

Iraida Kolcunová

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

Vplyv tepelného namáhania na dielektrické vlastnosti izolačného systému olej-papier

Abstrakt. V článku je skúmaný vplyv tepelného namáhania na dielektrické vlastnosti izolačného systému olej-papier. Tento izolačný systém je zložený z papierovej izolácie značky Krempel s epoxidovou vrstvou a ako impregnant boli použité dva oleje z ktorých jeden je vyrábaný metódou „gas-liquid“ Shell Diala S4 ZX-I a druhý je bežne používaný inhibovaný transformátorový olej Mogul Trafo CZ-A. Pripravené vzorky boli vystavené tepelnému namáhaniu po dobu 1600 hodín pri teplote 110 °C.

Abstract. In this paper the effect of thermal stress on dielectric properties of the oil-paper insulation system is investigated. This insulating system is composed of Krempel epoxy-coated paper insulation and two oils are used as impregnating agent, one of which is produced by the gas-liquid method Shell Diala S4 ZX-I and the other is commonly used inhibited transformer oil Mogul Trafo CZ-A. The prepared samples were subjected to thermal stress for 1600 hours at 110 °C.

Kľúčové slová: tepelné namáhanie, dielektrické vlastnosti, činiteľ dielektrických strát, relatívna permitivita, Shell Diala S4 ZX-I, Mogul Trafo CZ-A

Keywords: thermal stress, dielectric properties, dielectric loss factor, relative permittivity, Shell Diala S4 ZX-I, Mogul Trafo CZ-A

Úvod

Izolačný systém olej-papier je najčastejšie používanou izolačnou sústavou. S jeho použitím sa stretávame najmä v elektroenergetike pri výkonových a distribučných transformátoroch, VN kábloch, kondenzátoroch a v ďalšom množstve elektroenergetických zariadení.

V dnešnej dobe sú na kvalitu izolácie kladené vysoké nároky z dôvodu zvyšovania spotreby elektrickej energie a so zreteľom do budúcnosti je potrebné skúmanie nových kombinácií pevných a kvapalných izolácií, ktoré si budú zachovávať dobré izolačné vlastnosti aj počas dlhodobého pôsobenia zvýšenej teploty alebo iných degradačných podnetov.

V prevádzke je izolačný systém olej-papier vystavovaný veľkému množstvu degradačných pôsobení, ktoré časom spôsobujú zlyhanie izolačnej schopnosti izolácie čo vedie k odstaveniu elektrického zariadenia. Vplyv faktorov ako sú teplota, vlhkosť a mnoho ďalších spôsobuje zrýchlenú degradáciu. Postup degradácie odzrkadľujú dielektrické veličiny a ich zmeny. Sledovaním týchto dielektrických vlastností izolačnej sústavy je možné odhaliť zmeny, ktoré by mohli viesť k zlyhaniu izolačnej sústavy.

Cieľom článku je priblíženie priebehov zmien dielektrických veličín oboch olejových impregnantov a papierovej izolácie počas tepelného namáhania.

Izolačný systém olej-papier

Izolačný systém olej-papier je využívaný najmä v elektroenergetike pri použití vo VN a VVN zariadeniach. Systém sa skladá z dvoch častí pričom jedna predstavuje pevnú zložku a druhá časť predstavuje kvapalnú zložku. Pevná zložka okrem izolačnej má mechanickú funkciu. Kvapalná zložka má funkciu izolačnú a zároveň chladiacu. Dôvod spojenia týchto izolačných materiálov je vzájomné prekrytie nedostatkov. Veľký nedostatok papierovej izolácie je jej elektrická pevnosť. Impregnovaním papiera izolačným olejom sa dosiahne vyplnenie vzduchových medzier v papieri olejom, čím sa zvýši elektrická prierezna pevnosť teraz už kombinovanej izolácie olej-papier. Slabinou tejto kombinácie izolačných materiálov je ich vlastnosť pohlcovať vlhkosť čo má za následok zhoršenie elektroizolačných vlastností. Prítomnosť vlhkosti (vody) v celulóze, ktorá tvorí papierovú izoláciu v spojení s vysokou teplotou spôsobuje

depolymerizáciu celulózy čo je rozpad a skrátenie dĺžky reťazcov molekúl celulózy. Táto depolymerizácia spôsobí zníženie mechanickej pevnosti papierovej izolácie a zároveň podporuje tvorbu kalov, ktoré pôsobia negatívne na prevádzku zariadenia [1].

Vlhkosť, ktorá je obsiahnutá v papierovej izolácii dokáže pri pôsobení zvýšenej teploty migrovať a dostať sa do izolačného oleja. Takto navlhnutý izolačný olej vykazuje zníženie hodnôt preskokových napätí, čo z celkového hľadiska znamená zhoršenie elektroizolačných vlastností izolačného systému olej-papier [2].

Tepelné a oxidačné starnutie izolačného systému olej-papier

Medzi hlavné zdroje starnutia izolácie v elektrických zariadeniach patrí vplyv teploty a kyslíka. Ale najväčší vplyv na starnutie má teplota. Pôsobenie zvýšenej teploty spôsobuje chemické a fyzikálne zmeny oboch zložiek izolačného systému olej-papier. Tieto zmeny prebiehajú pri každej teplote, ale pri zvýšenej teplote sa ich pôsobenie urýchli [3].

Počas tepelného namáhania dochádza k najväčším zmenám v papierovej izolácii, čo vedie k depolymerizácii a strate mechanickej pevnosti. Takýto degradačný proces je už ireverzibilný. Pri tepelnom namáhaní izolačného oleja dochádza k rozvíjaniu niekoľkých degradačných procesov, ktoré vedú k zhoršeniu jeho elektroizolačných vlastností. Pôsobením zvýšenej teploty na izolačný olej vznikajú rôzne plyny, ktoré sú v oleji uväznené v podobe bublín. Tieto bubliny sú naplnené plynom, ktorého prierazné napätie je oveľa nižšie ako okolitého oleja a z tohto dôvodu sú tieto bubliny ohniskom rozvíjania výbojovej činnosti [4].

Kyslík a vlhkosť prítomné v transformátore preukázateľne spôsobujú predčasnú degradáciu izolačného systému olej-papier, čo vedie k takzvanému oxidačnému starnutiu, ktoré má za následok zvýšenie kyslosti oleja a zhoršenie dielektrických vlastností papiera. Vedľajšie produkty oxidácie a hydrolyzy môžu byť rozpustné v oleji alebo sa usádzajú na dne nádoby v podobe pevných častíc a tým prispievajú k olejovej sedimentácii. Tieto rozpustné produkty je možné detekovať pomocou merania frekvenčnej spektroskopie, kyslosti oleja, činiteľa dielektrických strát, medzipovrchového napätia. Podobné, ale nerozpustné

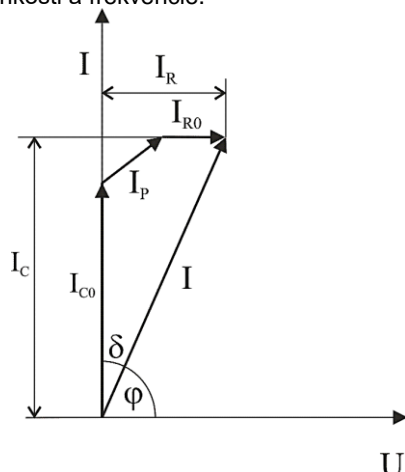
produkty sa dajú detekovať pomocou vyhodnocovania na základe zákalu, farebnej škály a obsahu častíc. Oxidácia a hydrolýza izolačného oleja spôsobuje tvorbu kyselín s rôznymi molekulovými hmotnosťami [5].

Činiteľ dielektrických strát

Meranie dielektrických veličín bolo vykonané pomocou striedavých meracích metód. Použitie striedavého napätia je dôležité kvôli správaniu sa dielektrika ako kondenzátora. Merané dielektrikum sa dá zameniť modelom kondenzátora, kde jedna elektróda predstavuje vysokonapäťovú časť a druhá elektróda nízkonapäťovú časť (uzemnenie). Pôsobením napätia začne týmto dielektrikom pretekať prúd. V prípade dokonalého dielektrika by tento prúd bol len kapacitného charakteru, ktorý predbieha priložené napätie o 90° . Pri čisto kapacitnom prúde nevznikajú žiadne dielektrické straty, a tým je činiteľ dielektrických strát nulový. Činiteľ dielektrických strát $\text{tg } \delta$ je definovaný uhlom δ , ktorý zvierá skutočný vektor prúdu pretekajúceho reálnym dielektrikom s vektorom prúdu pretekajúceho cez dokonalé dielektrikum a dá sa vyjadriť vzťahom (1) kde I_R je činná zložka prúdu a I_C je jalová zložka prúdu.

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

Veľkosť činiteľa dielektrických strát súvisí so stratami, ktoré vznikajú v dielektriku a podľa neho sa určuje kvalitatívny stupeň izolácie a zároveň je závislý na zmene teploty, napätia, vlhkosti a frekvencie.



Obr. 1 Fázorový diagram reálneho dielektrika [4]

kde: U - priložené striedavé napätie, I - skutočný prúd pretekajúci dielektrikom, I_C - kapacitný prúd reálneho dielektrika, I_R - činná zložka prúdu reálneho dielektrika, I_{R0} - vodivostný prúd, I_P - polarizačný prúd

V ideálnom prípade po priložení striedavého napätia k dielektriku, by dielektrikom tiekol len prúd s jalovou zložkou. Ale z dôvodu nedokonalosti dielektrika vznikajú dielektrické straty, ktoré vnášajú do prúdu aj činnú zložku prúdu, a tým sa uhol medzi vektorom skutočného prúdu a prúdom ideálneho dielektrika zväčšuje, čím stúpa stratový činiteľ $\text{tg } \delta$ (pozri Obr. 1).

Relatívna permitivita

Ďalšou meranou dielektrickou veličinou je relatívna permitivita ϵ_r . Táto veličina vyjadruje pomer podľa vzťahu (2) medzi kapacitou medzi-elektrodového priestoru, ktorý je vyplnený daným dielektrikom C_x a kapacitou medzi-elektrodového priestoru, ktorý je vyplnený vákuom C_0 .

$$(2) \quad \epsilon_r = \frac{C_x}{C_0}$$

Relatívna permitivita predstavuje násobok, ktorý vyjadruje o koľko krát je sila pôsobiaca na náboj menšia v danom dielektriku ako vo vákuu.

Hodnota relatívnej permitivity napomáha k určeniu stupňa oxidačného starnutia. Vyjadruje zmeny z pohľadu polarizácie molekúl. Jej hodnota klesá so stúpajúcou teplotou a tiež klesá s narastajúcou dobou tepelného namáhania. Veľkosť relatívnej permitivity je tým väčšia čím je väčší pohyb molekúl v elektrickom poli.

Príprava vzoriek

Pre meranie bol vybraný elektroizolačný papier značky Krempel, ktorý je pokrytý reaktívnou vrstvou epoxidovej živice. Vzorky papiera boli veľkostne upravené na kompaktný rozmer kvôli veľkosti meracej nádoby na rozmery 5 x 5 cm. Papier bol pred impregnáciou sušený pomocou teplovzdušnej sušičky po dobu 22 hodín pri teplote 70°C . Impregnácia je vykonávaná zaliatím nastrihaného papiera tak, aby bol celý zaliaty izolačnou kvapalinou. Papierové vzorky boli zaliaté novým olejom Shell Diala S4 ZX-I a olejom Mogul Trafo CZ-A. Cieľom impregnácie je čo najdokonalejšie vyplnenie vzduchových medzier papiera olejom, preto je potrebné obmedziť počet vzduchových bublín v oleji, ktoré proces impregnácie značne znemožňujú. Pred prvým meraním boli vzorky impregnované prirodzenou cestou po dobu 170 hodín. Cieľom celého merania je zistenie vplyvu tepelného namáhania na dielektrické vlastnosti izolačného systému olej-papier. Tepelné namáhanie pôsobilo na testované vzorky po dobu 1600 hodín pri teplote 110°C .

Súbor diagnostických metód, ktorý bol použitý v sebe zahŕňa postupy, pomocou ktorých sa získavajú dielektrické vlastnosti izolačného systému a z tohto dôvodu boli vykonané tieto merania:

- meranie činiteľa dielektrických strát, oleja a papiera v závislosti od napätia, teploty a doby starnutia,
- meranie kapacity vzoriek s pomocou ktorej bola určená relatívna permitivita vzoriek v závislosti od napätia, teploty a doby starnutia.

Meranie činiteľa dielektrických strát a relatívnej permitivity

Meranie činiteľa dielektrických strát a meranie kapacity vzoriek oleja v závislosti od napätia a od teploty bolo merané pomocou meracieho prístroja značky TETTEX AG, ktorý je uvedený na Obr. 2(a). Tento merací prístroj je automatický Scheringhov mostík.



(a)

(b)

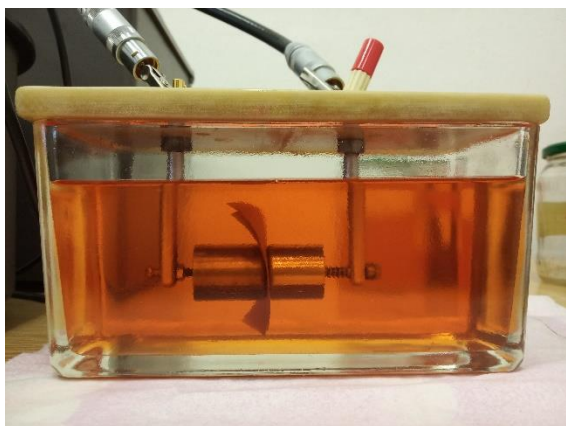
Obr. 2 Scheringhov automatický mostík s príslušenstvom (a), elektrodový systém (b)

Pred samotným meraním bolo potrebné dôkladné umytie a odmastenie elektrodového systému. Do elektrodového systému prístroja (pozri Obr. 2(b)) sa opatrne nalieva olej po stenách v objeme 40 ml, aby sa zabránilo vzniku bubliniek. Po každom naliatí meranej vzorky oleja

bolo nutné počkať minimálne 5 minút kvôli ustáleniu vzorky oleja. Priložené striedavé napätie sa zvyšovalo v rozsahu od 0,1kV až 2kV s krokom nárastu napätia 0,1kV. Pri každom zvýšení napätia bolo potrebné odčítať z displeja prístroja hodnotu činiteľa dielektrických strát $\text{tg } \delta$ (-) a hodnotu kapacity vzorky C_x (pF).

V prípade merania teplotnej závislosti oleja boli merania vykonávané pri teplotách 20 °C, 40 °C, 60 °C a 80 °C.

Meranie činiteľa dielektrických strát a kapacity vzorky impregnovaného papiera bolo potrebné použiť iný merací elektródový systém a iný postup pre výpočet relatívnej permitivity meranej vzorky. V takomto prípade bolo potrebné použiť elektródový systém, ktorý je na Obr. 3. Tento elektródový systém bol pripojený k meraciemu zariadeniu TETTEX AG z Obr. 2(a).



Obr. 3 Elektródový systém pre meranie dielektrických veličín impregnovaného papiera

Počas merania dielektrických veličín papiera impregnovaného vzorkami oleja bola zvolená vrstva 4 papierikov, ktoré predstavovali vzdialenosť elektród 0,3mm. Bolo potrebné zistenie kapacity medzi-elektrodového priestoru, ktorý je vyplnený vzduchom čo bolo obťažnejšie ako v prípade originálneho elektródového systému kde túto hodnotu bolo možné odmerať priamo prístrojom. Túto hodnotu kapacity C_0 je možné zistiť len pomocou výpočtu. Výpočet bol založený na vzťahu (3) pre výpočet kapacity doskového kondenzátora. Pretože elektródový systém z Obr. 3 má dve oválne elektródy s vonkajším priemerom 25mm.

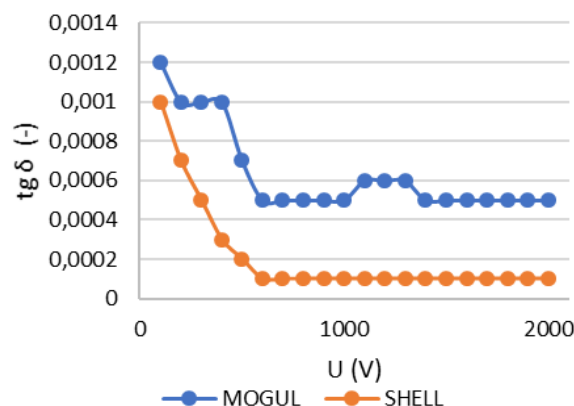
$$(3) \quad C_0 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

Skúmané vzorky boli podrobené tepelnému namáhaniu po dobu 1600 hodín. Počas tejto doby boli niekoľko krát vykonané merania činiteľa dielektrických strát a relatívnej permitivity olejových vzoriek a vzoriek kombinovanej izolácie olej-papier.

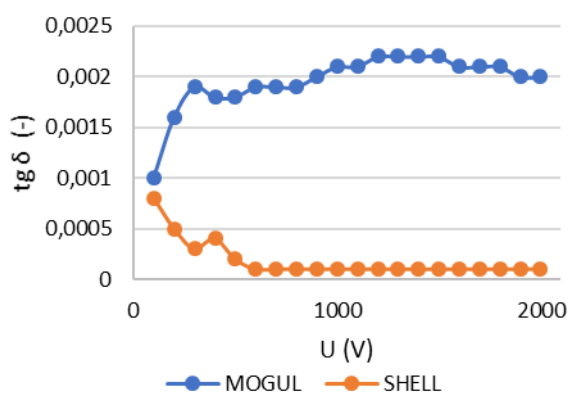
Výsledky merania dielektrických vlastností kombinovanej izolácie olej-papier

Na Obr. 4 a Obr. 5 sú uvedené priebehy činiteľa dielektrických strát olejovej izolácii v závislosti na napätí pri teplote vzoriek 80°C. Výsledky merania nových vzoriek sú na Obr.4 a po 1600 hodinovom namáhaní – na Obr. 5. Priebeh $\text{tg } \delta$ oleja Shell Diala je takmer identický v oboch prípadoch. Pri napätí $U = 2$ kV hodnota $\text{tg } \delta$ v prípade novej vzorky je $\text{tg } \delta = 0,0001$. Po 1600 hodinovom tepelnom starnutí hodnota $\text{tg } \delta$ pri napätí $U = 2$ kV je nezmenená a činí $\text{tg } \delta = 0,0001$. V prípade napätovej závislosti $\text{tg } \delta$ pre olej Mogul je možné vidieť zhoršenie dielektrických vlastností. Na začiatku starnutia bol pri napätí $U = 2$ kV $\text{tg } \delta$

= 0,0005. Ale po pôsobení tepelného namáhania po dobu 1600 hodín došlo k zhoršeniu dielektrických vlastností, čo sa prejavilo zvýšením hodnoty $\text{tg } \delta$ na hodnotu $\text{tg } \delta = 0,0020$ pri napätí $U = 2$ kV, čo činí 4 krát väčšiu hodnotu v porovnaní s novou vzorkou.

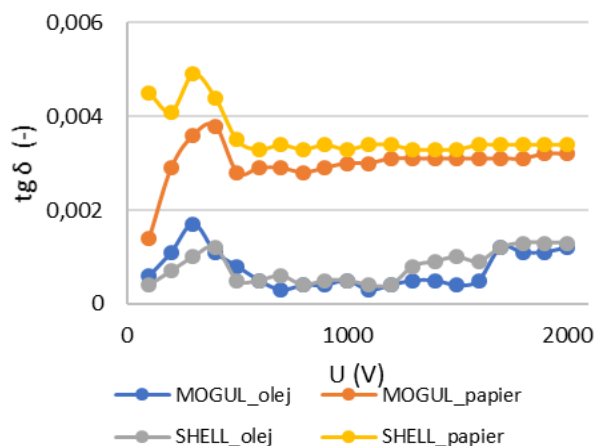


Obr. 4 Priebeh $\text{tg } \delta$ v závislosti na napätí pri teplote 80°C nových vzoriek oleja Mogul a Shell Diala

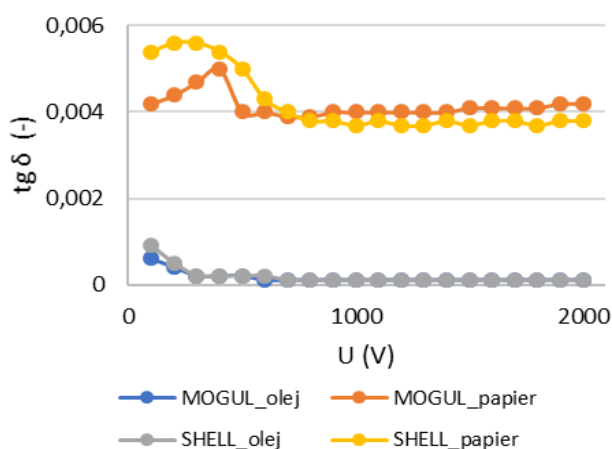


Obr. 5 Priebeh $\text{tg } \delta$ v závislosti na napätí pri teplote 80°C vzoriek oleja Mogul a Shell Diala po tepelnom starnutí po dobu 1600 hodín

Na Obr. 6 a Obr. 7 sú uvedené priebehy činiteľa dielektrických strát v prípade merania dielektrických vlastností impregnovaného papiera. Porovnanie je vykonané na prípadoch zo začiatku (0 hodín) a z konca (1600 hodín) tepelného starnutia izolačného systému olej-papier. Tento nárast a pokles sa pripisuje uvoľňovaniu vzduchových bublín z priestoru medzi jednotlivými vrstvami papiera. Z týchto priebehov je taktiež vidieť, že vplyvom tepelného starnutia došlo v oboch prípadoch impregnovaného papiera k zvýšeniu hodnôt činiteľa dielektrických strát. V prípade oleja Mogul došlo k väčšiemu zvýšeniu činiteľa dielektrických strát z hodnoty $\text{tg } \delta = 0,0032$ pri napätí $U = 2$ kV a dobe starnutia $T = 0$ hodín, na hodnotu $\text{tg } \delta = 0,0042$ pri napätí $U = 2$ kV a dobe starnutia $T = 1600$ hodín. V prípade oleja Shell došlo k menším zmenám pri napätí $U = 2$ kV z hodnoty $\text{tg } \delta = 0,0034$ pri $T = 0$ hodinách starnutia na hodnotu $\text{tg } \delta = 0,0038$ pri dobe starnutia $T = 1600$ hodín.

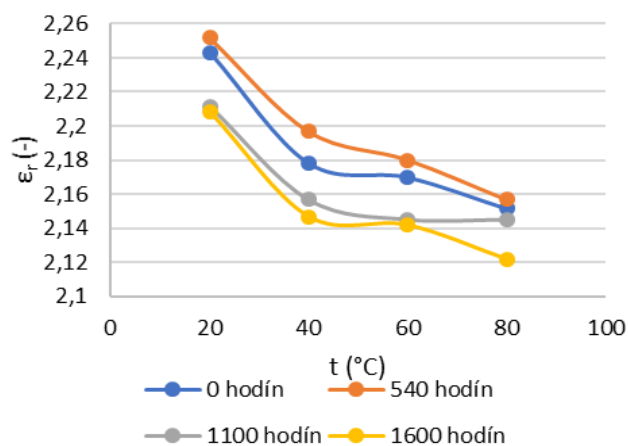


Obr. 6 Porovnanie priebehov tg δ oleja a impregnovaného papiera v závislosti na napätí pri teplote 20 °C v dobe starnutia 0 hodín

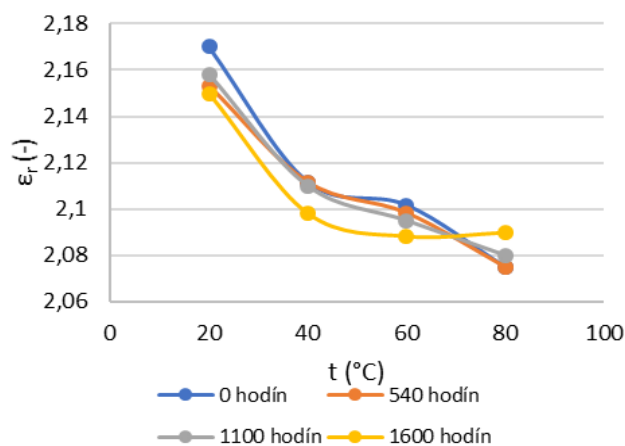


Obr. 7 Porovnanie priebehov tg δ oleja a impregnovaného papiera v závislosti na napätí pri teplote 20 °C v dobe starnutia 1600 hodín

Grafické závislosti na Obr. 8 a Obr. 9 predstavujú priebehy relatívnej permitivity oboch vzoriek oleja v závislosti od teploty vo viacerých dobách tepelného starnutia. Z posúdenia týchto priebehov podľa veľkosti hodnoty relatívnej permitivity má vzorka oleja Mogul vyššie hodnoty permitivity pri každej teplote a pri každej dobe starnutia. V prípade oleja Mogul sú poklesy hodnôt permitivity v závislosti na dobe starnutia väčšie ako v prípade oleja Shell. Pre olej Shell sú hodnoty permitivity aj naprieč dobou starnutia takmer stále rovnaké a menia sa len veľmi málo. Priebehy relatívnej permitivity v prípade oboch vzoriek spĺňajú predpokladaný model. Tento model predpokladá pokles permitivity so zvyšovaním teploty a pokles hodnôt permitivity so stúpajúcim tepelným starnutím.



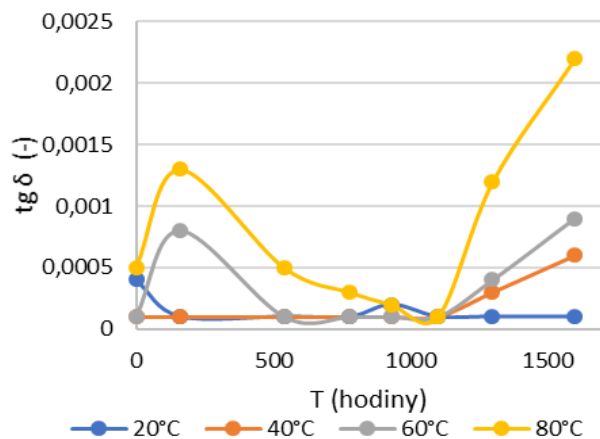
Obr. 8 Porovnanie priebehov εr rôznych dôb starnutia oleja Mogul v závislosti na teplote pri napätí U = 1,5 kV



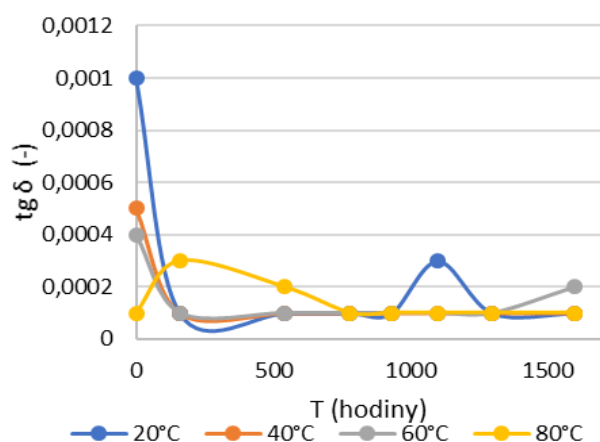
Obr. 9 Porovnanie priebehov εr rôznych dôb starnutia oleja Shell v závislosti na teplote pri napätí U = 1,5 kV

Grafické závislosti na Obr. 10 a Obr. 11 predstavujú priebehy činiteľa dielektrických strát pri rôznych teplotách v závislosti na dobe starnutia. Na Obr. 10 sú priebehy oleja Mogul Trafo CZ-A kde dochádza k nárastu hodnôt činiteľa dielektrických strát po dobu tepelného starnutia 180 hodín. Tento nárast, ktorý sa prejavuje len pri zvýšenej teplote, a to pri 60 °C a 80 °C predstavuje presun vlhkosti, ktorá je v papieri do oleja. Následný pokles závislosti tg δ hovorí o postupnom vysušovaní izolačného systému z dôvodu tepelného namáhania. Po 1100 hodinovom tepelnom starnutí nastáva skoro lineárny nárast činiteľa dielektrických strát pri teplotách 40 °C, 60 °C a 80 °C. Od tohto bodu vzorka oleja Mogul prestala vykazovať dobré dielektrické vlastnosti aj pri zvýšenej teplote vzorky.

Obr. 11 zobrazuje priebehy činiteľa dielektrických strát vzorky oleja Shell. Tieto priebehy sú okrem prvotných zvýšených hodnôt takmer stále nemenné aj v prípade zvýšenej teploty vzorky. Zvýšené hodnoty na začiatku tepelného starnutia sú spôsobené prvotnou zvýšenou hodnotou vlhkosti vzorky oleja. Táto vlhkosť sa v priebehu ďalšieho tepelného namáhania odstraňuje a to spôsobuje vylepšenie dielektrických vlastností. Vzorka oleja Shell znovu preukázala stálosť dielektrických vlastností aj po 1600 hodinách tepelného namáhania.



Obr. 10 Porovnanie priebehov tg δ v závislosti na dobe starnutia oleja Mogul pri rôznych teplotách



Obr. 11 Porovnanie priebehov tg δ v závislosti na dobe starnutia oleja Shell pri rôznych teplotách

Záver

Hlavným cieľom tohto experimentu bolo získanie priebehov zmeny dielektrických vlastností kombinovanej izolácie olej-papier počas tepelného namáhania. Tepelné namáhanie prebiehalo po dobu 1600 hodín pri teplote 110°C. Takémuto namáhaniu boli vystavené merané vzorky izolačného papiera impregnovaného bežným inhibovaným olejom Mogul CZ-A a novým olejom Shell Diala S4 ZX-I. Na základe nameraných hodnôt a zostrojených priebehov je možné predložiť tvrdenie, že nový olej Shell Diala S4 ZX-I vynikajúco zvláda dlhodobé tepelné namáhanie o čom hovoria namerané hodnoty dielektrických veličín a to z neho robí vhodný izolačný olej pre použitie v elektroenergetike.

Podakovanie



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu "Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

Práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou v rámci projektu VEGA 2/0141/16 a 1/0340/18.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438 a APVV-17-0372.

Literatúra

- [1] Martins, M. A.: Vegetable Oils, an Alternative to Mineral Oil for Power Transformers – Experimental Study of Paper Aging in Vegetable Oil Versus Mineral Oil, November/December – Vol.26, No 6, 0883-7554/07/\$25/©2010/IEEE, ISSN 0883-7557, str. 7-14
- [2] MUNAJAD, A., SUBROTO, C., SUWARNO, H.: Study on the effects of thermal aging on insulating paper for high voltage transformer composite with natural ester from palm oil using Fourier transform , infrared spectroscopy (FTIR) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) [online]. Bandung, Indonesia 2017. Dostupné na internete: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/11/1857/pdf>
- [3] Carcedo, J., Fernandez, I., Ortiz, A., Delgado, F., Renedo, C.J. and Arroyo, A.: Quantitative Study on the Aging of Kraft Paper in Vegetable Oils, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.32, No 6, 0883-7554/16/©2016/IEEE, ISSN 0883-7554, str. 29-34
- [4] KOLCUNOVÁ, I., FEI TUKE, Diagnostika v elektroenergetike: Diagnostika izolačných olejov [online]. Dostupné na internete: <https://moodle.tuke.sk/moodle31/enrol/index.php?id=68>
- [5] SAFIDDINE, L., ZAFOUR, H. Z., RAO, M. U., FOFANA, I.: Regeneration of transformer insulation fluids using membrane separation technology [online]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/330598891_Regeneration_of_Transformer_Insulating_Fluids_Using_Membrane_Separation_Technology

Autori: Irida Kolcunová, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: irida.kolcunova@tuke.sk