

Jakub Rajnič, Juraj Kurimský, Iraida Kolcunová, Roman Cimbala

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

Počiatočné, zhášacie a prierazné napätia v izolácii olej-papier počas tepelného starnutia

Abstrakt. Článok je zameraný na meranie čiastočných výbojov v kvapalnom dielektriku, na vzorkách olejom impregnovaného transformátorového papiera. Ako vzorky transformátorového papiera boli použité dva typy vzoriek, ktoré sa líšili v počte aplikovaných vrstiev a vo veľkosti umelo vytvorenej dutinky. Ako kvapalné dielektrikum a taktiež ako impregnačná látka bol použitý transformátorový olej, ktorý bol vystavený tepelnému starnutiu počas doby 430 h, a 1175 h.

Kľúčové slová: kvapalné dielektrikum, transformátorový papier, transformátorový olej, tepelné starnutie.

Abstract. The paper deals with measuring of partial discharge activity in liquid dielectric on samples of oil impregnated transformer paper. In this experiment are used two types of samples of transformer paper which were different in number of applied layers and the cavity size. Transformer oil was used as liquid dielectric and impregnating material, too. It was aged thermally for 430 h and 1175 h, respectively. (**Inception, extinguish and breakdown voltages in oil-paper insulation during thermal aging test**)

Keywords: liquid dielectric, transformer paper, transformer oil, thermal aging.

1. Úvod

Kvapalné dielektriká, vďaka svojim elektro-izolačným a tepelným vlastnostiam, sú v súčasnosti viac využívané ako dielektriká iných skupenstiev, najmä pri transformácii rôznych hladín napätia. Ďalej sú používané ako impregnačná látka v kábloch vysokého napätia, a kondenzátoroch. V prístrojových transformátoroch sa transformátorový olej vyskytuje ako najpoužívanejšie kvapalný izolant.

S vývojom výkonových transformátorov musel prejsť vývojom aj izolačný systém. Trvalo to však niekoľko desaťročí, než sa kombinácia papier-olej stala spoľahlivým a pre prevádzku prijateľným riešením. Spočiatku bol papier ako izolant využívaný prevažne len v kondenzátoroch a kábloch, no neskôr začal byť využívaný aj v transformátoroch. Na prelome 19. a 20. storočia sa začala využívať kombinovaná izolácia, a to konkrétne papier impregnovaný živicom. Približne v roku 1930 sa začala používať v transformátoroch kombinácia papiera a oleja, čo následne viedlo k vyradeniu živice z používania v kombinovanom izolačnom systéme. Už o desaťročie táto kombinácia bola tak vylepšená, že sa začala využívať ako izolačný systém už aj vo vysokonapäťových transformátoroch. Okolo roku 1950 sa začali rozvíjať ďalšie syntetické dielektrické materiály, ktoré sa kombinujú so celulózou ešte aj v súčasnosti [1][2].

Aj vďaka využívaniu nových a kvalitnejších materiálov sa v kombinovaných izolačných systémoch nepodarilo úplne zamedziť vzniku čiastočných výbojov. Najvyšším štádiom nekontrolovanej deštruktívnej činnosti čiastočného výboja je totálne poškodenie izolačného systému a havária celého zariadenia. Preto sa v súčasnej dobe kladie vysoký dôraz na kontroly a skúšky elektrických zariadení, ktorých hlavnou úlohou je objaviť čiastočný výboj, zistiť veľkosť výboja a lokalizovať zdroj vzniku, čo sa hlavne u konštrukčne zložitejších strojov považuje za značne zložité [3][4].

Problematika diagnostiky čiastočných výbojov je dôležitá nielen kvôli finančnej stránke, ale aj z dôvodu náročnosti výmeny poškodenej časti izolácie. Na včasnú diagnostiku sa využívajú predovšetkým profesionálne meracie systémy, ktoré merané veličiny vyhodnotia a poskytnú zákazníčkovi potrebné informácie [5][6].

2. Materiály a metódy

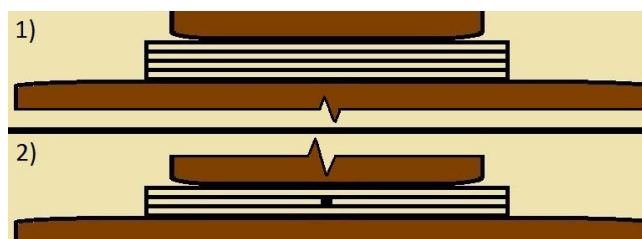
Pre tento experiment sme mali k dispozícii hárok transformátorového papiera (ďalej len TP). Jeho veľkosť bola 1 m × 5 m a hrúbka 0,1 mm. Veľkosť a tvar vzoriek TP bol zvolený v závislosti od kruhového tvaru a veľkosti elektród na 60 mm, obr. 1.

Pre experiment boli vytvorené dva základné typy modelov kombinovanej izolácie. Prvý typ M1 tvorili štyri vrstvy na seba poukladaných TP a druhý typ M2 bol vytvorený z 3 vrstiev, pričom v strednej vrstve bola umelo vytvorená dutinka, obr. 2. Tieto modely boli impregnované v transformátorovom oleji, ktorého degradácia je popísaná nižšie.

Na modelovanie čiastočných výbojov na vzorkách TP impregnovaných olejom boli použité vysokonapäťové Rogowského elektródy. Model doska–bariéra–doska bol zložený z výškovo nastaviteľnej elektródy s priemerom 50 mm a z pevne uloženej elektródy s priemerom 120 mm, umiestnenej v dolnej časti nádoby.



Obr. 1. Vzorka TP $\varnothing=60$ mm (vľavo) a mikroskopický detail umelej dutiny a jej efektívny priemer $\varnothing=1,25$ mm vyznačený modrou kružnicou (vpravo).



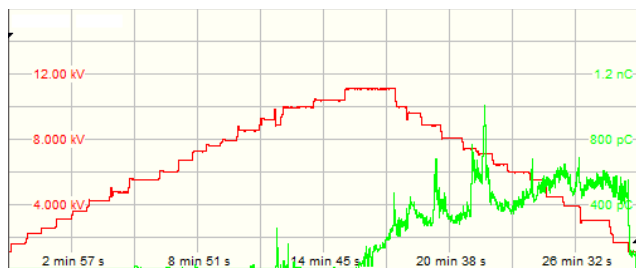
Obr. 2. Model izolácie: 1) typ M1: štyri vrstvy TP; 2) typ M2: tri vrstvy TP s dutinkou uprostred.

V experimente sme použili nový transformátorový olej, ktorý bol dodaný od výrobcu. Pre umelú degradáciu izolačných materiálov sa využívajú rôzne techniky urýchleného starnutia. Pritom je dôležité, aby sa merania vlastností materiálov vykonali pred aj počas starnutia tak, aby sa dosiahli reprodukovateľné výsledky. Urýchlené tepelné starnutie, ktoré bolo využité v tomto experimente sa vykonalo zvýšenou teplotou vzoriek transformátorového oleja v univerzálnej sušiarňi Memmert UN110. To prebehlo pri teplote 80°C. Prvý cyklus trval 430 h a druhý 1175 h. Týmto spôsobom boli pripravené tri rovnaké objemy oleja, ktoré boli použité pri impregnácii modelov kombinovanej izolácie.

3. Výsledky a diskusia

Tento experiment bol zameraný na zistenie počiatocného, zhášacieho a prierazného napätia.

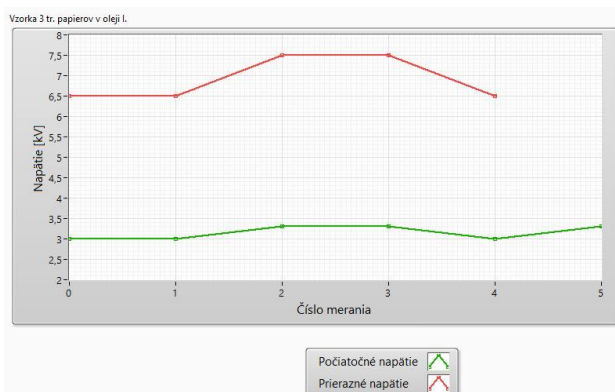
Zhášacie napätie, teda napätie, pri ktorom zaniká výbojová činnosť, bolo odmerané na vzorkách M1. Postup je zrejmý z obr. 3. Napätie na vzorke bolo zvyšované až po hodnotu 11 kV. Potom bolo napätie znižované až do hodnoty, kedy čiastočné výboje zanikli. Hodnota zhášacieho napätia na obrázku je 1,1 kV.



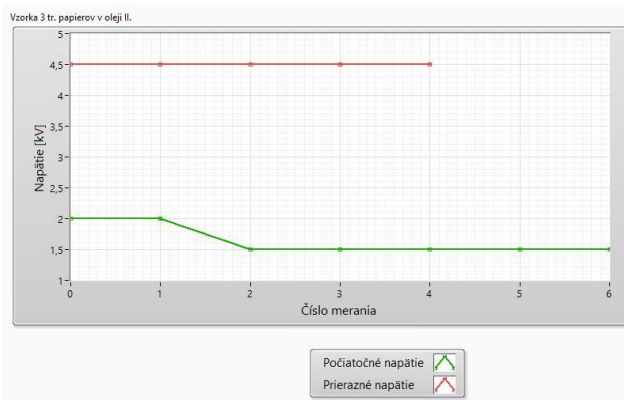
Obr. 3. Pribeh napätia a zodpovedajúce rastúce a zanikajúce čiastočné výboje na vzorke M1 impregnovanej v nestarnutom oleji.

V ďalšej časti sú vyhodnotené počiatocné a prierazné napätia nameraných na vzorkách M2 v grafickej podobe.

Na obr. 4. prvá, spodná krivka zelenej farby značí počiatocné napätie pre vzorky kombinovaného dielektrika tvoreného troma TP impregnovanými olejom. Druhá krivka červenej farby predstavuje hodnoty prierazného napätia. Hodnoty oboch nameraných napätí boli takmer konštantné. Výbojovú činnosť systém zaznamenal pri hodnote ± 3 kV pričom prieraz nastal pri dosiahnutí napätia s hodnotou $\pm 7,2$ kV. Pri meraniach sa ukázalo, že umelá dutinka nemala vplyv na miesto prierazu. Taktiež sa ukázalo, že veľkosť dutiny, ktorá vznikne pri prieraze závisí od veľkosti napätia. Najväčšia dutina vznikla pri prieraznom napätí 11 kV s veľkosťou ± 1 mm, pričom pri nižšom napätí bola aj veľkosť dutiny menšia.

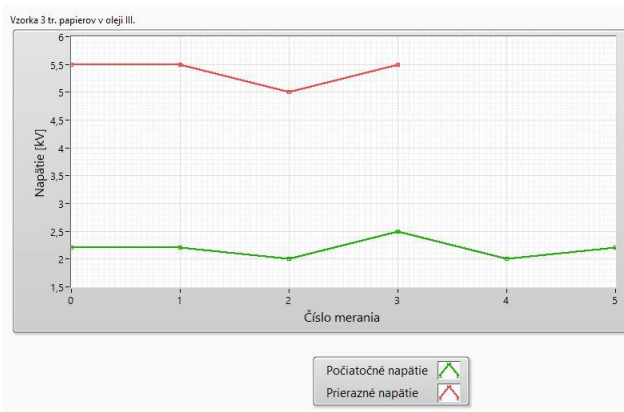


Obr. 4. Počiatocné a prierazné napätie pre vzorku M2 v nestarnutom, nepoužitom transformátorovom oleji.



Obr. 5. Počiatocné a prierazné napätia pre vzorku M2 impregnované v oleji tepelne degradovanom počas 430 h.

V druhom prípade, obr. 5, môžeme sledovať pokles oboch sledovaných napätí. Počiatocné napätie kleslo na hodnotu približne 3 kV a prierazné napätie na hodnotu 4,5 V. Keďže boli použité rovnaké typy modelov a rovnaká meracia metóda, toto zníženie hodnôt je veľmi pravdepodobne spôsobené rôznymi vlastnosťami použitého impregnačného oleja. Usudzujeme preto, že hodnôt pokles hodnôt počiatocného a prierazného napätia nastalo v dôsledku zhoršenia izolačných vlastností impregnačného média, ktoré bolo zapríčinené jeho tepelným starnutím.



Obr. 6. Počiatocné a prierazné napätia pre vzorku M2 impregnované v oleji tepelne degradovanom počas 1175 h.

Ak pozorujeme hodnoty napätí na obr.6, kde sú zobrazené výsledky pre prípad, kedy bol model izolácie impregnovaný olejom tepelne degradovaným po dobu 1175 h, zisťujeme, že tieto sú podobné ako v predchádzajúcom prípade. Usudzujeme, že výrazná zmena počiatocných a prierazných napätí nastáva spočiatku tepelného starnutia, avšak pri následnej etape tepelného starnutia je zhoršenie elektroizolačných vlastností oleja, vplyvajúce na rozvoj čiastočných výbojov v kombinovanej izolácii olej-papier, menej výrazné.

4. Záver

V tomto experimente je výskumná činnosť zameraná na testovanie kombinovaného dielektrika, konkrétne modelov kombinovanej izolácie olej-papier. Bolo poukázané na variáciu počiatocných, zhášacích a prierazných napätí počas tepelnej degradácie impregnantu. Diagnostika a meranie čiastočných výbojov je časovo náročné, avšak poskytuje mnoho ďalších výpovedeschných informácií.

Naším cieľom bolo poukázať na zmeny hodnôt sledovaných napätí počas priebehu testu. Potvrdil sa predpoklad, že čím dlhšie bolo na vzorkách oleja

aplikované tepelné starnutie, tým nižšie bolo počiatkové aj priaznivé napätie. Významný pokles izolačných vlastností olejov nastal v prvej etape starnutia. Pri pokračovaní testu bol pozorovaný iba mierny pokles hodnôt sledovaných napätí. Z toho je možné vyvodit' záver, že starnutie oleja sa výraznejšie prejaví hneď na začiatku pôsobenia tepelného degradačného faktora. Pri ďalšom degradovaní pokračuje pozvoľný rozvoj chyby v izolácii, ktorá spôsobuje následný nárast čiastočných výbojov.

Pod'akovanie

Túto prácu podporili: Vedecká grantová agentúra MŠVVaŠ SR a SAV: VEGA č. 1/0311/15, VEGA č. 2/0141/16. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438.

Literatúra

- [1] I. Kolcunová. Diagnostika izolačných olejov, TU v Košiciach, Katedra elektrotechniky a informatiky, [cit. 2015-15-12], dostupné na internete: <web.tuke.sk/feikee/predmety/.../7.DiagnostikalzolacnychOlejov.doc>.
- [2] A. Mukul, R.E. Haque. The Evaluation of quality of transformer oil by measuring capacitance, Department of Electrical and Electronics Engineering BRAC University, Dhaka, 2011.
- [3] J. Tomlain. Merač čiastočných výbojov: Diplomová práca. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Elektrotechnická, Katedra merania, 2014. 73 s. Dostupné na internete: <https://www.fel.cvut.cz/cz/education/prace/00064.pdf>.

- [4] J. Kúdelčík, F. Kállay, M. Gutten, J. Kijonka, P. Orság. Prieraz v transformátorovom oleji, In: Diagnostika '07. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2007, s. 251-254. ISBN 978-80-7043-557-1.
- [5] L. Prskavec. Měření částečných výbojů: semestrální projekt. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky, 2000, 16s.
- [6] P. Mráz. Aspekty hodnocení výbojové činnosti: dizertačná práca. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2014, 121 s. Dostupné na internete: : <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/14162/Petr_Mraz_Disertace.pdf?sequence=1>.

Autori:

Jakub Rajnič, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jakub.rajnic@student.tuke.sk

Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: juraj.kurimsky@tuke.sk

Iraida Kolcunová, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: iraida.kolcunova@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