

Ocena rozkładu ładunku na powierzchni elektretów

Streszczenie. Przedstawiono zagadnienia związane z oceną stanu naelektryzowania materiału polimerowego. Badania wykonano na próbkach z polichlorofluoroetyleny (PTFE), poddając je wcześniej elektryzacji metodą wyładowania koronowego w układzie powietrznej triody. Napięcie zastępcze elektretów badano metodą kompensacyjną. Ocenę jednorodności rozkładu ładunku elektrycznego na powierzchni elektretów wyznaczano z wykorzystaniem indukcyjnej sondy pomiarowej.

Abstract. We present issues related to the assessment of static electricity in the polymeric material. Tests were performed on samples of polytetrafluoroethylene (PTFE), before subjecting them to the electrification of the corona discharge in an air triode system. Equivalent voltage of electrets studied by compensation method. The evaluation of uniformity of distribution of the electric charge on the surface of electrets determined using the inductive probe. (Evaluation of the charge distribution on the electrets surface)

Słowa kluczowe: politetrafluoroetylen, elektret, wyładowanie koronowe, rozkład ładunku powierzchniowego

Keywords: polytetrafluoroethylene, electret, corona discharge, surface charge distribution

Wstęp

Elektret wytwarza w swoim otoczeniu trwałe, zewnętrzne pole elektryczne. Źródłem pola w elektrecie są nagromadzone w nim ładunki elektryczne lub wytworzony w dielektryku „zamrożony” stan polaryzacji. Elektrety, stosowane w praktycznych rozwiązaniach, muszą cechować się stabilnymi parametrami elektrostatycznymi w czasie całego okresu eksploatacji w urządzeniu. Do tych parametrów należy zaliczyć: napięcie zastępcze U_z , rozkład gęstości ładunku na powierzchni oraz trwałość ładunku, określaną za pomocą tzw. czasu życia [1]. Otrzymanie elektretów o wymaganych właściwościach zależne jest od materiału przeznaczanego do formowania, w szczególności od zdolności trwałego gromadzenia ładunku, warunków procesu elektryzacji, a także czynników środowiskowych. Zagadnienia te szeroko poruszane są w literaturze, między innymi w publikacjach [2,3,4].

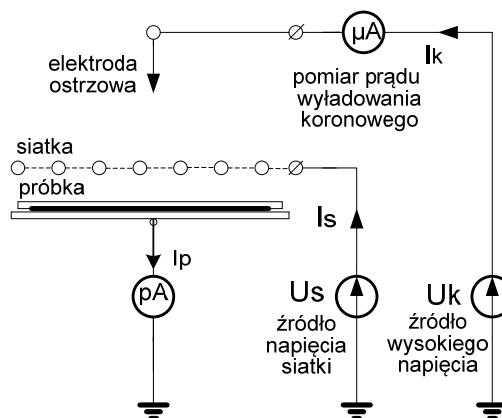
W pracy [2] przedstawiono analizę charakterystyk napięcia zastępczego w funkcji czasu $U_z = f(t)$ dla próbek z PTFE, formowanych dodatnim, jak i ujemnym ulotem. Po procesie elektryzacji, elektrety przechowywano w środowisku o wilgotności 70 lub 100 %. Stwierdzono, że stabilność napięcia zastępczego w czasie dla elektretów formowanych ujemnym ulotem jest wyższa w porównaniu z próbkami formowanymi ulotem dodatnim, a elektrety przechowywane przy niższej wilgotności powietrza charakteryzowały się większą stabilnością ładunku. W pracy [3] przedstawiono wpływ napięcia siatki, w układzie powietrznej triody, na rozkład napięcia zastępczego na powierzchni elektretu. Pokazano, że próbki formowane przy napięciu siatki równym 1000 V, w porównaniu z próbkami elektryzowanymi przy niższych wartościach napięcia, charakteryzują się dużą jednorodnością rozkładu ładunku. Praca [4] dotyczy analizy rozkładu ładunku na powierzchni izolatora z PTFE. W badaniach wykorzystano sondę indukcyjną o średnicy elektrody pomiarowej 0,5 mm. Wyskalowano ją przez pomiar amplitudy sygnału wyjściowego, odczytanego dla wybranych wartości napięcia (natężenia pola elektrycznego) na elektrodzie pomiarowej. Przeskanowanie badanego izolatora sondą, pozwoliło na ocenę rozkładu ładunku na jego powierzchni.

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań napięcia zastępczego w funkcji czasu oraz rozkładu ładunku na powierzchni elektretów z PTFE, formowanych w temperaturze otoczenia lub w temperaturze 100°C. Pomiar napięcia zastępczego wykonano metodą kompensacyjną. Rozkład ładunku na powierzchni elektretów wyznaczono stosując zaprojektowaną i skonstruowaną sondę indukcyjną o średnicy elektrody pomiarowej 0,3 mm.

Formowanie elektretów

Na rysunku 1 przedstawiono stanowisko do wytwarzania elektretów metodą wyładowania koronowego. Konstrukcja stanowiska umożliwiała wstępne wygrzewanie folii przed procesem elektryzacji i formowanie elektretów w warunkach otoczenia oraz w wybranej temperaturze.

Elektrety formowano z folii z polichlorofluoroetyleny (PTFE) o grubości 0,1 mm. Przygotowaną próbkę, z jednostronnie naniesioną elektrodą grafitową, umieszczono pod elektrodą ostrzową. Pomiędzy elektrodą ostrzową a próbką zamocowano, na izolatorze, siatkę. Elektrode próbki połączono z potencjałem ziemi za pośrednictwem pikoamperomierza. Umożliwiło to pomiar prądu płynącego przez próbkę w czasie procesu formowania. Formowanie prowadzono w powietrzu, w temperaturze pokojowej oraz w temperaturze 100°C, przy stałym napięciu siatki $U_s=1400V$. Napięcie ulotu U_k ustalono na 13 kV. W czasie procesu formowania, regulację temperatury próbki, zapewniono seryjnie produkowanym regulatorem RE 72 firmy Lumel S.A. w Zielonej Górze.



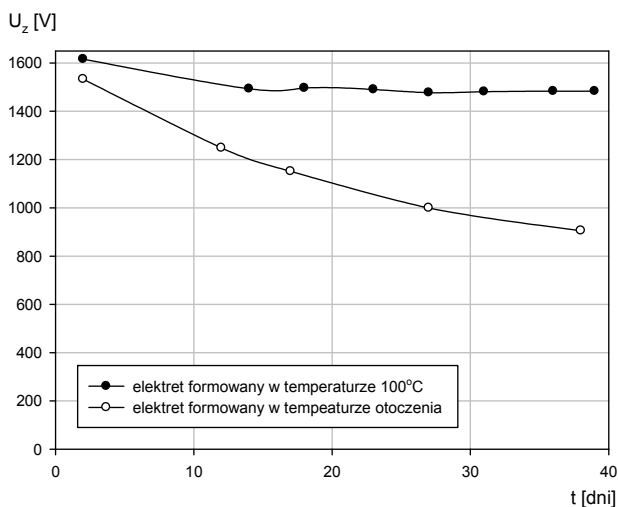
Rys.1. Schemat ideowy układu do formowania elektretów

Próbki, po zakończeniu formowania, umieszczono stroną pokrytą grafitem na dnie metalowego pojemnika i przechowywano w temperaturze otoczenia. Pomiary napięcia zastępczego U_z elektretów wykonano metodą kompensacyjną, przy użyciu głowicy wibracyjnej jako detektora zera [5], po dobowej przerwie od momentu zakończenia procesu formowania. Efektywną gęstość ładunku powierzchniowego q_{SA} , wyznaczano z zależności [5]:

$$(1) \quad q_{SA} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r U_z}{d}$$

gdzie: q_{SA} – efektywna gęstość ładunku powierzchniowego, U_z – napięcie zastępcze, d – grubość próbki, ε_r – względna przenikalność elektryczna dielektryka, ε_0 – przenikalność elektryczna próżni.

Dla oceny stabilności ładunku uformowanych elektretów, wykonano badania napięcia zastępczego U_z w funkcji czasu. W czasie cyklu pomiarowego, próbki przechowywano w warunkach otoczenia. Otrzymane wyniki pozwoliły porównać zmiany napięcia zastępczego próbek formowanych w temperaturze 100°C z próbkami formowanymi w temperaturze otoczenia. Przebieg zmian napięcia zastępczego wybranych elektretów w funkcji czasu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność napięcia zastępczego elektretów w funkcji czasu

Stwierdzono, że próbka formowana w podwyższonej temperaturze charakteryzuje się większą stabilnością ładunku w porównaniu z próbką uformowaną w temperaturze otoczenia. Próbka elektryzowana w temperaturze 100°C wykazuje 8 % spadek napięcia zastępczego w czasie pierwszych piętnastu dni, by następnie utrzymywać względnie stałą wartość w pozostałym czasie pomiaru. Elektret formowany w temperaturze pokojowej charakteryzuje się wyraźnym spadkiem napięcia U_z . Po czterdziestodniowym okresie przechowywania, wartość napięcia zastępczego zmniejszyła się o 41 % w stosunku do wartości napięcia bezpośrednio po procesie formowania.

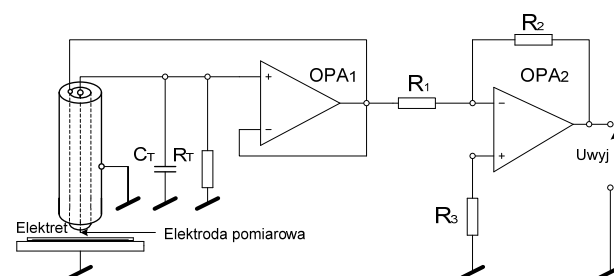
Wyniki przedstawione na rysunku 2 wskazują także, że temperatura formowania ma wpływ na wartość napięcia zastępczego elektretu.

Próbki formowane w temperaturze otoczenia wykazują, po kilkudniowym okresie przechowywania, napięcie zastępcze mniejsze o ok. 5 % w porównaniu z próbkami elektretowymi elektryzowanymi w tym samym stanowisku i z zachowaniem tych samych parametrów elektryzacji, ale formowanych przy podwyższonej temperaturze.

Indukcyjna sonda pomiarowa

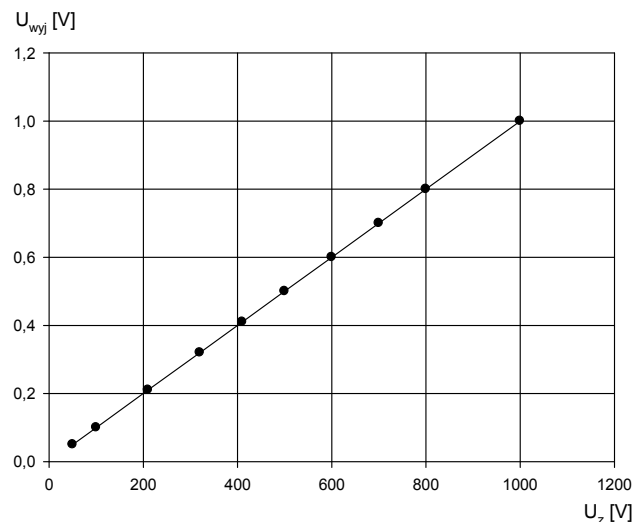
Na rysunku 3 przedstawiono schemat ideowy zaprojektowanej i wykonanej sondy indukcyjnej do pomiaru rozkładu napięcia zastępczego na powierzchni elektretu. Projekcja ładunku w kierunku normalnym do powierzchni próbki indukuje na elektrodzie pomiarowej sondy sygnał proporcjonalny do gęstości powierzchniowej ładunku. Na

wejściu sondy zastosowano układ z wykorzystaniem wtórnika napięciowego, separujący dużą impedancję wejściową od małej wyjściowej. Doprowadzenie sygnału z elektrody pomiarowej sondy do pierwszego stopnia wzmacniacza, otoczono ekranem wewnętrznym. Ekran dołączono bezpośrednio do wyjścia wzmacniacza. Zastosowanie rozwiązania, w którym ekran wewnętrzny jest polaryzowany napięciem wyjściowym, pozwala zredukować pojemność wejściową C_T i znacząco zwiększyć czułość napięciową sondy [6]. Układ elektroniczny sondy zawiera wzmacniacze OPA₁ i OPA₂ umieszczone w ekranowanej obudowie. Zakładając wzmocnienie pierwszego stopnia układu separacyjnego na poziomie 1, wzmocnienie sygnału dla uzyskania zadanego poziomu wyjściowego zrealizowano w drugim stopniu wzmacniacza [7]. Wzmacniacz pracuje w układzie odwracającym fazę ze sprzężeniem zwrotnym.



Rys. 3. Schemat ideowy indukcyjnej sondy pomiarowej

Charakterystykę skalowania sondy pomiarowej $U_{wyj} = f(U_z)$ przedstawiono na rysunku 4. Skalowanie wykonano przez pomiar amplitudy sygnału otrzymanego na wyjściu sondy przy pobudzeniu jej wzorcową wartością pola elektrycznego z elektrody pomiarowej.

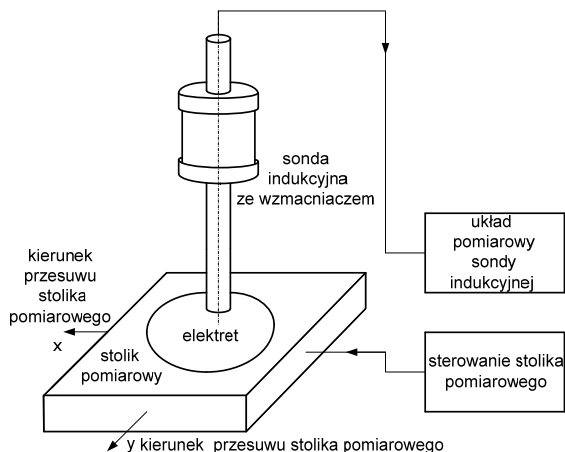


Rys. 4. Zależność sygnału wyjściowego sondy od napięcia zastępczego elektretu

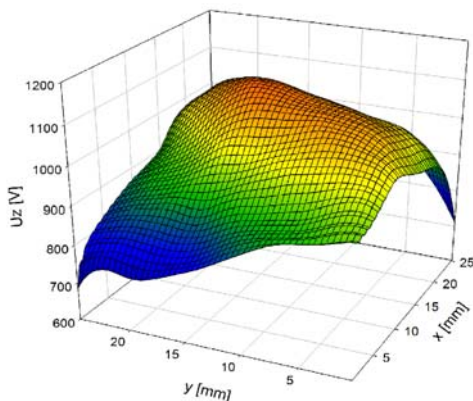
Badania powierzchniowego rozkładu ładunku

Konstrukcję stanowiska do pomiaru rozkładu ładunku na powierzchni próbki, z wykorzystaniem zaprojektowanej sondy indukcyjnej, pokazano na rysunku 5. Stanowisko umożliwi zbadanie sondą, o średnicy elektrody pomiarowej 0,3 mm, rozkładu ładunku na powierzchni elektretu. Stolik pomiarowy, na którym zamocowany jest elektret, można przesuwac w kontrolowany sposób w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach (wzdłuż osi X – Y). Umożliwia to zbadanie małą sondą całej powierzchni elektretu. Na

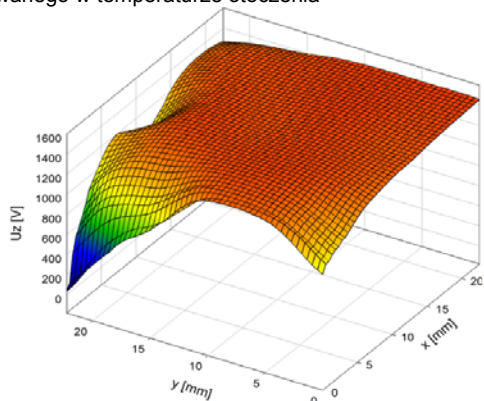
rysunkach 6 i 7 przedstawiono wyniki pomiarów rozkładu napięcia zastępczego dla elektretów z folii PTFE o grubości 0,1 mm, formowanych w temperaturze otoczenia oraz w temperaturze 100°C. Zastosowany wielopunktowy pomiar napięcia zastępczego umożliwił ilościową ocenę rozkładu ładunku na powierzchni elektretów, formowanych w temperaturze otoczenia oraz w temperaturze podwyższonej. Analogicznie, jak w przypadku pomiarów stabilności napięcia zastępczego $U_z = f(t)$, jednorodność ładunku na powierzchni elektretu zależy od temperatury formowania. Temperatura formowania 100°C zapewnia praktycznie jednorodny rozkład ładunku na powierzchni elektretu.



Rys. 5. Stanowisko do pomiaru rozkładu ładunku elektrycznego na powierzchni próbk



Rys. 6. Rozkład napięcia zastępczego na powierzchni elektretu formowanego w temperaturze otoczenia



Rys. 7. Rozkład napięcia zastępczego na powierzchni elektretu formowanego w temperaturze 100°

Wnioski

Celem pracy było:

1. formowanie elektretów ulotem wysokiego napięcia, stosując różne temperatury formowania,
2. badanie stabilności przygotowanych elektretów,
3. zaprojektowanie i skonstruowanie stanowiska do pomiaru rozkładu ładunku na powierzchni elektretów,
4. badanie i ocena jednorodności rozkładu ładunku na powierzchni elektretów wykonanych przy wybranych temperaturach formowania.

Badania wykonano na folii z PTFE o grubości 0,1 mm.

W wyniku badań stwierdzono, że:

1. temperatura formowania ma istotny wpływ na stabilność elektretu,
2. zaprojektowana i skonstruowana indukcyjna sonda pomiarowa umożliwia wielopunktowy pomiar napięcia zastępczego, a na tej podstawie ocenę rozkładu ładunku elektrycznego na powierzchni elektretu,
3. jednorodność rozkładu ładunku na powierzchni elektretu zależy od temperatury formowania,
4. temperatura formowania ma istotny wpływ na rozkład ładunku na powierzchni elektretów. Formowanie w podwyższonej temperaturze umożliwia otrzymanie elektretów charakteryzujących się jednorodnym rozkładem ładunku na powierzchni.

Praca wykonana w Katedrze Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej w ramach zlecenia statutowego.

Autorzy: dr hab. inż. Bożena Łowkis, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: bozena.lowkis@pwr.edu.pl, mgr inż. Jan Kupracz, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: jan.kupracz@pwr.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Hilczer B., Matecki J., Elektrety i piezopolimery, PWN, Warszawa (1992)
- [2] Cui L.L., Song M.H., Kong Y.X., Cheng L., Wang D., Xiao Y.H., Jiang J., The Comparative Studies of Charge Storage Stabilities Among Three PP/porous PTFE/PP Electrets, *Journal of Electrostatics*, 67(2009), 412-416
- [3] Giacometti J.A., Oliveira Jr. O.N., Corona Charging of Polymers, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 27 (1992), n. 5, 924-943
- [4] Faircloth D. C., Allen N. L., High Resolution Measurements of Surface Charge Densities on Insulator Surfaces, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 10 (2003), n.2., 291-294
- [5] Łowkis B, Efekt elektretowy w dielektrykach polimerowych w aspekcie wykorzystania w medycynie i ochronie zdrowia, Monografie Nr 16, Politechnika Wroclawska, (2010)
- [6] Kacprzyk R., Wybrane zagadnienia badania ładunku i jego zaniku w dielektrykach stałych, Monografie Nr 14, Politechnika Wroclawska, (2004)
- [7] Nawrocki Z., Wzmacniacze operacyjne i przetworniki pomiarowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw (2008)

[1]