

Jaroslav Džmura, Jaroslav Petráš, Jozef Balogh

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

Verifikácia eliminácie povrchových nábojov

Abstrakt. Článok popisuje spôsoby merania hustoty povrchového náboja na polymérnych fóliách v technologických procesoch. Tieto merania slúžia ako verifikácia eliminácie povrchového náboja na týchto fóliách.

Abstract. This paper describes measurement methods of surface charge density on polymer foils during technological processes. These measurements serve as verification of surface charge elimination on such foils.

Kľúčové slová: povrchový náboj, meranie náboja.

Keywords: Surface charge, charge measurement

Úvod

Vo viacerých technologických procesoch sa používajú polymérne fólie ako súčasť zariadení alebo ako produkty týchto procesov. V dôsledku triboefektu pri pohybe takýchto fólií (odvíjanie z pásu a pod.) sa na ich povrchu vytvára povrchový náboj, ktorý často má nepriaznivé účinky na technologický proces, obslužný personál alebo na samotný produkt (zalisovanie nečistôt, pritiažnutých na povrch fólií vplyvom elektrických síl).

Takýto povrchový náboj sa dá odstrániť uzemnením zariadení, ktoré sú v kontakte s týmto materiálom alebo vhodnou neutralizáciou.

Eliminácia povrchového náboja by mala byť kontrolovaná v priebehu technologického procesu.

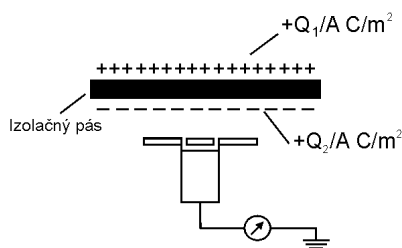
Jednou z metód verifikácie je meranie plošnej hustoty náboja.

MERANIE PLOŠNEJ HUSTOTY NÁBOJA

Vo všeobecnosti sa meranie plošnej hustoty náboja realizuje meračom intenzity poľa, ktorý sa priblíži k nabitému povrchu. Merač intenzity poľa má byť jediným uzemneným objektom v blízkosti izolačnej podložky, na ktorej sa meria plošný náboj. Keď sú náboje rozmiestnené po oboch stranách povrchu, ako na obr.1, údaj na merači intenzity poľa E odpovedá plošnej hustote náboja $(Q_1 - Q_2)/A$ podľa vzťahu:

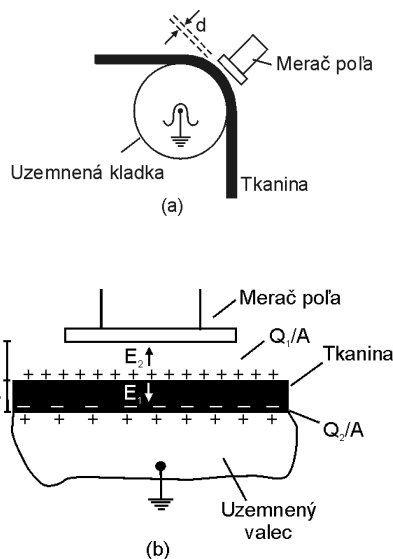
$$(1) \quad E = \left(\frac{1}{\epsilon_0 A} \right) (Q_1 - Q_2)$$

Predpokladajme, že materiál, na povrchu ktorého sa nachádza náboj je dobrý izolant (papier, plast alebo guma), potom silné elektrické pole vo vnútri materiálu (spôsobené protikladnými plošnými nábojmi) nebude mať veľký vplyv ani na zväčšenie vodivosti ani na elektrický prerez. Vonkajšie elektrické pole vyvolané povrchovým nábojom môže viesť k rôznym javom [1].



Obr.1. Meranie povrchového náboja na izolačnej podložke

Vo väčšine prípadov nás zaujíma plošná hustota náboja alebo externé elektrické pole. Taktiež je možné merať povrchovú hustotu náboja na jednotlivých povrchoch redukovaním a zanedbaním hodnoty vonkajšieho elektrického poľa spôsobeného nábojom na jednom z povrchov. Toto je možné dosiahnuť tak, že pás prechádza ponad uzemnený vodivý valec s veľkým priemerom, ako je to zobrazené na obr. 2. Náboj na povrchu materiálu, ktorý sa dotýka valca, je dokonale viazaný s indukovaným nábojom na samotnom valci a nie je zachytený meračom [2].



Obr.2. Meranie hustoty povrchového náboja na materiáli: (a) fyzické usporiadanie, (b) zjednodušený model pre analýzu

Náboj na povrchu materiálu odvedený valcom sa spriahne s remenicou aj s uzemneným meračom elektrického poľa. Ak uvažíme, že E_1 a E_2 majú opačné znamienka, potom na základe rovnice (1) môžeme napísať:

$$(2) \quad \frac{Q_1}{A} = \epsilon_r \epsilon_0 E_1 + \epsilon_0 E_2$$

a

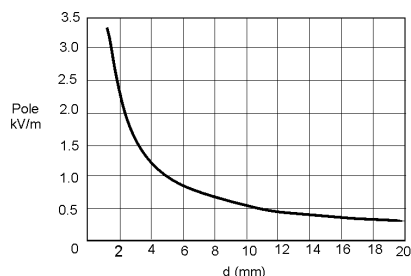
$$(3) \quad E_2 d = E_1 s$$

kde s je hrúbka látky a d je vzdialenosť merača od povrchu látky. Kombináciou rovníc (2) a (3) dostaneme výraz pre

hľadajú povrchovú hustotu náboja, z hľadiska meraného elektrického poľa E_2 :

$$(4) \quad \frac{Q_1}{A} = \varepsilon_0 E_2 \left(\frac{\varepsilon_r d}{s} + 1 \right)$$

Pre povrchovú hustotu náboja, Q_1/A rovnému 10^{-7} C/m^2 na látke s relatívnou permitivitou $\varepsilon_r = 2$ a hrúbkou $s=1\text{mm}$, je závislosť elektrického poľa E_2 od vzdialenosti d zobrazená na obr. 3.



Obr.3. Závislosť elektrického poľa E od vzdialenosti d od povrchu tkaniny

Je zrejmé, že E_2 je pomerne malé keď $d \gg s$. Ak zmenšujeme d zväčšuje sa E_2 , ale tiež rastie percentuálna chyba v odhade hodnoty d . Preto nie sú takéto zariadenia vhodné na tento typ merania, problém ešte narastá ich nejasne vymedzenou „snímacou plochou poľa“, čo obmedzuje najmenšiu vzdialenosť merača poľa pri dodržaní prijateľnej presnosti. Alternatívne je možné použiť indukčnú sondu relatívne malého priemeru.

Odporúča sa po meraní Q_1/A vyhodnotiť hustotu náboja $-Q_2/A$ tak, že pás prechádza druhým valcom, pričom teraz sa dotýka valca opačný povrch pásu s hustotou náboja Q_1/A a merateľ elektrické pole rovnakým spôsobom. Zatiaľ čo tento postup je v princípe dobrý treba pamätať na to, že pri meraní Q_1/A sa kontaktným nabíjaním valca od povrchu pásu značne ovplyvní hodnota $-Q_2/A$

Hustotu povrchového náboja možno merať aj pomocou Q_1/A a potom použiť vzťah (1) na odvodenie $-Q_2/A$ ak už je známe Q_1/A .

PRIESTOROVÉ ROZDELENIE PRI MERANIACH POVRCHOVÉHO NÁBOJA

Pre väčšinu situácií postačuje poznať strednú hodnotu povrchovej hustoty náboja alebo výsledné elektrické pole. V prípadoch, kedy je dôležité poznať priestorové rozdelenie náboja napr. študovanie pohybu náboja po povrchu vzorky zapríčineného gradientom hustoty náboja, alebo sledovanie nabitej predlohy na exponovanom fotočlánku v xerografickom stroji sa používa indukčná sonda s vysokým rozlíšením, kde snímaciu časť tvorí jemný drôt obklopený ochrannou elektródou udržiavanou na vhodnom napätí.

V prípade, kedy tenká izolačná vrstva je položená priamo na uzemnenom vodiči a jej voľná časť má priestorovo nehomogénny kladný náboj s plošnou hustotou náboja ρ_s . Zostava sonda/zem je uložená blízko povrchu a na vybudenie uzemnenej elektródy na rovnaký potenciál ako vodič sondy sa použije „unity-gain“ zosilňovač s vysokou vstupnou impedanciou.

Pre zjednodušenie analýz sa predpokladá, že:

- zosilňovač je ideálny, t.j. nie je žiadny vstupný kľudový prúd a má nekonečný vstupný odpor,
- sonda je dosť blízko k povrchu vzorky a ochranná elektróda má taký tvar, že je možné považovať

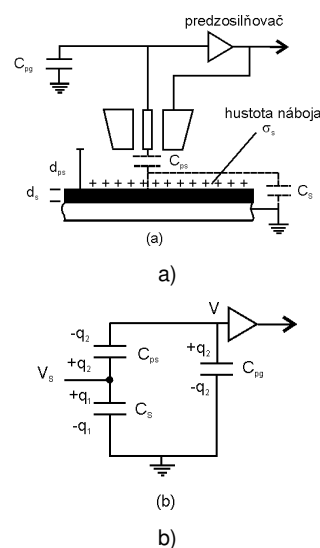
poľe medzi sondou a vzorkou povrchu za homogénne.

Vzájomné prepojenie sonda/vláknko v náhradnom obvode je možno vidieť na obr.4. Oblasť tenkej vrstvy pozorovateľná sondou označíme ako A. Povrchový náboj na vzorke ($q=q_1+q_2$), ktorý vedie k vzniku napätia V_S na povrchu vzorky, sa delí medzi kapacitou vzorky C_S a sériovou kombináciou kapacít vzduchového priestoru C_{ps} a celkovou kapacitou k uzemneniu C_{pg} na vstupe zosilňovača.

$$(5) \quad q_2 = (V_S - V)C_{ps} = VC_{pg}$$

po úprave dostaneme:

$$(6) \quad V_S = \frac{C_{ps} + C_{pg}}{C_{ps}} V$$



Obr.4. Ukážka snímania indukčnou sondou (a) experimentálne usporiadanie, (b) zjednodušený náhradný obvod

V je elektrické napätie na vstupe zosilňovača. Povrchová hustota náboja na vzorke je daná:

$$(7) \quad A\sigma_s = q_1 + q_2 = C_S V_S + C_{pg} V$$

Substitúciou zo vzťahu (6) potom dostaneme

$$(8) \quad A\sigma_s = \frac{C_S(C_{ps} + C_{pg})}{C_{ps}} V + C_{pg} V$$

ktoré po úprave umožní vypočítať priamo V , t.j.

$$(9) \quad V = \frac{A\sigma_s C_{ps}}{C_{ps}(C_S + C_{pg}) + C_S C_{pg}}$$

Vo väčšine praktických príkladov $C_{ps} \ll C_{pg}$ a C_S . Ak platí táto podmienka rovnica (9) sa zjednoduší na

$$(10) \quad V = \frac{AC_{ps}}{C_S C_{pg}} \sigma_s$$

Za predpokladu, že snímaná vzorka ostane nezmenená (napr. C_{ps} sa nemení) a je rovnakej hrúbky (C_S je fixné), elektrické napätie je priamo úmerné hustote povrchového náboja pod ňou. Ak sonda sníma náboj po povrchu vzorky,

výsledné elektrické napätie je priamo úmerné lokálnej hustote náboja.

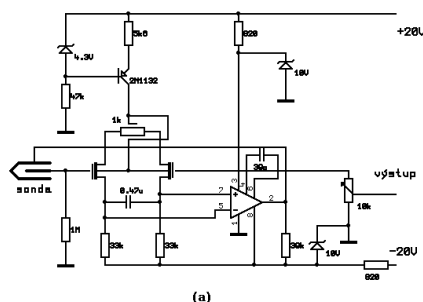
V praxi, konečný odpor vstupu, R_{pg} , predzosilňovača vkladá prevádzkové obmedzenia. Pre rovnakú hustotu povrchového náboja σ_s , výstupné elektrické napätie V nemá v podstate nemennú hodnotu ako podľa vzťahu (10), ale je exponenciálnou rozkladovou funkciou času s časovou konštantou $R_{pg}C_{pg}$, takže

$$(11) \quad V(t) = V_0 \exp\left(-\frac{t}{R_{pg}C_{pg}}\right)$$

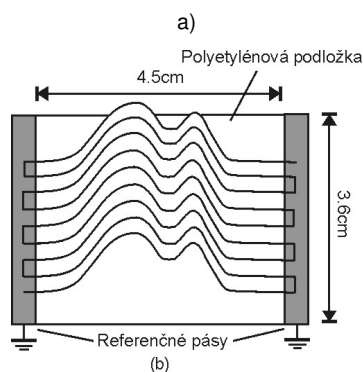
kde t je čas, ktorý uplynie od začiatku merania a V_0 je začiatková meraná hodnota. Ak uvažíme situáciu, kde sonda sníma ponad tenkú vrstvu 10 s a povolená chyba v meraní σ_s nesmie presiahnuť 1%, t.j.

$$(12) \quad 1 - \exp\left(-\frac{t}{R_{pg}C_{pg}}\right) < 0.01$$

takže ak $C_{pg} = 10$ pF, potom $R_{pg} > 10^{14} \Omega$. Takýto vstupný odpor nie je ťažké dosiahnuť ak predzosilňovač má vstupný MOSFET tranzistor. Je nutné pravidelne sondu kalibrovať, keď je v presne definovanom elektrostatickom prostredí.



(a)



(b)

Obr.5. Ukážka snímania indukčnou sondou (a) predzosilňovač s nulovacím obvodom, (b) nákras rozloženia plošného náboja

Pre dosiahnutie výpovedeschponých údajov nábojovej hustoty musíme venovať starostlivú pozornosť pripevneniu sondy/vzorky a mechanizmom nastavenia.

Zo vzťahu (10) je zrejme, že pre danú hustotu náboja signál sondy je maximálny ak $A \cdot C_{ps}$ bude čo najväčšie. Prierezová plocha sondy A je určená požadovaným odporom, zatiaľ čo maximálne C_{ps} vyžaduje, aby d_{ps} bolo čo najmenšie. Avšak rozdiely vo vzdialenosti d_{ps} sonda - vzorka vedú k zodpovedajúcim chybám výstupného napätia, takže

musíme akceptovať kompromis, určený pozičnou presnosťou povrchu vzorky. Ďalšie meranie je závislé od rovnomernosti hrúbky vzorky a pomeru odolnosti pohybujúceho sa držiaka vzorky.

Empiricky bolo dokázané, že odpor je 1,5 násobkom priemeru sondy, alebo vzdialenosti sonda - vzorka. Optimálny pomer presnosť/odpor/pomer signál-šum dosiahneme kompromisom ak d_{ps} sa rovná priemeru sondy.

V praxi je ťažké zredukovať d_{ps} pod 300 μ m. S 300 μ m priemerom sondy umiestnenou nad 100 μ m hrubou vzorkou, ktorej povrchová hustota náboja je 1 μ C/m² dosiahneme signálové napätie okolo 2 mV.

Obr. 5 ukazuje predzosilňovač a nulovo nastavený obvod spolu s diagramom rozlíšenia hustoty náboja na nabitaj polyetylénovej ploche. X a Y signály získané zo senzorov umiestnených na vzorke sa používajú na vedenie X-Y záznamníka a výstup hustoty náboja zo sondy je napojený ako Y-modulačný signál.

Je treba poznamenať, že hustota náboja na povrchu vzorky je dostatočne veľká, a tak môže vzniknúť plynový výboj medzi povrchom vzorky a sondou alebo ochrannou elektródou. Takýto výboj by určite viedol k chybným záznamom a mohol by poškodiť predzosilňovač.

Záver

Pri technologických procesoch používajúcich fólie z nevodivých materiálov sa môžu na ich povrchu vyskytovať parazitné elektrické náboje ovplyvňujúce technologické procesy a ich produkty.

Do týchto procesov je vhodné zaradiť snímače týchto nábojov, z dôvodu verifikácie činnosti neutralizátorov plošných nábojov.

Pri meraní plošnej hustoty náboja je jedným z výz-namných prvkov meracej zostavy nábojový zosilňovač, ktorého vstupný odpor by mal byť čo najväčší, čo je možné dosiahnuť napr. zapojením MOSFET tranzistorov.

Poukázali sme na meranie plošnej hustoty náboja, fyzické usporiadanie a zjednodušený model pri jej meraní indukčnou sondou.

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 makroskopickej 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.