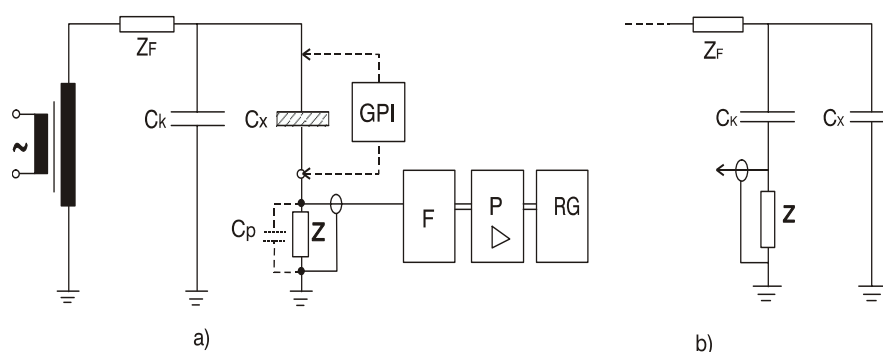
C_x се дефинира еден од најважните поими, поимот на привиден товар на парцијалното празнење, q ,

$$q = \Delta U_x C_x$$

или, со други зборови, тоа е оптоварување кое е приложено скоковито на објектот C_x ќе даде таков пад на напонот, како и самото празнење во внатрешноста на изолацијата. Празнењето се повторува периодично, а според тоа и скоковитите намалувања на напонот на објектот C_x можат да се регистрираат со осетливи инструменти.

Шемата за електрично мерење на карактеристиките на парцијалните празнења е прикажана на сликата 7.13. Шемата од сликата 7.13a се користи ако објектот ги има двете електроди изолирани од земјата, а шемата на сликата 7.13b ако едната електрода по самата своја природа е заземјена.

Напонскиот скок на C_x доведува до придрушен апериодичен процес во колото $C_k - C_x - Z - C_p$. Составен дел на шемата е филтерот F кој ги пропушта кон засилувачот P само



Сл. 7.13. Шема за електрично мерење на парцијални празнења.

- а) ако мерениот објект може да се изолира од земјата;
б) ако мерениот објект не може да се изолира

високите фреквенции (импулси), а ги спречува ниските фреквенции (падот на напонот на Z од индустриската фреквенција од 50 Hz и на хармониците). Со регистрирачките инструменти RG заеднички се опфатени разни инструменти, како што се: бројач на импулсите n , средна струја на парцијалните празнења I_{sr} , максимален привиден

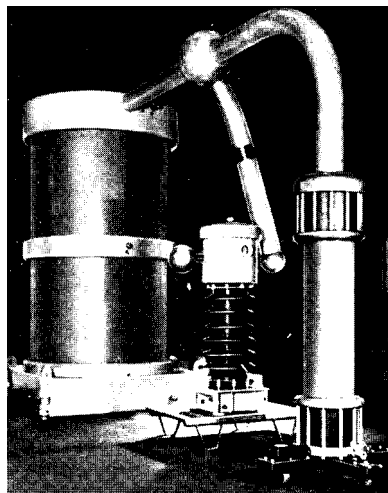
товар q' и други. Задолжителен инструмент е и осцилоскопот.

За баждарење на шемата се користи генератор за правоаголни импулси GPI. Тој се приклучува во безнапонска состојба паралелно на објектот C_x (на сликата прикажано непрекинато).

Со помош на калибрациониот генератор (GPI) се уфрлаат импулси. Покажувањето на инструментот, притоа, се запамтува, и претставува мерило за реалните парцијални празнења кои настануваат под висок напон и без присуство на калибрациониот генератор.

За теренско и профилатичко мерење овој принцип ретко се користи, бидејќи е осетлив на многубројни електромагнетни пречки кои доаѓаат по разни патишта. Но сепак, бидејќи е важно и модерно испитување, многу се работи на неговата примена за оценка на изолацијата. Се градат сè посовршени апаратури со примена на заштитни мерки, примена на микропроцесори и дигитална обработка на сигналите. Така овој принцип сè повеќе освојува терен како теренско профилатичко испитување и веќе излегува од досегашната исклучително лабораториска примена.

На сл. 7.14 е прикажан современ уред за мерење на парцијалните празнења и високонапонскиот дел од шемата.



Сл. 7.14. Лево: Изглед на инструмент за мерење на парцијалните празнења Tettex; десно: високонапонско коло при мерење на парцијални празнења кај еден мерен трансформатор. Најдалеку – испитниот трансформатор, на средина – испитуваниот објект, најблизу – кондензаторот за врска. Проводниците се дебели за на нив да не се јават парцијални празнења.

Во последно време за спроведување на мерењето сè повеќе се користат и други ефекти кои се предизвикани од парцијалните празнења, на пример, ултразвучните. По ултразвучен пат особено добро се локализираат парцијалните празнења во внатрешноста на енергетските трансформатори.

Со цел да се откријат дефектни изолатори кај воздушните преносни високонапонски водови, се користат мерачи кои работат на принцип на радиоприемник. Имено, во близината на дефектниот изолатор има појачани електромагнетни пречки предизвикани од интензивни парцијални празнења, кои приемникот ги прима преку антена.

7.2. ИСПИТУВАЊЕ НА ИЗОЛАЦИЈАТА СО ЗГОЛЕМЕН НАПОН

Испитувањето на изолацијата со зголемен напон, било да се врши во фабрика или на терен, е основно испитување кое ја гарантира неопходната резерва на изолационата цврстина во однос на пренапоните. Методите на испитување и барањата кои се поставуваат за електричната цврстина на надворешната и внатрешната изолација на разни видови апарати се нормирани во соодветните стандарди (прописи).

Надворешната изолација се испитува со трикратно приложување на напонот со индустриска фреквенција при континуирано подигање на напонот, без задржување под напон. Во зависност од условите за работа (надворешна монтажа или во зграда) изолаторите и надворешната изолација на разводните постројки се испитуваат во сува состојба или под дожд (вештачки дожд).

Испитувањето на електричната цврстина на надворешната изолација во услови на загадување се врши со примена на вештачко загадување.

Внатрешната изолација се испитува со наизменичен, ударен и еднонасочен напон, зависно од видот и условите при работа.

Испитувањето со наизменичен напон со 50 Hz се врши со едноминутно подложување на испитниот напон под услов основната изолација да е керамичка, течна или масло-хартена. Ако изолацијата е составена од тврди органски материјали или кабловски маси (како кај каблите), испитниот напон се приложува во тек на 5 минути. Изолацијата се прогласува за добра, односно

дека го издржала испитувањето, ако не настапи целосен пробив или недозволени повреди, ако не се слушне пробив во внатрешноста на казанот, ако не се појави чад или мерните уреди не укажат на појава на опасни парцијални празнења.

Испитувањето со импулсни (ударни) напони кај внатрешната изолација се врши со 3 удари со цел бран и 3 удари со пресечен бран.

Опремата која е наменета за работа во постројки врз кои не влијаат атмосферски пренапони (на пример разводни постројки поврзани само со кабелски водови) може да се изведе и со олеснета изолација. За ваква изолација се предвидени и пониски испитни напони, а исто така не се бара ниту испитување со ударен напон, туку само со наизменичен.

При профилатички испитувања на опрема која е веќе во погон, големината на испитните напони се усвојува за 10 – 25% пониска одошто кај нова опрема. Со ова се зема предвид дека постои извесно стареење, па веројатноста за пробив при испитувањето е зголемена.

При профилатичките испитувања често се користи еднонасочен напон. Кога изолацијата е подложена на еднонасочен напон, не постои битно загревање; парцијалните празнења се многу слаби споредено со случајот кога изолацијата е напрегната со висок наизменичен напон, па и пробивот при напрегање со еднонасочен напон настанува при повисоки врдности на напонот. Затоа се практикува испитниот еднонасочен напон да е повисок од наизменичниот (3 до 4 пати). При ова испитување се мери и струјата на одведување, што исто така овозможува да се суди за состојбата на изолацијата.

7.3. ИСПИТУВАЊЕ НА НЕКОИ ВИДОВИ ВИСОКОНАПОНСКА ОПРЕМА

7.3.1. Испитување на изолатори

Најкомплетни се типските испитувања кои се вршат во фабриката. Се определуваат сите карактеристики како: прескочен напон, волт-секундна карактеристика, аголот на диелектрични загуби δ , отпорот на изолацијата. Се проверуваат и механичките и топлинските својства, квалитетот на материјалите (порцеланот и глазурата), формата и димензиите.

Примопредајните испитувања се вршат во фабриката на избрана случајна група примероци и ги опфаќаат, речиси, сите типски испитувања.

Профилатички испитувања на изолацијата на водовите се вршат со периодична проверка на распределбата на напонот по изолаторската низа со помош на испитни стапови. Ова е мако-трпна работа, па се прави еднаш на 3 – 6 години.¹ Пред монтажата може да се измери секоја капа со мегаомметар и со зголемен напон.

Кај воведните изолатори за 110 kV и повеќе, кои имаат масло-хартиена изолација, се практикува и мерење на факторот на загубите $tg\delta$, со што е можно да се утврди овлажнувањето на изолацијата. Присуството на воздушни меурчиња во воведните изолатори може да се утврди ако се измерат парцијалните празнења, а исто така може профилатички да се испитаат и растворените гасови во маслото.

7.3.2. Испитување на изолацијата на кабли и кондензатори

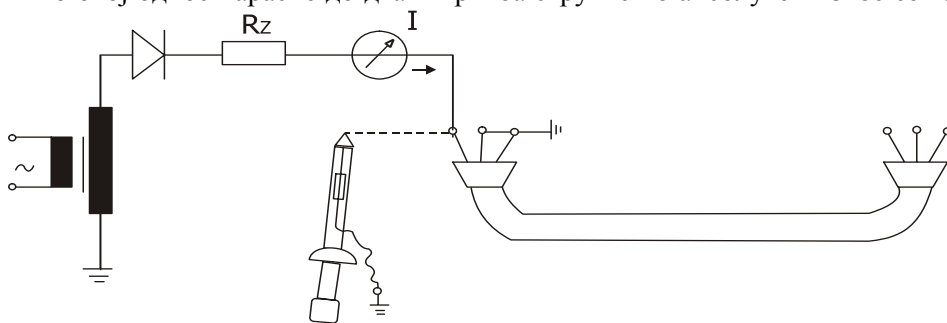
¹ Податокот е земен од литература која потекнува од бившиот СССР. Кај нас сеуште се забранети било какви работи под висок напон.

Најцелосни испитувања на произведените кабли се вршат со наизменичен или еднонасочен висок напон во фабриките-производители. Висината на испитните напони и времетраењето на приложување на напонот се регулира со соодветните прописи за дадениот тип кабел. Се испитуваат цели фабрички должини (барабани) или парчиња од 5 метри. За високонапонските кабли се применува и мерењето на нивото на парцијалните празнења, кое не смее да надмине даден износ. Се мери исто така и $\operatorname{tg} \delta = f(U)$.

Пред пуштање во погон на положени кабли за 6 – 35 kV се врши испитување со висок еднонасочен напон со износ $(5 - 6) U_n$ во време од 10 минути. Целта на ова испитување е да се провери кабелот и приборот (спојни, завршни спојки) дали се квалитетно направени.

Основен начин на профилатичко испитување на енергетски импрегниран кабел за 3 – 35 kV е испитувањето со висок еднонасочен напон во износ од 5 до $6 U_n$ во траење од 5 до 10 минути. Шемата е дадена на сликата 7.17. При ова испитување истовремено се мери и струјата на одведување и се снима волт-амперската зависност $I = f(U_{isp})$. При добра изолација струјата при константен испитен напон треба да е константна. Ако постои дефект, ќе се појави накршување на зависноста или за време на држењето под напон струјата нагло ќе почне да расте. Во ваков случај треба да се продолжи со држењето под напон сè додека струјата не прими постојана вредност или, пак, не настане целосен пробив на изолацијата.

Струјата на одведување во разни жили на истиот кабел не треба многу да се разликува. Ако овој однос нарасне до два и притоа струите по апсолутен износ се големи, ова може да значи



Сл. 7.17. Испитување на енергетски кабел со еднонасочен напон

дека е присутен дефект во изолацијата. За состојбата на изолацијата може да се суди и според резултатите од претходните испитувања, а и според постојните норми.

После пробивот во кабелот дефектното место треба да се „прогори“, при што ќе се создаде проводен канал. Ова се врши со постројка за еднонасочен напон, но со поголема моќност (3 – 6 kV, 5A).

Потоа повреденото место се открива со специјални инструменти кои работат на принцип на простирање и одбивање на електромагнетните бранови (импулси). Сите овие апарати се обично вградени во теренско возило популарно наречено „мерна кола“.

Денес има нови ставови во врска со испитување на кабли изолирани со екструдирани полимерен диелектрик. Според IEC 840 публикацијата сè уште официјално за испитување на кабелите од екстудирани полимерна изолација (на пример полиетилен) по полагање се даваат две можности:

‡ испитување со еднонасочен напон со интензитет $3 U_o$, во траење од 15 минути;

‡ испитување со наизменичен напон со интензитет од $\sqrt{3} U_o$ во траење од 5 минути, или со интензитет U_o во траење од 24 часови. (U_o е номиналниот напон фаза – земја)

Примената на еднонасочниот напон очигледно потекнува од постарата практика на испитување на кабелската изолација со масло-хартиена изолација. Тој метод е многу пожелен со оглед на едноставната и лесна испитна опрема со која може да се испитаат и големи должини на кабли. Испитувањето со наизменичен напон, од друга страна е пожелно, бидејќи навистина ги репродуцира вистинските напрегања на изолацијата.

Забелешките кои денес се ставаат на примената на еднонасочниот напон за каблите со екструдирани полимерни диелектрици се дека, прво, напрегањата во диелектрикот се распределуваат согласно на специфичната електрична проводливост на диелектрикот, а не согласно на диелектричната пропустливост, како што е во нормалниот погон. Второ, испитувањето со еднонасочен напон е несоодветно. Со примена на еднонасочен испитен напон не може да се откријат некои дефекти кои би се откриле со примена на наизменичен испитен напон. Трето, примената на испитен еднонасочен напон може да биде штетна и побрзо да доведе до пробив. Тоа е од следните причини: При испитувањето со еднонасочен напон во меѓуслоевите на диелектрикот се создаваат просторни полнежи, кои, ако настане прескок на завршетокот на кабелот и со тоа и патувачки бранови долж кабелот, може да доведат до пренапрегање на изолацијата и нејзин пробив уште во текот на самото испитување. Исто така, до пробив може да дојде и непосредно по испитувањето со висок еднонасочен напон, кога се приложи работниот наизменичен напон. Причината е истата, имено заробените просторни полнежи во диелектрикот.

Како алтернативни методи за овие видови кабли, наместо еднонасочниот напон, се предлагаат следниве:

‡ Употребата на постројка за висок наизменичен напон кое работи на резонантен принцип, со промена на индуктивитет кој е изведен со железо. Овој метод е погоден само за лабораториски услови, во фабриките-производители, бидејќи испитниот уред е гломазен и тежок.

‡ Резонантна постројка со воздушен константен индуктивитет при што резонанцијата се постига со промена на фреквенцијата од 30 до 300 Hz. Постројка во оваа изведба се лесни и погодни за теренска примена и тие нашле широка примена во последно време.

‡ Како трета алтернатива е испитување во висок наизменичен напон со многу ниска фреквенција (0,1 Hz). Овој метод засега е само за лабораториски услови.

Испитувањата на кои се подложуваат **високонапонските кондензатори** зависат од нивната намена и вид. Кондензаторите за наизменичен напон се испитуваат со висок наизменичен напон со индустриска фреквенција. Ако не се располага со доволно моќни извори, се испитува со еднонасочен напон. Величините на испитните напони се пропишани во прописите. На пример, кондензаторите за поправање на факторот на моќноста се испитуваат со $2,2 U_n$ наизменичен напон 50 Hz, или со $4,3 U_n$ еднонасочен напон. Во фабриките – производители додатно се испитуваат факторот на загубите $\tan \delta$, струјата на одведување, напонот на почетокот на парцијалните празнења, нивен износ и друго.

Пред монтажа на кондензаторите се врши проверка на херметичноста, едноминутно испитување со висок напон, отпорот на изолацијата и капацитетот.

7.3.3. Испитување на изолацијата на трансформаторите

Изолацијата на трансформаторите во погон е подложена на трајното дејство на работниот напон и на повремени краткотрајни влијанија на внатрешни и атмосферски пренапони.

Едноминутното испитување со наизменичен напон со индустриска фреквенција може да се оствари на два начина:

- со доведен стран напон,
- со возбуждавање на самиот испитуван трансформатор (со индуциран напон).

При испитувањето со доведен стран напон се испитува само главната изолација (меѓу намотки и спрема заземјени делови), при што напонот на целата намотка која е подложена на стран напон е ист. Овој начин може да се примени, ако главната изолација на целиот

трансформатор е изведена со еднаква цврстина, т.е. не е изведена степенувана. Сите изводи на една намотка се врзуваат накусо, останатите намотки се поврзуваат на казанот (маса), а напонот се приложува меѓу испитуваната намотка и масата.

При испитувањето со индуциран напон кон нисконапонската намотка се доведува двојно повисок напон од номиналниот. Врската на трансформаторот е како во нормален погон. За да не се засити магнетното коло, што би довело до многу голема струја на магнетизирање и би се нарушила синусоидалноста на напонот во високонапонската намотка, испитниот напон се доведува со зголемена фреквенција $f = 100 - 400 \text{ Hz}$. При ова, времето на испитување се намалува по формулата $t_{isp} = 60 \frac{100}{f_{isp}}$ секунди, но не смее да биде помало од 15 секунди.

Испитувањето со цели и сечени ударни напони при фабриката на трансформаторите е задолжително. Притоа истовремено се врши и осцилографирање на струјата во неутралната точка, со цел да се види дали настанал пробив во меѓунавојната или меѓуслојната изолација. Ако таков пробив настанал, осцилограмот ќе биде изменет во однос на осцилограмот добиен при здрава и неповредена изолација, кој се добива при испитување со снижен напон.

Степенот на навлажнетоста на изолацијата во процесот на изработка се контролира со мерење на факторот на диелектричните загуби $tg\delta$, отпорот на изолацијата и парцијалните празнења.

Кај трансформаторите кои се наоѓаат во погон, како и после ремонт, се вршат сите видови профилактички испитувања кои се недеструктивни. Најчест дефект на изолацијата на трансформаторот е нејзиното навлажнување. Исто така, во процесот на работата на трансформаторот настанува стареење, под дејство на топлината и парцијалните празнења, со што се засегнати цврстите компоненти во изолацијата, маслото се загадува, закиселува и во него се собираат талози – шљам.

Присуството на талози, навлажнување и загадување на маслото се следи преку периодични анализи на проби од маслото. При пробата на маслото се вршат следните физичко-хемиски испитувања:

- пробојност (диелектрична цврстина), kV/cm,
- присуство на талози,
- киселост (mg KOH/g),
- содржина на вода (ppm),
- површински напон (N/m),
- отпор на изолацијата (Ωcm) и $tg\delta$ на пробата на масло при температура од 90°C ,
- хроматографска анализа на растворени гасови во пробата трансформаторско масло.

Според резултатите од пробата на трансформаторското масло, маслата од експлоатација се делат во 4 групи на квалитет, при што за првите две групи се смета дека имаат потребни својства за продолжување на експлоатацијата. Граничните вредности се дадени во долната табела.

Карактеристика	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
E_p (kV/cm)				
до $U_n = 110 \text{ kV}$	>140	>140	>120	<120
110kV	>180	>180	>160	<160
>110kV	>200	>200	>180	<180
ρ (Ωcm) при 90°C	> 10^{12}	> $0,2 \cdot 10^{12}$	> $0,1 \cdot 10^{12}$	< $0,1 \cdot 10^{12}$
$tg\delta$ на 90°C	<50	<200	<1000	<1000
KOH, mg/g	<0,05	<0,2	<0,5	>0,5

Талог	нема	нема	Трагови	има
површински напон, 10^{+3} N/m	>25	>20	>15	<15

На самиот трансформатор како целина се мери R_{15} , R_{60} како и $\text{tg}\delta$ на воведните високонапонски изолатори, ако се за 110 kV или за повисок напон.

Дозволените вредности за сите овие величини се дадени во прописи или препораки за трансформатори од разни типови, моќности и номинални напони. Тие препораки се дадени или од страна на фабриците, или се составени од претпријатијата кои вршат експлоатација на високонапонската опрема и составени се врз база на долгогодишно искуство. Граничните вредности не се исти во сите земји во светот, туку ја одразуваат технологијата на градење на трансформатори и повремено се менуваат. Така, на пример, во руската литература дадени се следните вредности за $\text{tg}\delta$ кои се многу поголеми од оние кои се препорачуваат кај нас или во западните земји:

Вредности за $\text{tg}\delta$ за трансформатори со $U_n < 35 \text{ kV}$ и моќност $< 2,5 \text{ MVA}$		
Температура, °C	Фактор на загубите, $\text{tg}\delta$	
	Гранична вредн. за нови	Дозволена вр.во погон
10	0,015	0,025
20	0,020	0,035
30	0,026	0,055
40	0,034	0,080
50	0,046	0,110
60	0,060	0,150

При донесувањето на суд за состојбата на изолацијата се врши споредба со вредностите за $\text{tg}\delta$ од фабричките испитувања или со резултатите од претходните мерења во погон.

За трансформаторите од повисоки напонски класи, граничните вредности се помали од овие во горната табела. Така, за 110 kV трансформатори износот за $\text{tg}\delta$ од 1% може да се смета за граничен. За мерните трансформатори од 110 овој износ се зема за граничен, додека во Германија гранична вредност е 0,8, а во Швајцарија е 0,6. Сепак, износот на $\text{tg}\delta$ многу зависи од квалитетот на употребените појдовни изолациони материјали и технологијата на изработката. При првокласни материјали (масло и хартија) за $\text{tg}\delta$ кај нови трансформатори се добиваат вредности од 0,2 до 0,3%.

Еве некои ориентациони вредности за потребните вредности на отпорот на изолацијата кај трансформаторите.

– Кај мерните струјни трансформатори за напон од 110 kV и повисок (масло-хартиена изолација) изолациониот отпор при 20 °C треба да е поголем од 100 000 MΩ, а кај напонските е поголем од 30 000 MΩ.

– Кај енергетските трансформатори при 20 °C отпорот на изолацијата не треба да е помал од одреден износ според долната табела (податоци според советските прописи), а односот $R_{60}/R_{15} > 1,3$.

U_n kV	S_n kVA	R_{iz} MΩ	$\text{tg}\delta$ при 20 °C
до 35	1600±6300	300	±
до 35	>10000	600	1%
110±550	сите моќности	70 % од фаб. вред.	130 % од фаб.вр.

Ако температурата при која се врши мерењето е различна од $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, сведувањето на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ се врши со множење (или делење) со множител k_{θ} : $R_{\theta} = k_{\theta} R_{20}$, според следната табела:

$\theta - \theta_0$	1	2	3	4	5	10	15	20
k_{θ} за R_{60}	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25
k_{θ} за $\text{tg}\delta$	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,31	1,51	1,75

По ремонт на трансформаторите, изолацијата се проверува во ремонтните претпријатија со испитување со зголемен напон со индустриска фреквенција. Испитниот напон сега се зема намален во однос на оној кој се применува на новоизработен трансформатор, на пример со $0,85 U_{isp}$ (U_{isp} е испитен напон за нов трансформатор).

Во случај на навлажнета изолација на трансформаторот, се применува постапка на пречистување на маслото со специјални машини кои вршат филтрирање, сушење и дегазирање на маслото.

Испитувањето на изолацијата на мерните високонапонски трансформатори ги опфаќа истите работи како и кај енергетските трансформатори, но поради конструктивните разлики постојат и некои специфичности.

7.3.4. Испитување на изолацијата на вртливите машини

Испитувањето на изолацијата на намотките на вртливите машини започнува уште во фабриката во процесот на изработката на намотките и се врши во повеќе наврати. Ова има за цел навреме да се откријат неисправните делови и елементи на намотката. Одделни секции или „стапови“ на намотката се испитуваат уште пред монтирањето во каналите на железото, а потоа и во вградена положба. По поврзувањето на поодделни делови на намотката, повторно се врши испитување, а исто така и по целосното изработување на машината. Кај големите генератори самото вградување на деловите од намотката и поврзувањето во целосна намотка се врши во самата централа – на самото место, па и најголем дел од испитувањата се вршат таму, а во фабриката се испитуваат само елементарните делови на намотките – секциите или стаповите.

Испитните напони зависат од номиналниот напон, моќноста и типот на машината. На пример, за машини до 10 MVA се вршат следните испитувања:

- секциите до вградувањето во каналите – со $2,75 U_n + 4,5\text{ kV}$,
- по вградувањето во каналите – со $2,5 U_n + 2,5\text{ kV}$,
- по лемењето на сите врски – со $2,25 U_n + 2\text{ kV}$,
- при пуштањето во погон – со $2 U_n + 1\text{ kV}$, ако номиналниот напон е помал од 3 kV ; со $2,5 U_n$ ако $U_n = 6\text{ kV}$ и $2 U_n + 3\text{ kV}$, ако $U_n = 6\text{ kV}$. Ова е според советската практика. И кај нас важат слични препораки. Типично е постепеното намалување на испитниот напон во текот на довршувањето на намотката. Во фабриката исто така се вршат испитувања на отпорот R_{60} и факторот $\text{tg}\delta$ на делови од намотката пред вградувањето.

Снижувањето на испитните напони во процесот на изградбата на машината е условено со фактот што при монтажата и лемењето е можно, заради механички или термички причини, изолацијата наместа да ослаби и електричната цврстина да се намали. Сите овие погоре спомнати испитувања се вршат во траење од една минута под испитен напон.

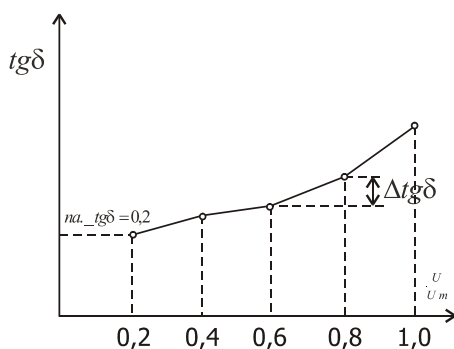
На местото на вградување на машината испитувањето со висок напон се врши со напон намален на износ од $75 \pm 85\%$ од оној кој се применува во фабриката. Според советската практика, статорската намотка на генераторот во погон секоја година се испитува со висок наизменичен напон со вака намален износ. На Запад овие испитувања се напуштаат во полза на недеструктивни профилактички испитувања.

Во процесот на експлоатација состојбата на високонапонската изолација на намотките од вртливите машини се оценува според мерењата на отпорот R_{60} , односот R_{60}/R_{15} или R_{10}/R_1 , $\operatorname{tg} \delta$ и $\Delta \operatorname{tg} \delta$.

Факторот $\operatorname{tg} \delta$, обично, се мери при напони 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1,0 (U/U_n), и $\Delta \operatorname{tg} \delta$ претставува прирастот на $\operatorname{tg} \delta$ од еден до друг напонски степен. Овие мерења овозможуваат да се одреди степенот на навлажнетоста и општата состојба на остареност на изолацијата.

Критериумите за оценка зависат од типот на изолацијата (состав и термичка класа) и се даваат или во фабрички норми, или во експлоатациони препораки.

Мерењето на $\operatorname{tg} \delta$ по напонски степени од 0,2 U_n може да се илустрира со дијаграм (сл. 7.18).



Сл. 7.18. Мерење на $\operatorname{tg} \delta$ кај изолациониот систем на ротациона машина зависно од напонот

Од интерес за проценка на состојбата на изолацијата се вредностите за $\operatorname{tg} \delta_{0,2}$, а ова е вредноста за $\operatorname{tg} \delta$ при 0,2 U_n , како и вредностите $(\operatorname{tg} \delta_{0,6} \pm \operatorname{tg} \delta_{0,2})/2$ и $(\operatorname{tg} \delta_{1,0} - \operatorname{tg} \delta_{0,6})/2$, а исто така и $\Delta \operatorname{tg} \delta_{\max}$ како максимален прираст во овие интервали.

Еве некои критериуми. Според препораките во нашата земја за нова изолација, која била во погон само до 1000 часа, треба да биде:

U_n (kV)	$\operatorname{tg} \delta_{0,2}$	$\Delta \operatorname{tg} \delta_{0,2}$ при (0,2 – 0,6) U_n	$\Delta \operatorname{tg} \delta_{0,2}$ при (0,6 – 1,0) U_n
< 17	$40 \cdot 10^{-3}$	$< 6 \cdot 10^{-3}$	$< 8 \cdot 10^{-3}$

Потребниот износ на отпорот на изолацијата за машина која била во погон може приближно да се одреди од равенката:

$$R_{iz} = \frac{k U_n}{1000 + 0,01 S_n} \text{ (M}\Omega\text{)},$$

каде што R_{iz} е отпорот на изолацијата по 60 секунди при температури од 20 до 40 $^{\circ}\text{C}$, моќноста S_n се заменува во kVA, напонот во волти, а коефициентот $k = 10$ до 20, при што поголемата вредност се зема за машини со поголема моќност или поголем номинален напон (на пр. $S_n > 150$ MVA и (или) $U_n > 20$ kV). На пример, за случајот на нашите хидроцентрали би добиле $U_n = 10,5$ kV, $S_n = 25000$ kVA значи $k = 10$, па според формулата $R_{iz} = 84$ M Ω . Или, уште поедноставно, отпорот треба да биде поголем од 6 M Ω по фаза и киловолт при овие температури и другите услови.

За нови генератори за коефициентот k во горната равенка се усвојува вредноста 85.
Испитување на изолацијата

Ако горните вредности за отпорот не се задоволени, потребно е пред пуштање во погон да се спроведе сушење на изолацијата на генераторот, на пример со работа во празен од при куса врска и слаба побуда или на некој друг начин, додека не се постигнат горните вредности.

Сведувањето на вредноста на измерениот отпор на температура од 20 °C се врши со множење со факторот k_r според долната табела. Со θ е означена температурата на намотките при која се мери, а $\theta_0 = 20$ °C. При поголеми температури при мерењето од 20 °C, измерениот отпор е помал, па за сведување на 20 °C, измерената вредност треба да се множи со факторот k_r . Ако при мерењето температурата е помала од 20 °C, за сведување на 20 °C измерената вредност треба да се дели со факторот k_r .

Табела за сведување на измерените вредности
на отпорот на изолацијата

$\theta - \theta_0$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
k_r	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6	3,1	3,9	4,6	5,6	6,8	8,5	10

Измерената вредност за $\tan \delta$ не може исправно да се сведе на друга температура, бидејќи во вредноста на $\tan \delta$ при напони над 4 kV во механизмот на загубите доминантно место имаат парцијалните празнења, а загубите од нив не подлежат на експоненцијална зависност од температурата која е вообичаена за загуби каде доминира проводливоста низ изолацијата. Затоа, вредноста за $\tan \delta$ треба да се мери колку што е можно при исти температури, на пример блиски до 20 °C.

Обично се смета дека отпорот на изолацијата R_{60} е задоволителен, ако при 75 °C се добие 1 MΩ/kV номинален напон, а односот R_{60}/R_{15} (коефициентот на апсорпција) биде поголем од 1,3 при температури од 15 – 30 °C. Односот R_{60}/R_{15} за сува изолација од класата В обично, е поголем од 2,5. Секако, дека како критериум вреди и споредбата со претходните или фабричките податоци за сите овие величини.

Исто така во последно време сè почесто се следи и интензитетот на парцијалните празнења при номинален фазен напон. Зголемениот интензитет на парцијалните празнења укажува на раслојување и појава на шуплини под дејство на термичките и механичките напрегања.

Како што нагласивме и погоре, сигурен начин за контрола на изолацијата на вртливите машини кои се во погон е испитување со зголемен наизменичен напон со индустриска фреквенција. Но ова е деструктивен метод. Испитниот напон, притоа, е во границите $(1,5 - 1,7)U_n$.

Друг начин на профилатичко испитување е испитувањето со висок еднонасочен напон. И на овој начин можат да се откријат слабите места во изолацијата. Истовремено со испитувањето, се врши и мерење на зависноста на струјата на одведување од испитниот напон. На пробивот на изолацијата, обично, му претходи нагло прекршување на ова зависност, односно високи апсолутни износи на оваа струја. Испитните еднонасочни напони, бидејќи не се многу деструктивни за изолацијата, како што беше речено погоре, се усвојуваат повисоки од номиналниот напон $(2 - 3 U_n)$, при што U_n е номиналниот линиски напон во ефективна вредност.

Сите напонски испитувања кај вртливите машини се вршат пофазно, т.е. напонот се приложува на една од фазите, а другите две се сврзани со железниот пакет кој е заземјен.