

Jaroslav Džmura, Jaroslav Petráš, Jozef Balogh

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

Elektrické parametre priemyselných fólií a ich vplyv na vznik povrchových nábojov

Abstrakt. V tomto článku je popísaný vznik povrchových nábojov na fóliách používaných na priemyselné účely. Tieto náboje vznikajú počas spracovania týchto fólií. Spomínané fólie sa v elektrotechnickom priemysle používajú ako ochranné vrstvy pre čelné panely elektrických zariadení. V príspevku sú popísané metódy merania elektrických parametrov a možnosti merania povrchových nábojov. Z pohľadu kvality produktov existuje aj v prípade vysokých požiadaviek na čistotu prostredia nebezpečenstvo, nakoľko nie je možné eliminovať všetok prach z okolitého prostredia, že tento prach sa elektrickými silami pripúta na povrch týchto fólií. Tento efekt je špeciálne nepriaznivý, ak fólie sú tepelne spracované pri teplotách nad 135° až 160°C, nakoľko prachové častice sú zalisované do povrchu fólií a tým znižujú ich kvalitu. Tento nepriaznivý efekt je možné odstrániť aktívnou neutralizáciou elektrických nábojov na povrchu týchto izolantov.

Abstract. This paper deals with surface charges occurrence on industry plastic foils in industry environment. These charges arise during foil manufacturing process. Such foils are used in electrical industry and serve as protective layer for electric device front panels. We describe a method for electric parameter measurement of such foils and possibilities of surface charge measurement on foils. From product quality's point of view there is much higher probability for danger as even with very high care for clean environment it is not possible to eliminate the sedimentation of dust particles with macroscopic size on foils' surface which are electro-statically coupled to the surface by strong coulomb forces. This effect is especially unfavorable during heat processing of foils at temperatures over 135°C or even 160°C, so that the dust particles with fiber, sphere or other shapes get moulded into polymer foil's surface and they highly deteriorate the foil's quality in this way. It is possible to avoid to this effect by active neutralization of electro static charges on foil's surface.

Kľúčové slová: povrchový náboj, elektrické vlastnosti fólií, neutralizácia povrchových nábojov, meranie elektrických vlastností.

Keywords: surface discharge, electrical properties of foils, neutralization of surface discharges, measurement of electrical properties..

Úvod

Pri technologickom spracovaní fólií na báze polymérnych organických látok (napr. polypropylén, polyvinylfluorid apod.) bol pozorovaný vznik elektrických nábojov na povrchu týchto fólií. Tento fenomén sa ukázal ako dôsledok tzv. „škodlivého“ pôsobenia triboefektu následkom elektrokinetických javov pri styku dvoch, prípadne viac povrchov materiálov rovnakých resp. podobných fyzikálno–chemických vlastností. V prípade, že sa tento jav vyskytuje v prostredí s vysokou technickou hygienou, s nízkou relatívnou vlhkosťou prostredia, pričom technologické zariadenie nie je dostatočne uzemnené, môže nastať prípad, že vzniklé náboje po dosiahnutí saturácie vyvolajú taký stav, ktorý vstupuje do technologického procesu a narúša jeho chod.

Do tejto kategórie patria silové účinky elektrického poľa nabitých plôch fólií, prípadne pracovného procesu sa zúčastňujúcich prvkov, prípadne vysoký rozdiel potenciálov medzi prvkami zapojenými do technologického procesu a personálom, čím dochádza k elektrickým preskokom, vyvolávajúcim nepriaznivé, často škodlivé fyziologické účinky. Výška napätia generovaná týmito procesmi môže dosiahnuť 8 - 16 kV. Ukazuje sa, že v súčasnej dobe obsluhujúci personál nie je aktívne uzemnený, čím sa zvyšuje pravdepodobnosť elektrického preskoku medzi ním a technologicky spracovaným polotovarom (materiálom s dielektrickými vlastnosťami).

Z hľadiska kvality výrobkov hrozí oveľa včasnšie nebezpečenstvo, nakoľko aj pri relatívne vysokej starostlivosti o čisté prostredie nie je možné zabrániť usadzovaniu sa prachových častíc makroskopickej veľkosti na povrchu fólie, ktoré sú elektrostaticky viazané k povrchu veľkými coulombovskými silami. Tento jav sa zvlášť nepriaznivo prejaví pri tepelnom spracovaní fólie (napr. pri teplote 135°C prípadne až 160°C) v dôsledku čoho sa prachové častice (tvaru vlákien, sférické útvary a pod.) zalisujú do povrchu polymérnej fólie a výrazne znižujú kvalitu výrobku.

Zabrániť týmto nepriaznivým javom ako aj účinkom je možné aktívnou neutralizáciou elektrostatických nábojov na povrchu fólií.

Vznik elektrických nábojov na povrchu fólií

Teoretická analýza vzniku elektrických (tiež elektrostatických) nábojov na povrchu dielektrických resp. izolačných fólií sa dá detailne vykonať na základe analýzy fyzikálnych procesov prostredníctvom pásmových modelov dotýkajúcich sa látok [1]. Iná – jednoduchšia cesta vedie k vysvetleniu javov analýzou procesov, vedúcich ku vzniku elektrickej dvojvrstvy, prípadne k jej rozdeleniu. Vychádzame z týchto úvah:

1. oddelenie sa dvoch vrstiev nábojov protikladne orientovaných, čím vznikajú súčasne na každom materiáli (fólii) náboje opačných polarít,
2. odovzdávanie nábojov z jednej fólie na druhú kontaktom, čím sa základná fólia ochudobňuje o pôvodné náboje,
3. prijímanie nábojov povrchom fólie, napríklad injektážou z cudzieho zdroja.

Vyššie uvedené tri procesy môžu vyvolať rôzne pochody (oddelenie dotýkajúcich sa povrchov, štiepenie látok, elektrostatická distribúcia nábojov, fotoionizácia, vysokonapäťové výboje, kumulácia nábojov, triboefekt – elektrokinetika súvisiaca s trením, nárazy, tlaky a pod.), ktoré veľmi úzko súvisia so štruktúrou aplikovaného materiálu a s jeho elektrofyziálnymi ale aj chemickými vlastnosťami. Jednu z veľmi dôležitých úloh tu hrá existencia elektrických nábojov voľných alebo viazaných v sledovaných fóliách (látky nepolárne a polárne) a polarizačné javy z toho vyplývajúce.

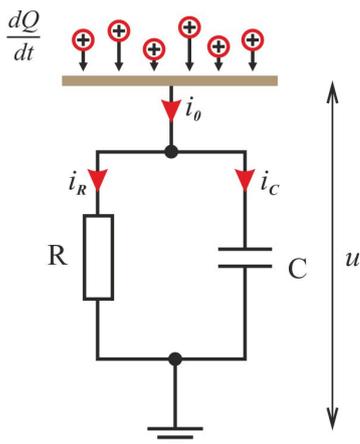
Vychádzajúc z technologických postupov pri spracovaní fólií je treba zdôrazniť, že ku vzniku a akumulácii náboja nedochádza iba na jednovrstvových sústavách fólií, ale veľmi často sa vyskytuje viacvrstvý systém. Z elektrofyziálneho hľadiska sa jedná o vrstvené dielektrikum kondenzátora, čo sa pri vytvorení modelu

chová ako do série zapojené kondenzátory. Ak vyberieme z tohto komplexu jeden element (jednu vrstvu), potom náhradný model a z toho vyplývajúcu elektrofyzikálnu interpretáciu môžeme uviesť nasledovne.

Musíme vychádzať z energetickej bilancie (rovnováhy) [2], na základe ktorej v dôsledku triboefektu (trenie, pohyb) náboje usadzujúce sa, resp. tvoriace sa na elemente povrchu fólie sú v rovnováhe s prúdom i_0 odtekajúcim z tohto povrchu, čo sa dá vyjadriť vzťahom:

$$(1) \quad \frac{dQ}{dt} = i_0 = i_R + i_C$$

a znázorniť schematicky takto:



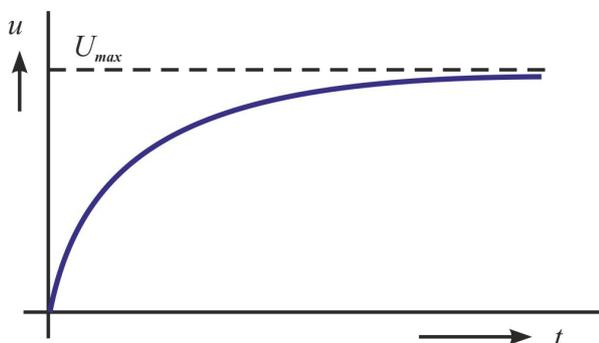
Obr.1. Elementárny prúd odvádzajúci náboje z dielectrickej fólie na zem

Riešenie elektrického obvodu na obrázku 1 vedie k diferenciálnej rovnici tohto tvaru:

$$(2) \quad C \cdot \frac{du}{dt} + \frac{u}{R} = i_0$$

Výpočtom dostávame priebeh napätia u v závislosti na čase t :

$$(3) \quad u(t) = i_0 \cdot R \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$



Obr.2. Priebeh napätia na modeli kondenzátora

Získaná rovnica poukazuje na to, že v závislosti na čase dochádza k saturácii napätia U_{max} (obrázok 2) na náhradnom modeli kondenzátora o kapacite C a paralelne pripojenom odpore R :

$$(4) \quad U_{max} = i_0 R$$

Maximálna hodnota náboja na R-C elemente bude:

$$(5) \quad Q_{max} = i_0 \cdot R \cdot C$$

príčom sme vychádzali zo základného vzťahu $Q_{max} = C \cdot U_{max}$. Ak dosadíme do rovnice (5) reálne hodnoty hrúbky h a plochy S sledovanej fólie, dostávame:

$$(6) \quad Q_{max} = i_0 \cdot \rho \cdot \frac{h}{S} \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{h} = i_0 \cdot \rho \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Tým, sme dokázali, že veľkosť náboja na fólii priamo súvisí so základnými materiálovými vlastnosťami fólií, prípadne plochých izolantov a to s merným odporom ρ a s relatívnou permitivitou látky ϵ_r .

Vyššie uvedený výpočet nezohľadňuje klimatické podmienky okolia.

Meranie dielektrických vlastností fólií

Vychádzajúc z teoretických základov popisujúcich vznik elektrických nábojov čo bolo popísané v predchádzajúcej kapitole sme sa orientovali na experimentálnu analýzu dielektrických vlastností v technológii aplikovaných materiálov.

Dielektrické vlastnosti boli merané na fóliách uvedených v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Vybrané fólie na meranie dielektrických vlastností

Druh fólie	Hrúbka fólie [mm]
polopriesvitný polyester	0,105
polyvinylfluorid	0,035
polymérna pryž tenšia	1,840
polymérna pryž hrubšia	3,370
drsná pryž	2,13

Poznanie komplexných vlastností si vyžadovalo meranie týchto parametrov:

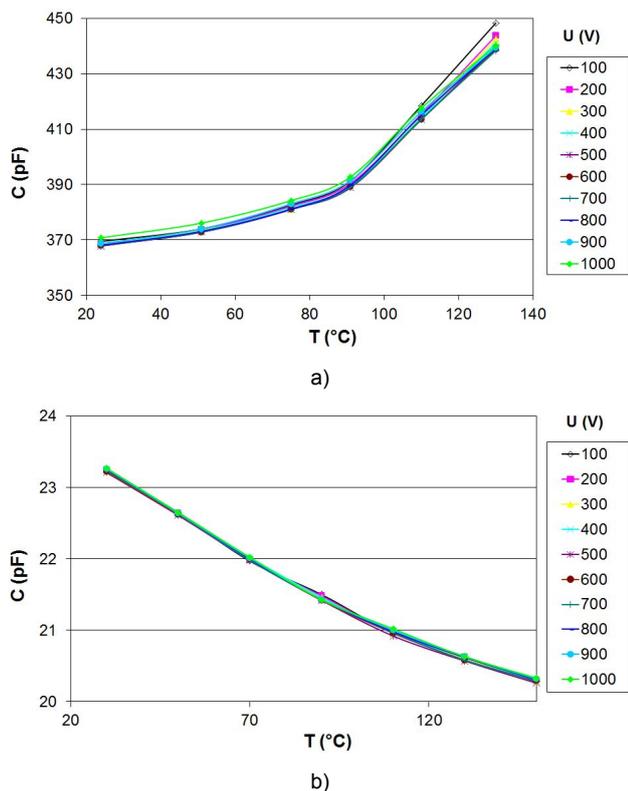
- relatívna permitivita,
- činiteľ dielektrických strát,
- izolačný resp. merný odpor.

Keďže fóliové, prípadne plošné polymérne materiály boli v praxi aplikované pri nízkych frekvenciách, všetky merania boli realizované pri priemyselnej frekvencii 50Hz.

Predložené vzorky boli merané pri termoelektrickom namáhaní, čo umožnila meracia sústava firmy TETEX-Instruments. Vzorky počas merania boli zaťažované závažím o konštantnej hmotnosti.

Keďže merania boli realizované na fóliách o malej hrúbke, merané vzorky boli doplnené „elektrodami“ nanosenými vo forme pasty. Tým sa vytvorili polovodivé vrstvy, ktoré fyzikálno-chemicky nereagovali s podkladovým materiálom. Zabránili sme týmto postupom vzniku vzduchových „podušiek“ medzi extrémne hladkými kovovými elektrodami trojelektrodového systému a medzi nepokrytou fóliou. Vo vzduchových dutinách „poduškovitého“ tvaru sa pri vyššom gradiente poľa vytvárali elektrické výboje, ktoré rušili meranie. Nastali však aj napriek tomu nepriaznivé prípady, ktoré sa prejavili pri hodnotách činiteľa dielektrických strát. Pri meraní elektrickej pevnosti odporúčame vzorky ponoriť do izolačnej kvapaliny nepolárneho charakteru, čím sa v značnej miere potlačia povrchové výboje. Význam realizovaných meraní spočíval aj v tom, že bolo poukázané na kvalitatívne rozdelenie aplikovaných materiálov do kategórie

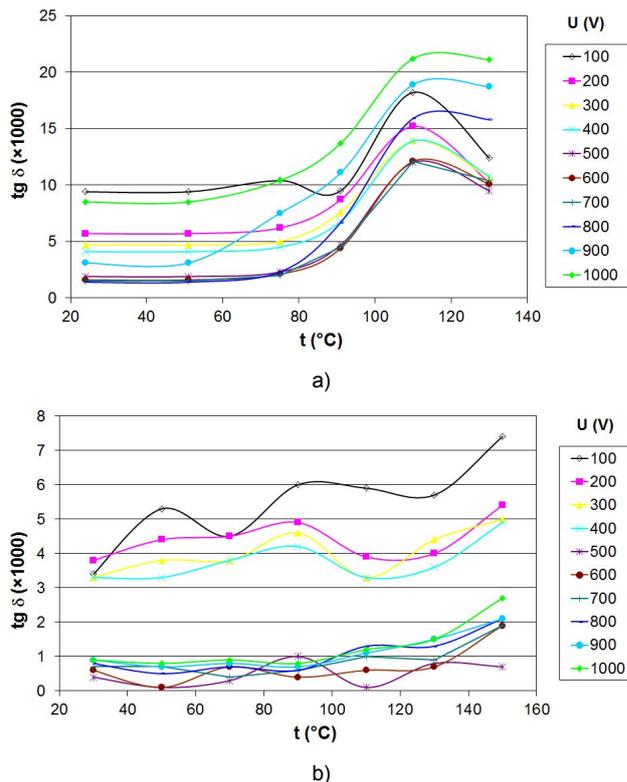
slabopolárnych a polárnych látok, čo je z hľadiska ich nabíjateľnosti veľmi dôležité. Ďalším dôležitým faktorom bolo to, že sme exaktne poukázali na rozdiel medzi hodnotenými materiálmi z hľadiska kompaktnosti skúmanej látky. Pokiaľ prvé dve látky (polyester a polyvinylfluorid) predstavujú z hľadiska usporiadania polymérnych reťazcov látky kompaktné, bez vzduchových dutín a defektov, zatiaľ látky pryzového charakteru sa vyznačujú hubovitou stavbou, ktorá veľmi silne závisí od teploty a tlaku a prirodzene aj od výšky priloženého napätia. V tom vidíme nestabilitu elektrofyzikálnych vlastností ako aj odlišný charakter priebehu závislostí $C(T)$ (obrázok 3), prípadne značné výkyvy $\text{tg } \delta$ pri pôsobení teploty resp. elektrického poľa.



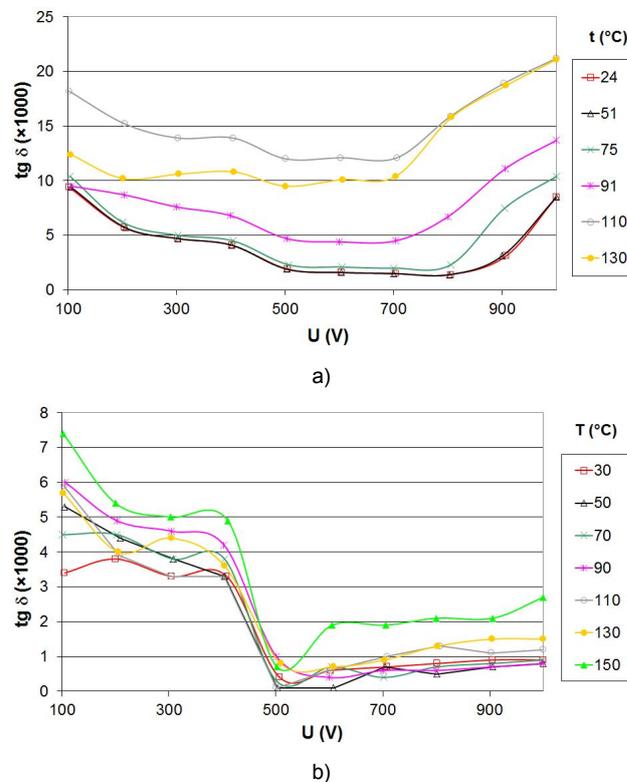
Obr.3. Závislosť kapacity fólie od teploty pri konštantnom napätí pre a) polyesterovú fóliu a pre b) drsnú pryž

Pokiaľ vo všeobecnosti sa očakáva pri zvyšovaní teploty stúpanie hodnoty kapacity, čo vysvetľujeme aktivizáciou slabopolárnych molekúl danej látky, v pórovitých látkach s hubovitou štruktúrou zvyšovaním teploty dochádza k uvoľňovaniu mechanických bariér v látke, k jej stláčaniu pôsobením konštantnej hmotnosti elektródy a závažia a tým k zahusťovaniu. Našu hypotézu o hubovitej stavbe materiálu a o jej vplyve na elektrické vlastnosti potvrdzuje aj tá skutočnosť, že sa neštandardne mení hodnota činiteľa dielektrických strát po prekročení teplôt nad 60-70°C (obrázok 4), kedy dochádza postupne k eliminácii defektných miest obsahujúcich vzduch, prípadne zmes plynov. Kombinácia izolant – plyn vyvoláva vznikajúce podmienky pre vznik ionizácie v plynnom prostredí. Pri jednoduchom výpočte sa dá dokázať v podmienkach nami skúmaných izolačných materiálov, že stupeň ionizácie nastáva už v okolí 10^7 V/m. Tento nepriaznivý efekt je zaznamenaný aj pri vyšších napäťových hladinách (nad 0,8 kV) v prípade kompaktných materiálov v dôsledku aktivizácie povrchových výbojov na okraji elektród. Je pozoruhodné, že v prípade všetkých troch pryzovitých látok dochádza k útlmu činiteľa dielektrických strát pri napätí v okolí 500 V (obrázok 5). Predpokladáme, že tlak plynovej

náplne v plynových uzáveroch zvyšuje hodnotu zápalného napätia v zmysle Paschenovho zákona.



Obr.4. Závislosť $\text{tg } \delta$ fólie od teploty pri konštantnom napätí pre a) polyesterovú fóliu a pre b) drsnú pryž



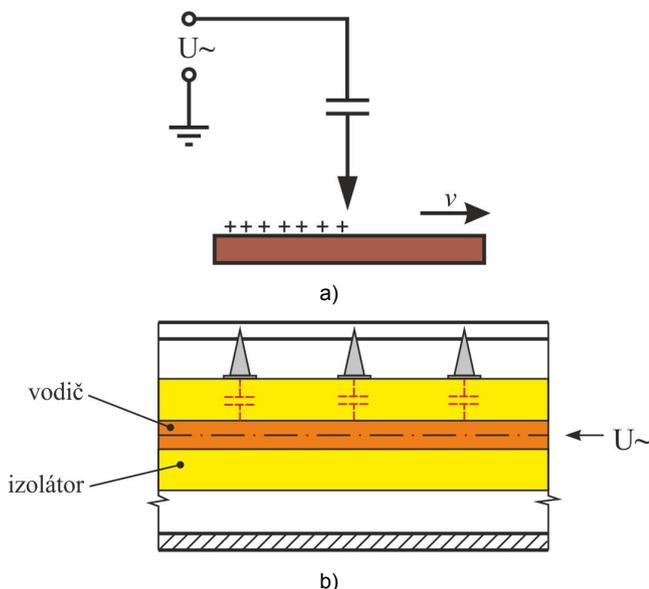
Obr.5. Závislosť $\text{tg } \delta$ od priloženého napätia pri konštantnej teplote pre a) polyesterovú fóliu a pre b) drsnú pryž

Neutralizácia povrchových nábojov

Bezporuchový technologický proces pri spracovaní polymérnych fólií a podporných materiálov sa dá dosiahnuť

pod podmienkou eliminácie povrchových elektrických nábojov, ktoré vznikajú na povrchoch fóliových izolantov spravidla triboefektom [1].

Existuje celý rad spôsobov, ktoré zabezpečujú neutralizáciu elektricky nabitých fólií. Vzhľadom na možnosť vzniku kladných resp. záporných elektrických nábojov na povrchu polymérnej fólie sa bežne aplikujú neutralizátory napájané striedavým vysokým napätím o frekvencii 50 Hz. Ide o korónujúci – ionizačný typ eliminátora náboja, ktorý patrí do kategórie aktívnych neutralizátorov [1].



Obr.6. Beziskrový neutralizátor napájaný striedavým napätím; a) princíp, b) kapacitne oddelené korónujúce elektródy neutralizátora

Z hľadiska bezpečnosti práce sa odporúča použiť typ beziskrového aktívneho neutralizátora. Jeho funkcia pri napájaní zo zdroja striedavého napätia spočíva v tom, že vysokonapäťový obvod je kapacitne oddelený od radu vysokonapäťových korónujúcich hrotových elektród (obrázok 6) [1].

Záver

Článok poukazuje na nepriaznivý vplyv generovaných elektrostatických nábojov triboefektom, ktorý spôsobuje ukladanie prachových častíc na fólie čo spôsobuje problémy pri ďalšom použití fólií. V článku je odvodená závislosť medzi povrchovým nábojom a dielektrickými vlastnosťami fólií. Meraním týchto vlastností boli zistené značné rozdiely medzi jednotlivými materiálmi a s tým súvisia rôzne hodnoty povrchových nábojov.

Eliminácia nepriaznivých účinkov povrchových nábojov sa dá dosiahnuť efektívnou neutralizáciou. Pre tieto účely sa odporúča neutralizátor statických nábojov na princípe neutralizátora na striedavé napätie.

Na zlepšenie prostredia je vhodné eliminovať prachové častice v priestore technologického procesu. Vhodnou filtráciou vzduchu je možné dosiahnuť vysokú čistotu ovzdušia. Na filtrovanie vzduchu je možné použiť elektrostatické filtre rôznych typov, ktoré s vysokou účinnosťou dokážu odstrániť prachové častice z filtrovaného vzduchu [2].

Literatúra

- [1] Marton, K.: Štúdium unipolárneho korónového výboja a jeho využitie v praxi. Doktorská dizertačná práca. Košice 1989.
- [2] Džmura, J.: Nabíjateľnosť a transport častíc makroskopické veľkosti v silne nehomogénom elektrickom poli. Dizertačná práca, Košice, 2002.



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.

Autori: Jaroslav Džmura, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Mäsiarska 74, 041 20 Košice, E-mail: jaroslav.dzmura@tuke.sk.
Jaroslav Petráš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Mäsiarska 74, 041 20 Košice, E-mail: jaroslav.petras@tuke.sk.
Jozef Balogh, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Mäsiarska 74, 041 20 Košice, E-mail: jozef.balogh@tuke.sk.