

Iraida Kolcunová, Lukáš Lisoň Román Cimbala

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Vplyv teploty na zmenu vlastností izolačných olejov

Abstrakt. Tento článok sa zaoberá problematikou tepelného starnutia izolačných kvapalín. Poukazuje na nepriaznivé pôsobenie teploty, ktorá zhoršuje ich izolačné vlastnosti. Príspevok je zameraný na meranie frekvenčných závislostí kapacity, permitivity a stratového činiteľa a ich zmenu pri krátkodobom tepelnom prehrievaní. Merania budú uskutočnené na novej vzorke izolačného oleja a na vzorke odobratej s prevádzkovaného transformátora.

Abstract. This article deals with the thermal aging of insulating liquids. It refers to the adverse effect of temperature that reduces their insulating properties. The paper is aimed at measuring the frequency dependence of capacity, permittivity and loss factor and at changing the properties after a short thermal overheating. Measurements are performed on a new sample of insulating oil and the sample taken from operating transformer.

Kľúčové slová: kapacita, stratový činiteľ, tepelné namáhanie, izolačný olej

Keywords: capacity, dissipation factor, thermal stress, insulating oil

Úvod

Tepelná degradácia izolačných olejov je nežiaduci jav, pri ktorom sa výrazne zhoršujú izolačné vlastnosti oleja. Na Slovensku je v prevádzke stále veľký počet transformátorov používajúcich olej ako izolačný a chladiaci materiál a plošná výmena oleja v transformátoroch je neefektívna. Izolačný systém je neoddeliteľnou súčasťou každého elektroenergetického zariadenia a zároveň jeho najslabšou časťou. Pri návrhu strojov je potrebné venovať tejto oblasti obzvlášť veľkú pozornosť. Kvalitná a presná diagnostika nám ukáže, ktorý olej je vyhovujúci, a ktorý je nutné regenerovať.

Kvapalné izolanty

Kvapalné izolanty predstavujú jednu z najdôležitejších zložiek izolačného systému elektroenergetických zariadení. Táto zložka významne ovplyvňuje nielen funkčné vlastnosti, ale aj celkovú životnosť zariadenia. Hlavným dôvodom ich použitia je ich elektrická pevnosť, schopnosť chladenia, impregnačná schopnosť a schopnosť zhasňania oblúka. V kvapalinách nedochádza k trvalému prerazu podobne ako pri plynách. Po preskoku sa izolačný stav obnoví, ale so zhoršujúcimi sa izolačnými vlastnosťami. K druhom kvapalných izolantov patria minerálne oleje, estery a syntetické uhľovodíky, silikónové a fluorizované oleje, elektronegatívne kvapaliny a skvapalnené plyny. [1]

Hlavný dôvod využitia kvapalných izolantov v transformátoroch je pre ich:

- vysokú elektrickú pevnosť,
- nízky činiteľ dielektrických strát,
- chemickú a tepelnú stabilitu,
- schopnosť chladenia.

Tepelné starnutie izolačného oleja

Tepelné starnutie izolačného oleja je zapríčinené lokálnym prehriatím izolačného oleja, kedy molekulárny pohyb dosiahne takú intenzitu, že sa začnú uvoľňovať labilnejšie väzby medzi jednotlivými molekulami. Krátkodobé zvýšenie teploty väčšinou nevedie k zhoršeniu akosti a vlastností oleja, avšak v prípade že dôjde k intenzívnemu lokálnemu prehriatiu (napr. výkonný oblúk) z izolačného oleja sa vylúči jemný grafitický uhlík alebo koksový zvyšok a to zapríčini zhoršenie jeho izolačných vlastností. [2]

Pri tepelnom starnutí transformátorového oleja môžeme poukázať na pravidelnosti, ktoré sú pre daný typ rozpadu

charakteristické, čo sa využíva pri diagnostike. Môže sa takto zistiť stupeň zostarnutia ale aj druh poruchy, ktorá to zapríčinila. Tepelné starnutie oleja vedie k výskytu veľkého množstva plynov, ktoré sú výsledkom rôznych reakcií. Vznik plynov vedie k výskytu plynných bublínok v oleji, v ktorých sa začnú rozvíjať častkové výboje. [1]

Pri pôsobení častkových výbojov s nízkou hodnotou zdanlivého náboja, kedy je teplota oleja 80 °C až 120 °C, sa objavuje iba vodík, ktorý je produktom štiepania aromatických uhľovodíkov. V intervale 120 °C až 200 °C indikujeme vodík, metán a etán. Silné častkové výboje, ktoré sú charakteristické teplotami 200 °C až 500 °C zapríčiňujú vznik uhľovodíkov s jednoduchou alebo dvojitou väzbou. Pri teplotách nad 1000 °C dochádza k rozpadu všetkých viacatómových uhľovodíkov. Pre stanovenie rozkladových plynov vznikajúcich pri tepelnom štiepení sa používa metóda plynovej chromatografie [2]

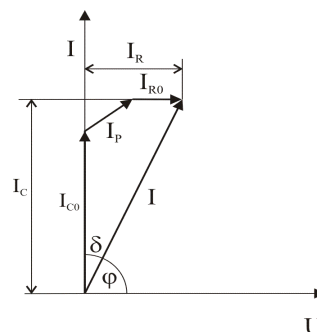
Meranie frekvenčnej charakteristiky činiteľa dielektrických strát.

Nakoľko izolačné materiály používané v elektroenergetických zariadeniach nie sú ideálne, prúd prechádzajúci dielektrikom obsahuje okrem jalovej zložky aj činnú zložku, ktorá je spôsobená vodivosťou a polarizáciou dielektrika.

Fázorový diagram reálneho kondenzátora s jedným polarizačným dejom je na Obr.1

kde:

- U - priložené striedavé napätie,
- I - prúd prechádzajúci dielektrikom
- lc - kapacitná zložka prúdu reálneho dielektrika
- lp - polarizačný prúd
- I_{RO} - vodivostný prúd
- I_R - činná zložka prúdu reálneho dielektrika

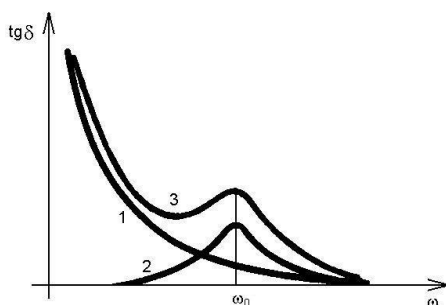


Obr. 1 Fázorový diagram reálneho dielektrika

Činiteľ dielektrických strát (alebo stratový činiteľ) $\text{tg}\delta$ je definovaný ako tangens uhla, o ktorý sa líši fázový posun prúdu reálneho dielektrika od fázového posunu prúdu ideálneho dielektrika. Hodnota činiteľa dielektrických strát súvisí s dielektrickými stratami a jeho hodnotu je možné považovať za merítko kvality izolačného systému. [2]

$$(1) \quad \text{tg}\delta = \frac{I_R}{I_C}$$

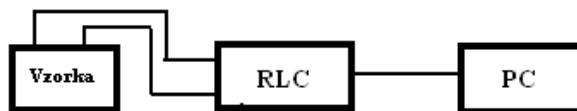
Hodnota činiteľa dielektrických strát izolačných materiálov je závislá od viacerých parametrov: od hodnoty priloženého napätia, teploty skúšaného materiálu a frekvencie skúšobného napätia. Frekvenčná závislosť stratového činiteľa je uvedená na Obr. 2. V oblasti nízkych frekvencií prevláda vodivostná zložka dielektrických strát, ktorá pri zvyšovaní frekvencií klesá (krivka 1). V prípade izolácie s jedným polarizačným dejom krivka polarizačných strát má svoje maximum (krivka 2). Závislosť $\text{tg}\delta = f(\omega)$ reálneho dielektrika predstavuje kombináciu prvých dvoch závislostí (krivka 3). V prípade zložitého dielektrika môže existovať niekoľko polarizačných dejov s rôznou dobou ustálenia, preto závislosť $\text{tg}\delta = f(\omega)$ môže mať niekoľko maxim. [2]

Obr. 2 Frekvenčná závislosť $\text{tg}\delta$ [2]

Meranie frekvenčných závislostí kvapalných dielektrík sa realizovalo pomocou digitálneho RLC mostíka (obr.3). Tento prístroj meria kapacitu a $\text{tg}\delta$ vo frekvenčnom pásme od 10 Hz po 2 MHz. Pri každej hodnote frekvencie sa urobí definovaný počet meraní. Schéma zapojenia meracej aparatury je uvedená na obr.4. Mostík je pomocou zbernice pripojený k počítaču, kde sa pomocou programu Agilent Vee Pro namerané hodnoty spracovávajú. Výstupom sú hodnoty kapacity a $\text{tg}\delta$ pre jednotlivé hodnoty frekvencie v danom frekvenčnom spektre.



Obr. 3 Digitálny RLC mostík Agilent 4980a[5]



Obr. 4 Schéma zapojenia

Namerané hodnoty kapacity môžu byť použité pre výpočet relatívnej permitivity skúmanej vzorky. Relatívna permitivita sa používa na vyjadrenie schopnosti materiálu hromadiť elektrický náboj. Hromadenie náboja je dôsledkom polarizácie materiálu t.j. pohybu viazaných elektrických nábojov v elektrickom poli. Permitivita sa zisťuje ako pomer kapacity meracieho kondenzátora, ktorého elektródový priestor je vyplnený meraným materiálom a kapacity toho istého kondenzátora bez vloženého materiálu, vo vákuu. Pri praktických meraniach možno meranie vo vákuu s dostatočnou presnosťou nahradiť meraním vo vzduchu, pretože relatívna permitivita vzduchu má pri normálnom atmosférickom tlaku hodnotu veľmi blízku jednotke (1,00053). [3]

Relatívna permitivita závisí od polarizačných procesoch prebiehajúcich v dielektriku, teploty skúmanej vzorky a frekvencie napájacieho napätia. V nepolárnych kvapalných izolantoch sa vyskytuje len elektrónová polarizácia. Polárne kvapalné izolanty majú elektrónovú a dipólovú polarizáciu. Relatívna permitivita je tým väčšia čím väčší je dipólový moment molekúl, a čím väčšia je ich rýchlosť v elektrickom poli. [4]

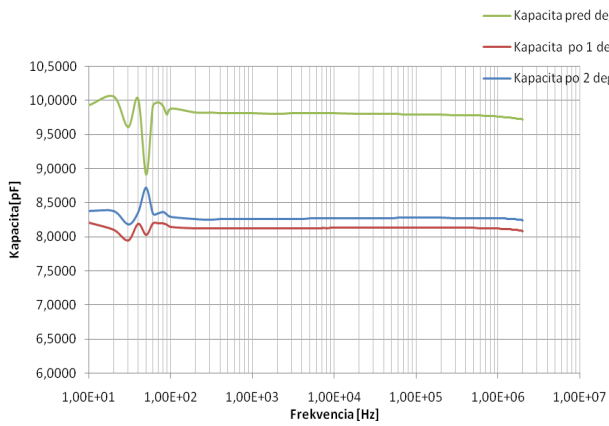
Merané vzorky a postup merania

Meranie kapacity a stratového činiteľa bolo realizované na transformátore neinhibovanom oleji Mogul Trafo D. Boli porovnané vzorky oleja ktorý bol niekoľko rokov používaný v transformátore rušňa, a vzorky nového nepoužívaného oleja. Na vzorkách sa odmerala kapacita a činiteľ dielektrických strát $\text{tg}\delta$ pred tepelných namáhaním a po tepelnom namáhaní, ktoré bolo vykonané v sušičke TS 400. Vzorky boli vystavené teplote 100 °C po dobu 24 hodín, následne na nich sa odmerala frekvenčná závislosť kapacity a stratového činiteľa. Po ukončení merania vzorky opäť boli umiestnené do sušičky a priebeh degradácie sa zopakoval pri teplote 100 °C počas 24 hodín. Na meranie sa použili nasledovné vzorky izolačného oleja:

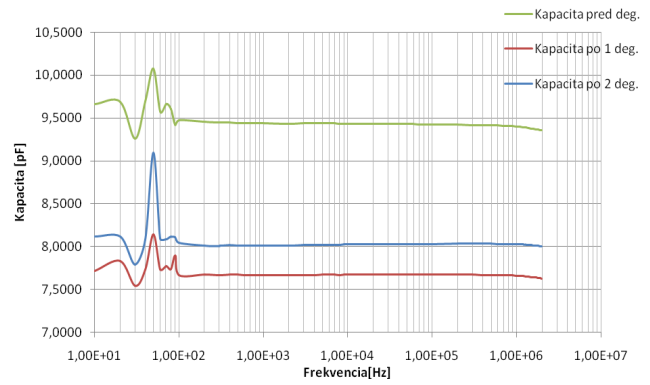
- vzorka č.1 - Mogul Trafo D - nový nepoužívaný olej,
- vzorka č.2 - Mogul Trafo D - používaný olej v transformátore rušňa po dobu 5 rokov.

Namerané výsledky a diskusia

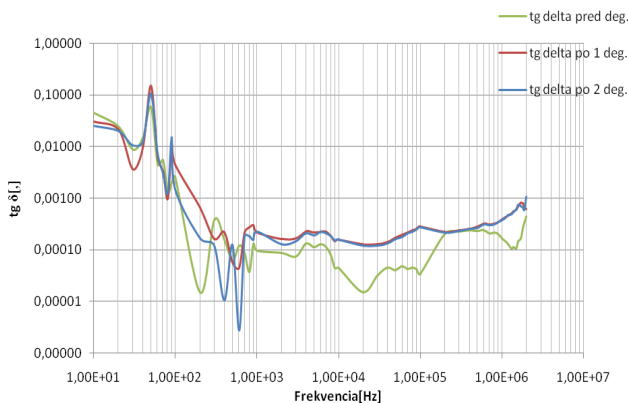
Na nižšie uvedených grafických závislostiach sú zobrazené závislosti kapacity, stratového činiteľa $\text{tg}\delta$ a permitivity ϵ_r v závislosti na frekvencii pri zmene frekvencií od 10 Hz do 2 MHz. Každá vzorka bola meraná pred tepelným namáhaním a po tepelnom namáhaní. Medzi jednotlivými vzorkami bola nádoba aj elektródový systém očistený aby sa dosiahli čo najvierohodnejšie výsledky. Na tento účel bol použitý prostriedok perchloretylén. Táto tepelná degradácia predstavovala krátkodobé prehriatie transformátora.



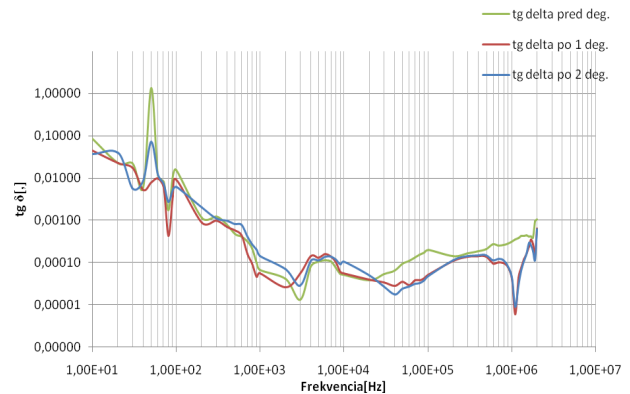
Obr. 5 Porovnanie kapacity vzorky č. 1 v závislosti od frekvencie



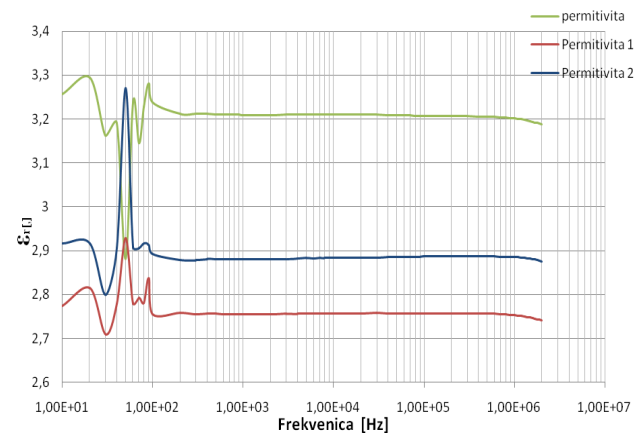
Obr. 8 Porovnanie kapacity vzorky č. 2 v závislosti od frekvencie



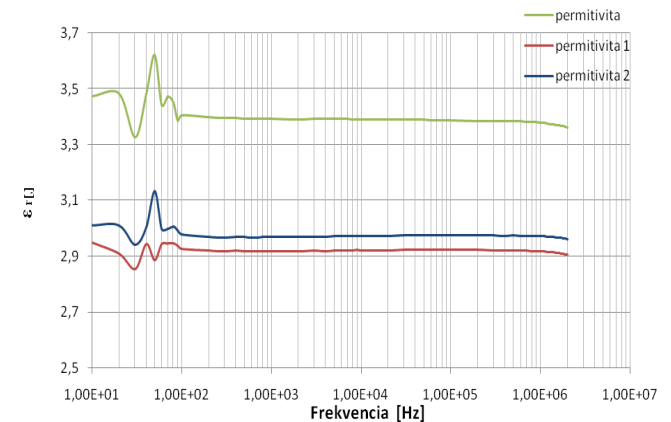
Obr. 6 Porovnanie stratového činiteľa vzorky č.1 v závislosti od frekvencie



Obr. 9 Porovnanie stratového činiteľa vzorky č.2 v závislosti od frekvencie



Obr. 7 Závislosť permitivity od frekvencie vzorky č. 1



Obr. 10 Závislosť permitivity od frekvencie vzorky č. 2

Stratový činiteľ je do veľkej miery závislý na frekvencii. Pri nízkych frekvenciách dipóly sledujú zmenu polarizácie elektrického poľa, pri vysokých frekvenciách dochádza k pružným zrážkam a časť energie sa mení na teplo.

Hodnota permitivity pred tepelným namáhaním vykazovala vyššie hodnoty čo bolo spôsobené prítomnosťou vlhkosti v izolačnom oleji. Prítomnosť vody v oleji zapríčiňuje zvýšenú polarizáciu, následkom čoho aj namerané hodnoty permitivity boli vyššie. Zo zvyšujúcim sa stupňom zostarnutia rastie aj permitivita

Stratový činiteľ mal podobný priebeh ako pri vzorke č. 1 a prebiehajú v ňom rovnaké procesy ako pri prvej vzorke. Z priebehu stratového činiteľa je vidieť že vzorka obsahovala relatívne veľké množstvo vody čím sa zvýšila vodivosť danej vzorky a charakteristika má klesajúci priebeh. Permitivita vzorky č.2 pred meraním dosiahla vyššie hodnoty čo bolo spôsobené vysokým obsahom vody a nečistôt. Rozdiel medzi hodnotami permitivity pred a po tepelnom namáhaní je väčší u vzorky oleja používaného v transformátore.

Záver

Cieľom skúšky bolo namodelovať krátkodobé tepelné preťaženie izolačného materiálu, ktoré sa v praxi veľmi často vyskytuje. Na základe nameraných hodnôt kapacity a stratového činiteľa a prepočítanej hodnoty permitivity je

možné poukázať na rozdiely ich frekvenčných závislostí pre vzorky nových olejov a olejov používaných v praxi. Taktiež príspevok poukazuje na negatívne pôsobenie teploty na izolačné vlastnosti kvapalných izolantov.



Literatúra

- [1] CIMBALA, R.: Starnutie vysokonapäťových izolačných systémov, Technická univerzita Košice ,2007.
- [2] KOLCUNOVÁ,I.: Diagnostiky v elektroenergetike, Prednášky pre 5.roč KEE, Košice,2011, Dostupné na internete: <http://web.tuke.sk/fei-kee/web/index.php?pg=diagnostika-v-elektroenergetike&hl=sk>
- [3] Meranie permitivity a stratového činiteľa : Dostupné internete : www.matnet.sav.sk
- [4] DEDINSKÁ, L – KOLCUNOVÁ,I: Elektrické vlastnosti prírodných esterov. Publikácie TUKE Starnutie elektroizolačných systémov , č 9 (2010) ISSN 1337-0103
- [5] Agilent meter, Dostupné na internete : http://www.usedline.com/MetersLCR/Agilent_HP_E4980A/gm_model_id465F075A573E

Táto práca bola podporovaná Agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky pre štrukturálne fondy EÚ na základe projektu Vývoj unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy (číslo projektu: 26220220029, prioritná os 2 Podpora výskumu a vývoja)“

Autori: Iraida Kolcunová Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: iraida.kolcunova@tuke.sk
 Lukáš Lisoň Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: lukas.lison@tuke.sk
 Roman Cimbala Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: roman.cimbala@tuke.sk