

Iradia KOLCUNOVÁ, Lýdia DEDINSKÁ

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

Elektrické vlastnosti prírodných esterov

Abstract. V súčasnosti sa venuje zvýšená pozornosť štúdiu možností využitia organických, prípadne syntetických olejov namiesto olejov založených na ropnej báze. Olej v transformátore plní nielen izolačnú funkciu, ale aj chladiacu, jednou z dôležitých vlastností izolačných kvapalín je teplotná stabilita. Výskum je zameraný na meraní stratového činiteľa v napäťovej, teplotnej a frekvenčnej oblasti.

Abstract. On the present more attention is focused on study of organic or synthetic oils instead of mineral oils. Because oil in transformers is instead of insulating used also as cooling liquid, its important attribute is thermal stability. Research is focused on the loss-factor measurements in voltage, temperature and frequency domain.

Kľúčové slová: naturálny ester, stratový činiteľ, kvapalné dielektrikum, Scheringov mostik.

Keywords: natural ester, dissipation factor, liquid dielectric, Schering bridge.

Úvod

Izolačný systém výkonových transformátorov vytvára kombináciu oleja a celulózového papiera, pričom použitá kvapalná zložka má výrazný vplyv na výsledné vlastnosti celého izolačného systému. V súčasnosti sa kladie stále väčší dôraz na možnosti použitia materiálov šetrných k životnému prostrediu a v neposlednom rade aj výhodných z hľadiska finančného aspektu [1]. Tento trend sa prejavuje aj v problematike olejových transformátorov, preto sa študujú možnosti náhrady klasických minerálnych olejov na ropnej báze vhodnejšími izolačnými kvapalinami.

Nevyhnutnosť zámeny ekologicky závadných, horľavých minerálnych olejov viedla k hľadaniu zodpovedajúcich náhrad, majúcich všetky vlastnosti minerálnych olejov, avšak s tým rozdielom, že budú spĺňať aj požiadavku na ekologickú nezávadnosť

Elektrické vlastnosti dielektrík

Zhoršenie stavu kvapalných izolačných dielektrík sa prejaví aj na zhoršení elektrických vlastností. Zmena elektrických vlastností ovplyvňuje funkciu spoľahlivosti prevádzky a celkovú životnosť elektrických zariadení.

Izolačný odpor

Po pripojení jednosmerného napätia U na izolačný systém je možné merať zmenu izolačného odporu v závislosti od času $R(t)$ [2]:

$$(1) \quad R(t) = \frac{U}{I(t)}$$

kde $I(t)$ – prúd pretekajúci dielektrikom.

V praxi sa merajú dve hodnoty odporu a to v 15 sekunde R_{15} a 60 sekunde R_{60} po pripojení napätia. Kvalita izolácie sa posudzuje podľa vzťahu [2]:

$$(2) \quad p_{i1} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

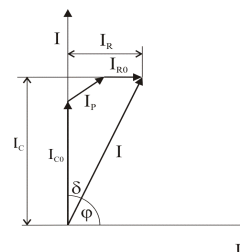
kde p_{i1} – jednominutový polarizačný index

Polarizačný index p_i charakterizuje stav izolácie, predovšetkým prítomnosť vlhkosti. Hodnota p_i pre reálnu izoláciu sa pohybuje medzi hodnotou 2 až 2,5, hodnotu 1

nedosiahne ani v prípade kvalitnej izolácie, pretože v skutočnosti štruktúra izolácie je nehomogénna.

Stratový činiteľ

Pre striedavé napätie dielektrické straty vyjadrujeme stratovým činiteľom $\operatorname{tg} \delta$, kde δ je doplnkový uhol do 90° k uhlu fázového posunu φ medzi časovým vektorom napätia a prúdu v izolante. Čím väčší je stratený výkon v dielektriku meniaci sa na teplo, tým menší je fázový uhol φ , a tým väčší je uhol dielektrických strát δ ako aj jeho funkcia $\operatorname{tg} \delta$ [2].



Obr. 1. Fázorový diagram reálneho dielektrika, kde U je priložené striedavé napätie, I – prúd prechádzajúci dielektrikom, I_{C0} – kapacitný prúd ideálneho dielektrika, I_p – polarizačný prúd, I_{R0} – zvodový prúd

Hodnota stratového činiteľa $\operatorname{tg} \delta$ súvisí s dielektrickými stratami a jeho hodnotu je možné považovať za merítko kvality izolačného systému. Podľa fázorového diagramu (obrázok 1) [3]:

$$(3) \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

Veličina $\operatorname{tg} \delta$ závisí od:

- napájacieho napätia
- teploty
- napájacej frekvencie
- vlhkosti.

Relatívna permitivita

Ďalšiu veličinu, ktorá sa porovnáva je relatívna permitivita ϵ_r , ktorá je definovaná ako pomer kapacity elektród v priestore úplne zaplnenom príslušným dielektrikom a kapacitou rovnako usporiadaných elektród vo vákuu (prakticky aj vo vzduchu, pretože relatívna permitivita vzduchu za normálnych atmosférických

podmienok je 1,00058). Permittivita 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[2]:

$$(4) \quad \epsilon_r = \frac{C_x}{C_o}$$

kde: ϵ_r – relatívna permitivita, C_x – kapacita meranej vzorky oleja, C_o – kapacita meracieho článku naprázdno.

Hodnota relatívnej permitivity napomáha k určeniu stupňa oxidačného zostarnutia oleja. Relatívna permitivita má vplyv na rozloženie elektrického poľa a je úmerná stavu dielektrika. Indikuje taktiež jeho fyzikálne – chemické zmeny z hľadiska polarizácie molekúl. Relatívna permitivita s rastúcou teplotou klesá. So zvyšujúcim sa stupňom zostarnutia izolačného oleja jej hodnota rastie [4]. Permittivita závisí od polarizačných procesov, teploty, frekvencie. V nepolárnych kvapalných izolantoch sa vyskytuje len elektrónová polarizácia. Polárne kvapalné izolanty majú elektrónovú a dipólovú polarizáciu [3].

Relatívna permitivita je tým väčšia, čím väčší je dipólový moment ich molekúl, čím rýchlejšie sa tieto molekuly pohybujú v elektrickom poli a čím viac molekúl je v jednotke objemu. Pohyblivosť súvisí s viskozitou a teplotou [2].

Materiál a metódy

Výskum je zameraný na meranie elektrických vlastností rastlinných olejov. Zameraný je na štúdium olejov predávaných v potravinárskom priemysle, keďže spĺňajú podmienku ekologickej nezávadnosti a finančnej dostupnosti. Na trhu dostupných olejov boli vybrané slnečnicový olej Vénusz a repkový olej Raciol. Tieto oleje sa porovnávali s minerálnym olejom ITO 100, ktorý je bežne používaný v transformátoroch, kde spĺňa úlohu elektrickej izolácie a chladenia a so silikónovým olejom Lukosil M 200.

V tabuľke 1 sú uvedené vzorky oleja, ktoré boli predmetom výskumu.

Tabuľka 1. Zoznam meraných vzoriek olejov

Označenie vzorky oleja	Názov a typ vzorky oleja
M	Minerálny olej – ITO 100
SV	Slnečnicový olej - Vénusz
RR	Repkový olej – Raciol
SiL	Silikónový olej – Lukosiol M200

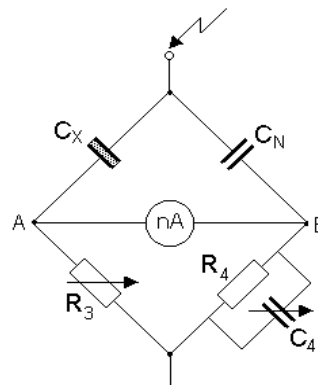
Pre porovnanie vlastností sa použili merania stratového činiteľa $tg\delta$, ktorý je ukazovateľom kvality dielektrík a vyjadruje mieru dielektrických strát v elektroizolačných systémoch [2].

Na meranie izolačného odporu bol použitý prístroj Norma insulaton tester UNILAP ISO 5kV LEM pri napätí $U = 1$ kV.

Pri skúmaní vlastností oleja sa zmerala napät'ová a teplotná závislosť oleja so Scheringovým mostíkom a frekvenčná závislosť prístrojom IDA 200.

Scheringov mostík sa používa pri meraní kapacity a stratového činiteľa $tg\delta$ pri priemyselnej frekvencii $f = 50$ Hz. Schéma zapojenia pre meranie so Scheringovým mostíkom je znázornená na obrázku 2.

V závislosti od frekvencie meracieho napätia sa vyšetruje určitá frekvenčná oblasť, ktorá je ovplyvnená skupinou elementárnych polarizačných procesov. Frekvenčná závislosť oleja bola zmeraná s prístrojom IDA 200 (obrázok 3), vo frekvenčnej oblasti od 0,01 Hz do 1000 Hz.



Obr.2. Schéma zapojenia pri meraní so Scheringovým mostíkom C_N – kapacitný normál, C_x – premenlivá kapacita, R_4 – odpor, R_3 – premenlivý odpor, C_x – meraný objekt neznáma vzorka



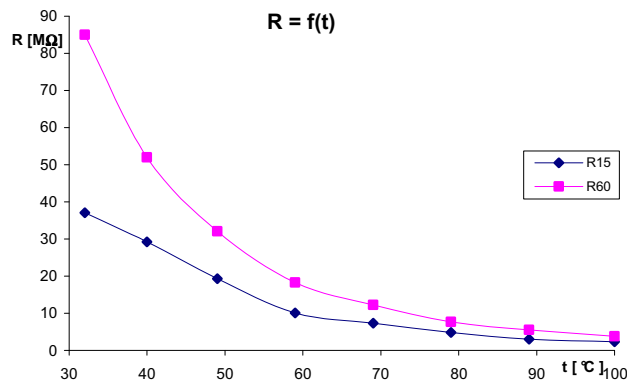
Obr.3. Merací prístroj IDA200

Merania sa uskutočnili v laboratórnych podmienkach. Prvé meranie sa urobilo pri izbovej teplote oleja. Pri meraní Scheringovým mostíkom sa zvyšovalo priložené napätie od 0,2kV až 2kV meracím krokom 0,2kV. Následne sa zvyšovala teplota krokom 10°C a až do teploty 100°C. Pri každej teplote sa urobila napät'ová závislosť stratového činiteľa $tg\delta$.

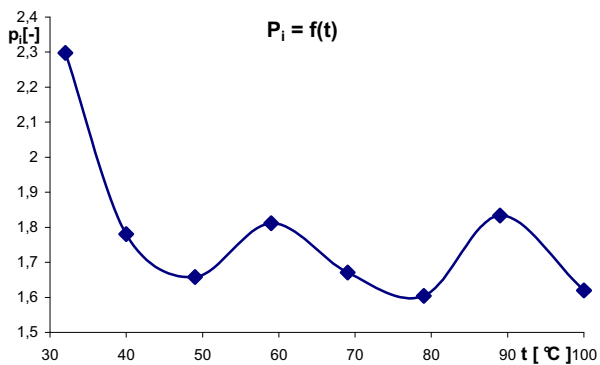
Prístrojom IDA 200 bola odmeraná frekvenčná závislosť oleja pri napätí $U = 140$ V, vo frekvenčnej oblasti od 0,01Hz do 1000Hz od izbovej teploty krokom 10 °C až do teploty 100°C. Z nameraných hodnôt boli zostrojené jednotlivé charakteristiky olejov.

Výsledky a diskusia

Na obrázku 4 je znázornená teplotná závislosť izolačného odporu $R(t)$ a na obrázku 5 je vidno teplotnú závislosť polarizačného indexu $p_i(t)$.

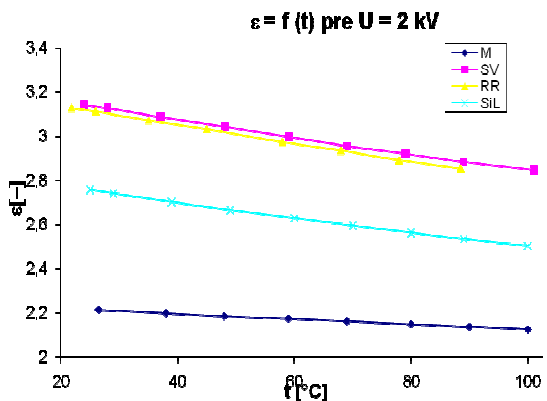


Obr.4. Teplotná závislosť izolačného odporu $R(t)$ minerálneho oleja ITO 100 R_{15} v 15 sekunde a R_{60} v 60 sekunde.

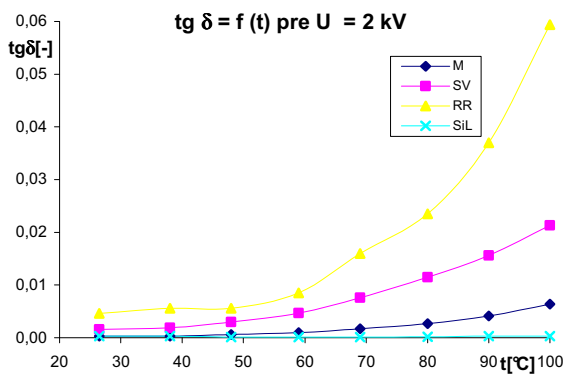


Obr.5. Teplotná závislosť polarizačného indexu P_i minerálneho oleja ITO 100

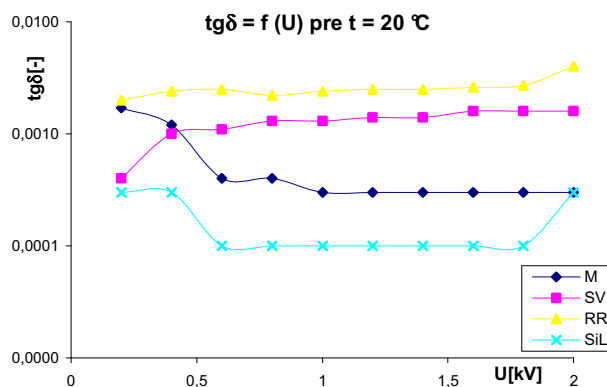
Ďalej sú uvedené závislosti nameraných veličín. Obrázok 6 je tepelná závislosť permitivity oleja. Tepelná závislosť stratového činiteľa je zobrazené na obrázku 7. Na obrázkoch 8 - 10 sú výsledky merania napätavej závislosti stratového činiteľa $tg\delta$ pre rôzne hodnoty teploty. Frekvenčnú závislosť pre jednotlivé typy olejov sú na obrázkoch 11 - 13.



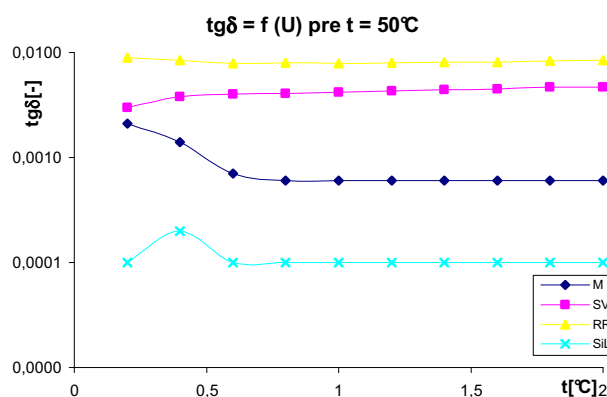
Obr.6. Teplotná závislosť permitivity ϵ , pre M – minerálny olej, SV – slnečnicový olej Vénusz, RR – repkový olej Raciol a SiL – silikónový olej Lukosiol M 200



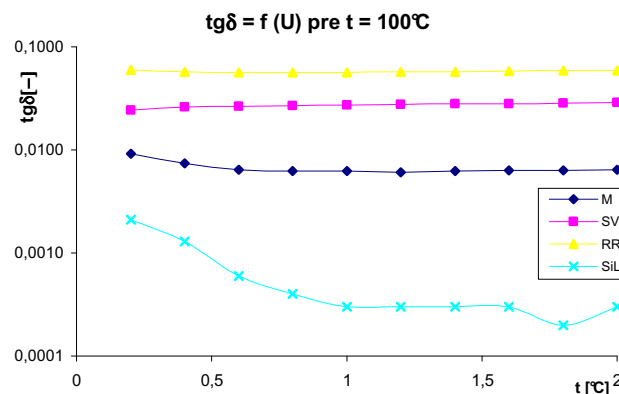
Obr. 7 Teplotná závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote napätia $U = 2 \text{ kV}$ pre M – minerálny olej, SV – slnečnicový olej Vénusz, RR – repkový olej Raciol a SiL – silikónový olej Lukosiol M 200



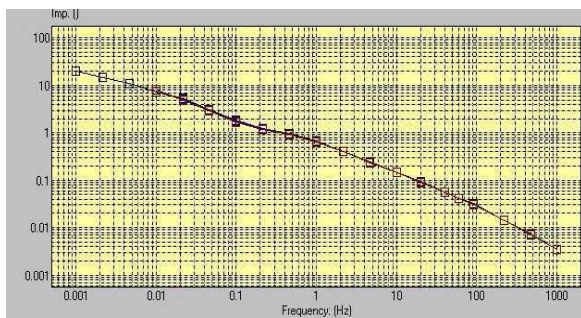
Obr. 8. Napätová závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote teploty $t = 20 \text{ °C}$ pre M – minerálny olej ITO 100, SV – slnečnicový olej Vénusz, RR – repkový olej Raciol a SiL – silikónový olej Lukosiol M 200



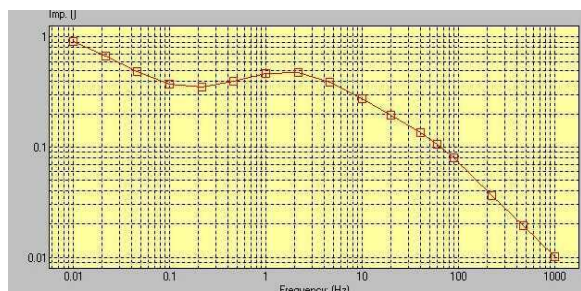
Obr. 9. Napätová závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote teploty $t = 50 \text{ °C}$ pre M – minerálny olej ITO 100, SV – slnečnicový olej Vénusz, RR – repkový olej Raciol a SiL – silikónový olej Lukosiol M 200



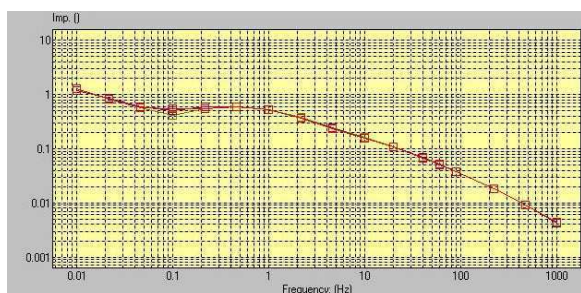
Obr. 10 Napätová závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote teploty $t = 100 \text{ °C}$ pre M – minerálny olej ITO 100, SV – slnečnicový olej Vénusz, RR – repkový olej Raciol a SiL – silikónový olej Lukosiol M 200



Obr. 11. Frekvenčná závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote teploty $t = 60^\circ\text{C}$ pre SV – slnečnicový olej Vénusz



Obr. 12 Frekvenčná závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote teploty $t = 60^\circ\text{C}$ pre SiL – silikónový olej Lukosiol M 200



Obr. 13 Frekvenčná závislosť stratového činiteľa $tg\delta$ pri hodnote teploty $t = 60^\circ\text{C}$ pre M – minerálny olej ITO 100

Z výsledkov vyplýva že hodnota relatívnej permitivity ϵ_r s teplotou klesá pre všetky typy olejov (obrázok 6). Hodnota pre prírodné estery je 3,2 a je to vyššia ako pre minerálny olej ktorej hodnota je 2,2 a pre silikónový olej je 2,8.

Z teplotnej závislosti stratového činiteľa $tg\delta = f(t)$ pri $U = 2\text{ kV}$ vyplýva, že najmenšie straty má silikónový olej Lukosiol M 200 a najvyššie rastlinný olej Raciol (obrázok 7). Pre ostatné napäťové hladiny tepelné závislosti stratového činiteľa majú rovnakú tendenciu – charakter.

Z napäťovej závislosti stratového činiteľa $tg\delta = f(U)$ pre rôzne teploty (obrázok 8,9,10) vyplýva, že silikónový olej má stabilnú hodnotu, ktorá v závislosti od napätia je konštantná, len pri vyššej hodnote teploty ($t = 100^\circ\text{C}$) už túto stabilitu stráca, naopak voči rastlinnému a minerálnemu oleju, ktoré pri tejto teplote vykazovali konštantnú hodnotu. Frekvenčné charakteristiky olejov boli zostrojené na základe merania s prístrojom IDA 200. Stratový činiteľ v závislosti na frekvencii klesá.

Z obrázkov 12 a 13 vyplýva, že silikónový olej Lukosiol M 200 a minerálny olej ITO 100 sú izolácie s jedným polarizačným dejom, nakoľko majú len jednu maximálnu hodnotu. Zo zostrojených charakteristík vidno, že jednotlivé oleje sa správajú ináč v závislosti meniacej sa frekvencie.

Záver

Namerané hodnoty poukazujú na fakt, že hodnota stratového činiteľa $tg\delta$ pre rastlinné oleje, slnečnicový Vénusz a repkový Raciol je vyššia než u minerálneho oleja ITO 100 a silikónového oleja Lukosiol M 200, čo znamená, že straty energie, ktoré sú charakterizované dielektrickými stratami a stratami zvodom sú vyššie práve u rastlinných olejoch. Tendencia kriviek pre jednotlivé teploty a vlastnosti sa však zhoduje s minerálnym olejom. Stratový činiteľ slnečnicového oleja Vénusz pri nižších hodnotách napätia teda do $U = 0,5\text{ kV}$ je rovný s hodnotou pre minerálny olej ITO100. Stratový činiteľ v závislosti na frekvencii klesá pre všetky oleje.

Relatívna permitivita prírodných esterov je 3,2 teda je bližšie k hodnote relatívnej permitivity impregnovaného papiera, čo je hodnota 4. Keďže v transformátoroch sa používa izolačný systém olej papier tento fakt má priaznivý vplyv na rovnomernejšie rozloženie elektrického poľa teda na nižšie namáhanie izolačného systému ako celku.

Pre objektivitu posúdenia použiteľnosti rastlinných olejov by bolo potrebné preveriť ďalšie kvality týchto dielektrík, napríklad elektrickú pevnosť, prízračné napätie, viskozitu, čiastkové výboje ako aj spomínaný vplyv vyššej hodnoty permitivity na papierovú izoláciu. Tieto merania budú témou ďalších prác.

Literatúra

- [1] Transformer Fire Protection, Facilities Instructions, Standards, and Techniques Volume 3-32, Dostupné na internete: <www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_32/fist3-32.pdf> [cit 2005-01-15].
- [2] KURIMSKÝ, Juraj, RADVÁNI, Peter: 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.fei.tuke.sk/jeen2/index.php/JSES/article/viewFile/151/142>> [cit 2010-06-15].
- [3] CIMBALA, Roman: Starnutie vysokonapäťových izolačných systémov. Technická univerzita Košice, 2007, s. 18-20. ISBN 978-80-8073-904-1
- [4] TKÁČ, Ján - KURIMSKÝ, Juraj - DOLNÍK, Bystrík: Laboratórny výskum výbojovej činnosti v modeloch s kombinovanou izoláciou papier-olej. Publikácia TUKE: Starnutie elektroizolačných systémov. č. 4 (2008), s. 18-20. ISSN1337-0103 Dostupné na internete: <<http://web.tuke.sk/fei-kee/jses/uploads/File/jses-04-2008-07.pdf>> [cit 2008-04-30].

Autori: Prof. Ing. Iradia KOLCUNOVÁ,, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: iradia.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.