

Iraida KOLCUNOVÁ, Lýdia DEDINSKÁ

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

Prírodný olej ako impregnant papierovej izolácie

Abstrakt. V článku sú prezentované výsledky merania elektrických vlastností papierovej izolácie impregnovanej kvapalným dielektrikom a taktiež elektrické vlastnosti samotného impregnačného média. Ako impregnant bol použitý rastlinný repkový olej, nakoľko je biologicky odbúrateľný a jeho použitie pre elektrotechnické účely by bolo ekologicky prijateľné. Na porovnanie elektrických vlastností impregnovanej papierovej izolácie a rastlinného impregnačného média sa použilo meranie stratového činiteľa, permitivity a meranie elektrickej prieraznej pevnosti.

Abstract. In this article we compared the results of measurements of electrical insulating properties of oil-paper insulation with a separate oil insulating. Colza oil was used for impregnation of paper insulation because natural oil is biodegradable and its using would be environmentally accepted. The measurement of dissipation factor, permittivity and electrical strength were used to compare the properties impregnated paper and liquid natural oil.

Kľúčové slová: repkový olej, papierová izolácia, impregnovaný papier, stratový činiteľ, elektrická prierazná pevnosť.

Keywords: colza oil, paper insulation, impregnated paper, dissipation factor, electrical strength.

Úvod

Počas prevádzky transformátora dochádza k jeho starnutiu, ktoré je závislé hlavne na degradácii jeho izolácie. Vplyvom tepelného namáhania dochádza k elektrochemickému rozkladu papiera ako aj ku vzniku rôznych plynov, ktoré sa rozpúšťajú v transformátorovom oleji a nepriaznivo tak vplyvajú na kvalitu a spoľahlivosť izolácie. Cieľom modernej údržby je včasné odhalenie nežiaducich procesov už počas ich vývoja a uskutočňovať opatrenia skôr, ako nadobudnú havarijný charakter [1]. Existujú diagnostické signály, ktoré pri vhodnom výbere ukazovateľa a kontrolného a časového intervalu umožnia priebežne monitorovať technický stav zariadenia a na základe získaných výsledkov je možné odstaviť zariadenie skôr, ako dôjde k jeho poškodeniu alebo nečakanému výpadku.

Izolačná sústava olej - papier

Izolačný olej tvorí jednu zo zložiek sústavy olej - papier, ktorá sa využíva v mnohých strojoch a prístrojoch vn a vvn. V tejto sústave plní olej funkciu izolačného a zároveň chladiaceho média. Pôsobí však zároveň aj negatívne a to ako prenosový člen zložiek z vonkajšieho prostredia (vzdušná vlhkosť a kyslík), ktoré v podstatnej miere znehodnocujú ako olej tak aj papier. Olej je zároveň zdrojom plyných, kvapalných a pevných produktov vznikajúcich prevažne následkom oxidačného a tepelného starnutia izolačnej sústavy [2].

Pri sledovaní sústavy olej - papier je možné vhodným výberom diagnostických metód určiť z rozboru samotného oleja nie len stupeň zostarnutia izolačného oleja, ale zistiť aj druh namáhania, v dôsledku ktorého došlo k jeho poškodeniu. Zároveň je možné určiť orientačne aj stupeň zostarnutia druhej zložky sústavy t.j. papiera, čo má značný význam z pohľadu diagnostiky, pretože olej je možné kedykoľvek odobrať pri krátkodobých odstavkách stroja resp. aj počas prevádzky stroja [3].

Zníženie prevádzkovej bezpečnosti stroja pri starnutí izolačného oleja je zapríčinené:

- zhoršením chladenia, v dôsledku usadzovania kalov, starnutím vzniknutého kalu v olejových kanáloch,

- zmenšením mechanickej pevnosti celulóзовých izolantov následkom pôsobenia kyselín, ktoré vznikajú pri starnutí oleja,
- zmenšením elektrickej pevnosti oleja a izolačnej sústavy olej - papier vplyvom produktov starnutia a predovšetkým vody [4].

Elektrická vodivosť

Elektrická vodivosť je úmerná koncentrácii a pohyblivosti voľných nábojov. V nepolárnych izolačných kvapalinách elektrická vodivosť závisí od prítomnosti disociovaných prísad a od obsahu vody. V polárnych izolačných kvapalinách spôsobujú elektrickú vodivosť nielen nečistoty ale aj nepatrná disociácia molekúl samotnej kvapaliny [4].

Okrem iónovej elektrickej vodivosti môže sa vyskytovať aj vodivosť spôsobená pohybom elektricky nabitých koloidných častíc.

Polárne izolačné kvapaliny majú vždy väčšiu elektrickú vodivosť ako nepolárne, a to z dvoch príčin: jednak samotne sú nepatrne disociované, jednak v dôsledku dipólového momentu ich molekúl rozpúšťajú latky s iónovou väzbou a takéto rozpustné látky sa z nich ťažko odstraňujú [4].

Elektrická vodivosť každej izolačnej kvapaliny závisí od teploty. So vzrastom teploty vzrastá pohyblivosť iónov následkom zníženia viskozity a niekedy sa zvyšuje aj koncentrácia nosičov náboja zvýšeným stupňom disociácia. Elektrická vodivosť kvapaliny rastie s teplotou exponenciálne [5].

Dielektrické straty a relatívna permitivita

Dielektrické straty charakterizujeme stratovým činiteľom $tg\delta$, ktorý vyjadruje mieru dielektrických strát a je ukazovateľom kvality dielektrík [3].

Čím väčší je stratený výkon v dielektriku meniaci sa na teplo, tým väčší je uhol dielektrických strát δ ako aj jeho funkcia $tg\delta$. Stratový činiteľ je závislý od priloženého napätia a jeho frekvencie, teploty izolácie a vlhkosti [3].

Relatívna permitivita udáva, koľko krát je sila pôsobiaca na náboj v danom prostredí menšia ako vo vákuu, alebo pomer kapacity kondenzátora s príslušným

dielektrikom voči usporiadaniu vo vákuu. Závisí od polarizačných procesov, teploty a frekvencie.

Pomer kapacity kondenzátora s daným dielektrikom C_x ku kapacite kondenzátora s vákuom medzi doskami C_o nazývame relatívnou permitivitou ε_r [3]:

$$(1) \quad \varepsilon_r = \frac{C_x}{C_o},$$

kde

ε_r – relatívna permitivita (-),
 C_x – je kapacita meranej vzorky (F),
 C_o – je kapacita meracieho článku naprázdno (F)

Elektrická pevnosť

Elektroizolačný materiál znesie namáhanie elektrickým napätím len do určitej miery. Ak napätie prekročí určitú hodnotu, rôznu pri rôznych okolnostiach, nastane preriez izolácie. Napätie, pri ktorom nastane preriez, nazývame preriezovým napätím U_p a odpovedajúcu hodnotu intenzity elektrického poľa v momente prerazu na dráhe prerazu nazývame elektrickou pevnosťou E_p izolantu. Vypočítame ju nasledovne [5]:

$$(2) \quad E_p = \frac{U_p}{d},$$

kde

E_p – je elektrická pevnosť (kV/mm),
 U_p – je preriezne napätie (kV),
 d – je medzi elektródová vzdialenosť (mm)

Pri rôznom tvare a usporiadaní elektród stupeň nehomogenity elektrického poľa je rôzny, a preto je aj elektrická pevnosť rôzna. Pre technickú prax majú najväčší význam dva krajné prípady, a to

- mierne nehomogénne elektrické pole, ktoré sa vyskytuje napr. medzi guľovými elektródami, ak je vzdialenosť medzi nimi menšia ako priemer guľovej elektródy,
- a silne nehomogénne elektrické pole medzi hrotovou a doskovou elektródou [3].

Najdôležitejšími faktormi, ktoré majú vplyv na elektrickú pevnosť izolantov sú: homogenita elektrického poľa, druh napätia, tvar krivky napätia, doba pôsobenia napätia, teplota izolačného materiálu atď. [3].

Preriez izolačného materiálu znamená náhly vzrast jeho elektrickej vodivosti, čím izolant stráca vlastnosti izolantu. Dôsledkom náhleho vzrastu vodivosti a náhleho zvýšenia prúdu pretekajúceho izolantom sú tepelné a mechanické deje. Preriezne napätie je napätie pri ktorom dôjde k prerušeniu izolačných vlastností izolantov za podmienok daných skúškou. U pevných izolantov sa nazýva preriezne napätie a u kvapalných preskokové.

Preskok kvapalných izolantov vzniká následkom tepelných a ionizačných procesov. Jedným z najdôležitejších faktorov napomáhajúcich preskoku sú nečistoty v izolačnej kvapaline [6].

Pri dlhodobom pôsobení napätia preskok môže byť zapríčinený elektromechanickými procesmi a procesmi elektrického starnutia, ktoré prebiehajú v izolante za určitých podmienok vplyvom elektrického poľa.

Viskozita

Viskozita je mierou vnútorného trenia v tekutine – odpor proti vzájomnému posunu molekúl tekutiny. Čím je nižšia viskozita oleja, tým je lepšia jeho transportná schopnosť odvádzania tepla [3].

Elektrické meracie metódy a výsledky merania

Cieľom experimentu bolo zistiť vlastnosti samotného impregnačného média a jeho vlastnosti v kombinácii s papierovou izoláciou. Pre výskum sa použil rastlinný repkový olej RRO a transformátorový papier s hrúbkou $d = 0,065$ mm.

Na porovnanie elektrických vlastností sa použilo meranie kapacity a stratového činiteľa, preriezneho napätia, izolačného odporu a viskozity.

Meranie stratového činiteľa a kapacity

Merania sa uskutočnili v laboratórnych podmienkach, kde napätová a teplotná závislosť stratového činiteľa a kapacity bola nameraná Scheringovým mostíkom.

Pre kvapalnú izoláciu sa použil trojelektrodový merací systém. Prvé meranie sa uskutočnilo pri izbovej teplote oleja. Testovacie napätie sa zvyšovalo od 0,2kV do 2kV meracím krokom 0,2kV. Zvyšovanie teploty oleja sa uskutočňovalo krokom 10°C až do teploty 100°C. Pri každej teplote sa odmerala napätová závislosť stratového činiteľa $\tan\delta$ a kapacity C .

Pre izolačný systém olej - papier sa použil systém doskových elektród. Napätová závislosť stratového činiteľa impregnovaného papiera o hrúbke $d = 0,065$ mm bola nameraná pri izbovej teplote.

Meranie preriezneho napätia a elektrickej prerieznej pevnosti

Na meranie preskokového napätia oleja sa použilo skúšobné zariadenie TUR Dresden. Olej do vyčistenej nádoby sa nalieval na jednu elektródu, tak aby po nej stekal dole do nádoby a tým sa obmedzil vznik bubliniek pri nalievaní.

Preskokové napätie rastlinného oleja sa meralo pri zmene medzi elektródovou vzdialenosťou od 0,1 do 3,0 mm. Urobilo sa 10 meraní, pričom medzi jednotlivými meraniami bola dodržaná pauza cca 7 minút, kvôli ustáleniu pomerov v oleji medzi elektródami.

Elektrická preriezna pevnosť rastlinného repkového oleja RRO sa prepočítala podľa (2) pre rôzne vzdialenosti medzi elektródami od 0,1 mm až po 3 mm.

Preriezne napätie izolačného systému olej – papier sa odmeralo profesionálnym meracím prístrojom DTS-60D od firmy High voltage. Spôsob nalievania oleja je podobný ako pri meraní prerieznej pevnosti oleja. Vzdialenosť medzi elektródami sa menila počtom vrstiev impregnovanej papierovej izolácie od 0,065 mm do 0,65 mm. Pre takto získané hodnoty bola vypočítaná elektrická preriezna pevnosť izolačného systému olej – papier.

Meranie izolačného odporu a polarizačného indexu

Na meranie izolačného odporu oleja pri jednosmernom napätí $U = 1$ kV bol použitý prístroj Norma insulator tester UNILAP ISO. Z nameraných hodnôt izolačného odporu v 15 s a 60 s od priloženia

napätia, sa vypočítal jednonímúťový polarizačný index nasledovne:

$$(3) \quad i_{p1} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

kde

i_{p1} – jednonímúťový polarizačný index
 R_{15} – izolačný odpor v 15 sekunde po pripojení napätia
 R_{60} – izolačný odpor v 60 sekunde po pripojení napätia

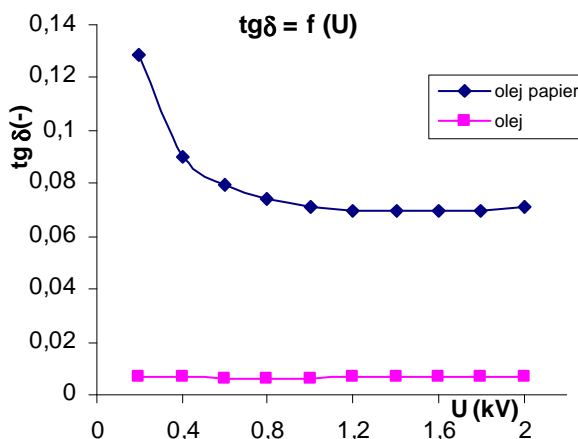
Meranie viskozity

Viskozita olejov bola meraná Ubbelohdeho viskozimetrom. Meranie sa vykonalo pri troch rôznych teplotách, pričom pre jednotlivé teploty merania bolo meranie opakované tri krát.

Výsledky merania rastlinného oleja RRO a kombinovaného izolačného systému olej – papier

Pre kombinovaný izolačný systém olej – papier sa použil ako impregnant rastlinný repkový olej a transformátorový papier o hrúbke $d = 0,065$ mm, ktorý bol impregnovaný 3 dni v rastlinnom repkovom oleji.

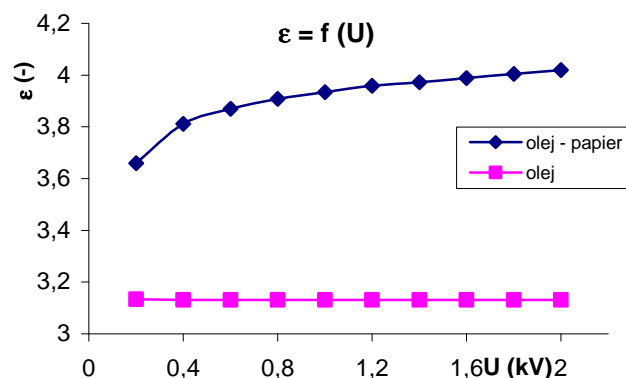
Napätová závislosť stratového činiteľa je zobrazená na obrázku č.1 pre teplotu $T = 22^\circ\text{C}$. Z obrázku je vidno, že izolačný systém olej – papier má väčšie straty, ktoré zvyšovaním napätia do hodnoty $U = 0,6\text{ kV}$ majú klesajúci charakter spôsobený, pravdepodobne, unikom vzduchových bublínok. Od tejto hodnoty napätia stratový činiteľ sa ustálil na hodnote $\text{tg}\delta = 0,068$. Pre rastlinný repkový olej napätová závislosť stratového činiteľa je konštantná a má hodnotu $\text{tg}\delta = 0,0066$, t.j. desaťnásobne menšiu v porovnaní s kombinovanou izoláciou.



Obr.1. Napätová závislosť stratového činiteľa $\text{tg}\delta$ pre rastlinný repkový olej RRO a izolačný systém olej – papier.

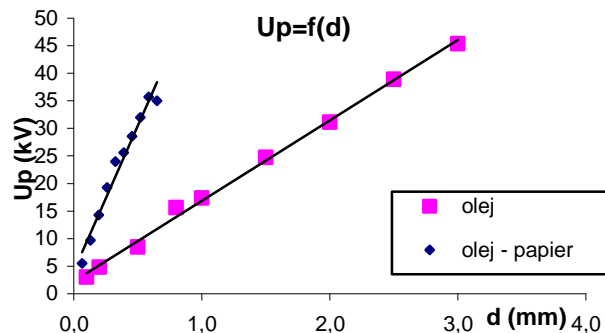
Na obrázku č. 2 je závislosť relatívnej permitivity na napätí nameraná pri izbovej teplote $T = 22^\circ\text{C}$. Jej hodnota pre izolačný systém olej - papier so zvyšujúcim sa napätím rastie v rozmedzí $\epsilon_r = 3,6 \div 4$. Pre rastlinný repkový olej je konštantná $\epsilon_r = 3,1$ v závislosti od napätia.

Hodnoty prirazného napätia a elektrickej priraznej pevnosti od vzdialenosti medzi elektródami sú znázornené na obrázkoch č.3 a č.4.



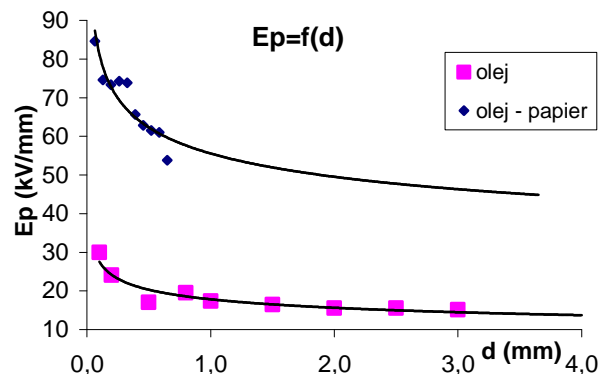
Obr. 2 Napätová závislosť relatívnej permitivity ϵ_r pre rastlinný repkový olej RRO a pre izolačný systém olej – papier.

Preirazné napätie oboch izolačných systémov s narastajúcou vzdialenosťou narastá, pričom pre izolačný systém olej – papier tento nárast je rýchlejší. Pri tej istej medzielektrodovej vzdialenosti $d = 0,1$ mm je hodnota prirazného napätia vyššia pre izolačný systém olej papier ($U_p = 9,7$ kV) ako pre samotný rastlinný repkový olej ($U_p = 3$ kV).



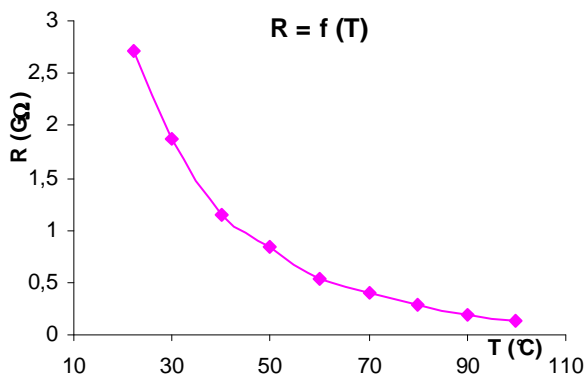
Obr. 3 Závislosť prirazného napätia U_p v závislosti od medzielektrodovej vzdialenosti pre rastlinný repkový olej RRO a izolačný systém olej – papier.

Elektrická prirazná pevnosť má podobný exponenciálne klesajúci charakter pre obidva izolačné materiály. Ich hodnota po vzdialenosti $d = 0,5\text{ mm}$ sa ustálila pre rastlinný repkový olej RRO na hodnotu $E_p = 41$ kV/mm a pre olej – papier na $E_p = 61$ kV/mm.

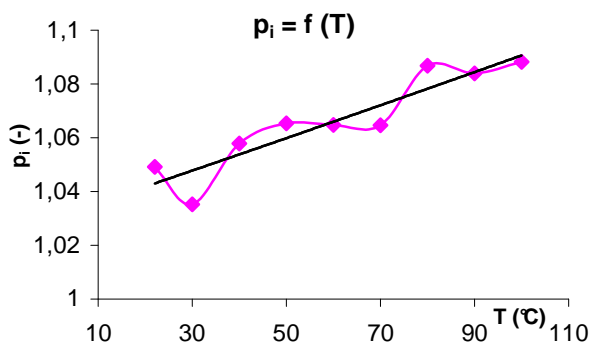


Obr.4. Závislosť elektrickej priraznej pevnosti E_p od medzielektrodovej vzdialenosti pre rastlinný repkový olej RRO a izolačný systém olej – papier.

Na obrázku č.5 je znázornená teplotná závislosť izolačného odporu rastlinného repkového oleja. Teplotná závislosť jednominútového polarizačného indexu je uvedená na obrázku č.6.

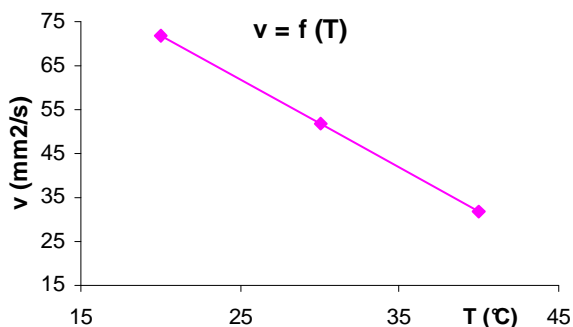


Obr. 5. Teplotná závislosť izolačného odporu rastlinného repkového oleja RRO.



Obr. 6. Teplotná závislosť jednominútového polarizačného indexu p_i rastlinného repkového oleja RRO.

Hodnota izolačného odporu R rastlinného repkového oleja s teplotou exponenciálne klesá, pričom jednominútový polarizačný index s teplotou narastá.



Obr. 7. Tepelná závislosť viskozity rastlinného repkového oleja RRO.

Výsledky merania viskozity rastlinného repkového oleja RRO v závislosti na teplote sú uvedené na obrázku č.7. Viskozita rastlinného repkového oleja s narastajúcou teplotou klesá.

Záver

Porovnaním nameraných hodnôt rastlinného repkového oleja RRO s izolačným systémom olej – papier je možné konštatovať nasledovné:

- stratový činiteľ $tg\delta$ kombinovaného systému olej - papier má vyššiu hodnotu ako rastlinný repkový olej, čo spôsobené použitím papierovej izolácie, ktorá zvyšuje straty daného systému,

- relatívna permitivita ϵ_r pre olej – papier má vyššiu hodnotu čo má priaznivý vplyv, keďže relatívna permitivita vyjadruje koľko krát pôsobí menšia sila na náboj v danom prostredí ako vo vákuu,

- elektrická prierná pevnosť E_p pre izolačný systém olej – papier narástla skoro trojnásobne v porovnaní so samotným rastlinným repkovým olejom.

Ďalej je však potrebné zistiť vplyv teploty a vlhkosti na hodnotu stratového činiteľa $tg\delta$, relatívnej permitivity ϵ_r a elektrickej priernaznej pevnosti E_p kombinovaného systému olej-papier.

Literatúra

- [1] Oommen, T.V.: Vegetable Oils for Liquid-filled Transformers. In.: Magazine Electrical Insulation IEEE, volume 18, number 1, january/February 2002, pp.6-11
- [2] Beyer, M. a kol. Technika vysokých napätí, Energoatomizdat, 1989, ISBN 5-283-02460-
- [3] Kolcunová, I. Diagnostika elektroenergetických zariadení metódou čiastkových výbojov, Vedecká monografia, TU Košice, 2008.
- [4] Metlík, V. : dielektrické prvky a systémy. BEN technická literatúra.Praha 2006 str. 94-113
- [5] Marton, K., Kurimský, J.: Diagnostika transformátorov Publikácia TUKE: Starnutie elektroizolačných systémov. č. 2 (2007), s. 3-13. ISSN1337-0103 Dostupné na internete: <<http://jeen.fe.i.tuke.sk/jeen2/index.php/JSES/article/viewFile/88/90>>
- [6] KURIMSKÝ, J., RADVÁNI, P.: Prehľad metód pre diagnostiku izolačného systému vn transformátora. Publikácia TUKE Starnutie elektroizolačných. systémov, č. 8 (2010), s. 24-29. ISSN1337-0103 Dostupné na internete: <<http://jeen.fe.i.tuke.sk/jeen2/index.php/JSES/article/viewFile/151/142>>[cit 2010-06-15].

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

Ing. Lýdia DEDINSKÁ, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: lydia.dedinska@tuke.sk



Tento článok bol vypracovaný s podporou projektu Vývoj unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy, ITMS 26220220029, ktorý je spolufinancovaný zo štrukturálneho fondu EÚ ERDF v rámci výzvy OPV a V-2008/2.2/01-SORO a prioritnej osi 2 Podpora výskumu a vývoj