

Ocena rozkładu ładunku na powierzchni elektretów

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

Słowa kluczowe: PTFE, elektret, wyładowanie koronowe, gęstość powierzchniowa ładunku

Wprowadzenie

Elektret wytwarza w swoim otoczeniu trwałe, zewnętrzne pole elektryczne. Źródłem pola w elektrecie są nagromadzone w nim ładunki elektryczne lub wytworzony w dielektryku i „zamrożony” stan polaryzacji. Elektrety stosowane w praktycznych rozwiązaniach muszą cechować się stabilnymi parametrami elektrostatycznymi w czasie całego okresu eksploatacji. Do tych parametrów należy zaliczyć: napięcie zastępcze U_z , rozkład gęstości ładunku na powierzchni, trwałość ładunku, określaną za pomocą tzw. czasu życia [1]. Otrzymanie elektretów o wymaganych właściwościach zależy od materiału przeznaczonego do formowania, w szczególności od zdolności trwałego gromadzenia ładunku, parametrów geometrycznych stanowiska i 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 wykazały 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 przy wybranych wartościach napięcia na miedzianej elektrodzie.

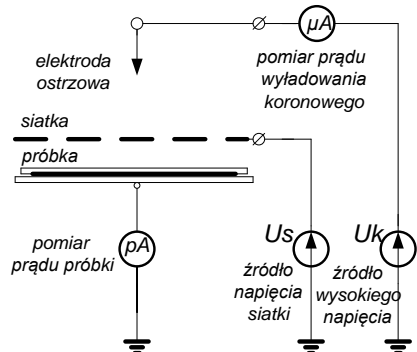
W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań napięcia zastępczego w funkcji czasu oraz rozkładu ładunku na powierzchni elektretów formowanych w temperaturze otoczenia i w temperaturze 100°C. Pomiar napięcia zastępczego wykonano metodą

kompensacyjną. Jednorodność rozkładu ładunku na powierzchni 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 umożliwia wstępne wygrzewanie folii przed procesem elektryzacji i formowanie elektretów w warunkach otoczenia oraz w wybranej temperaturze.

Elektrety formowano z folii z polichloroetylenem (PTFE) o grubości 0,1 mm. Przygotowaną próbkę, z 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 $U_s=1400$ V. Napięcie ulotu koronowego U_k ustalono na 13 kV. W czasie procesu formowania, regulację temperatury stanowiska zapewniono seryjnie produkowanym regulatorem RE 72 firmy Lumel S.A. w Zielonej Górze. Próbki, po zakończeniu formowania, umieszczono stroną pokrytą grafitem na dnie metalowego pojemnika i przechowywano w temperaturze otoczenia.



Rys. 1. Schemat ideowy układu do formowania elektretów.

Pomiary napięcia zastępczego U_z elektretów wykonano po dobowej przerwie od momentu zakończenia procesu formowania metodą kompensacyjną, przy użyciu głowicy wibracyjnej jako detektora zera [5]. Efektywna gęstość ładunku powierzchniowego, powiązana jest z napięciem zastępczym zależnością [5]:

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

gdzie:

q_{SA} – efektywna gęstość ładunku powierzchniowego

U_z – napięcie zastępcze

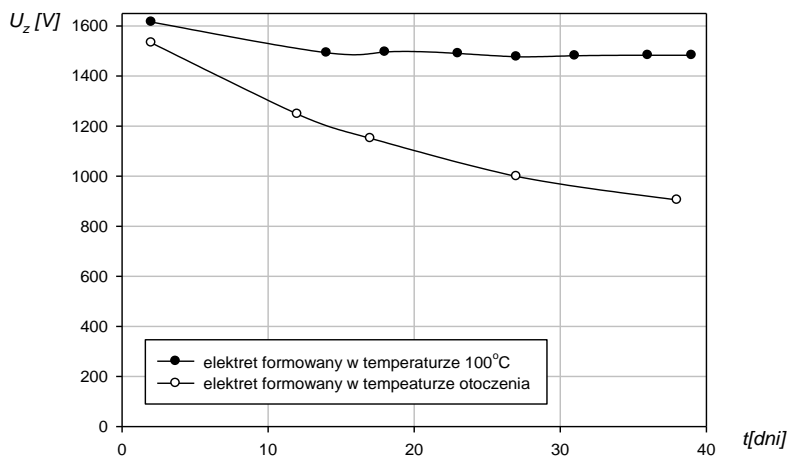
d – grubość próbki

ε - względna przenikalność elektryczna dielektryka

ε_0 – przenikalność elektryczna próżni.

IX Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Dla oceny stabilności 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 dla próbki formowanej w temperaturze 100°C z próbką formowaną 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.

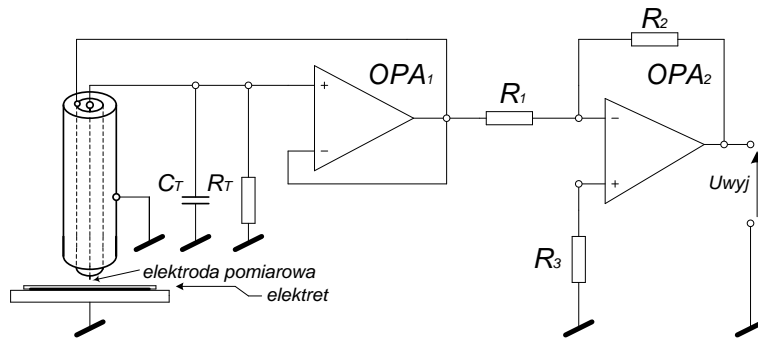
Stwierdzono, że próbka formowana w podwyższonej temperaturze charakteryzuje się większą stabilnością ładunku w porównaniu z próbką uformowaną w temperaturze otoczenia. Próbka elektryzowana w temperaturze 100°C wykazuje 8 % spadek napięcia zastępczego w czasie pierwszych piętnastu dni, by następnie utrzymywać 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, bezpośrednio po procesie elektryzacji. Próbki, w ten sam sposób przygotowane do formowania, elektryzowane w tym samym stanowisku pomiarowym, ale w różnej temperaturze, wykazują różne wartości napięcia zastępczego.

Indukcyjna sonda pomiarowa

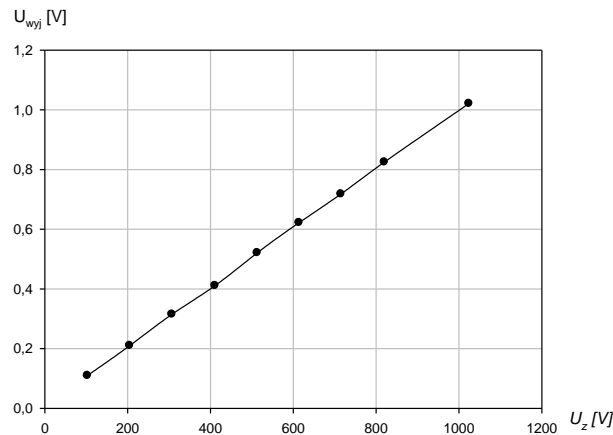
Na rysunku 3 przedstawiono schemat ideowy zaprojektowanej i wykonanej sondy indukcyjnej do pomiaru rozkładu napięcia zastępczego na powierzchni elektretu. Projekcja ładunku w kierunku normalnym do powierzchni próbki indukuje na elektrodzie pomiarowej

sondy sygnał proporcjonalny do gęstości powierzchniowej ładunku. Na wejściu sondy zastosowano układ z wykorzystaniem wtórnika napięciowego, separujący dużą impedancję wejściową od małej wyjściowej. Doprowadzenie 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 OPA_1 i OPA_2 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 ze sprzężeniem zwrotnym.



Rys. 3. Schemat ideowy indukcyjnej sondy pomiarowej.

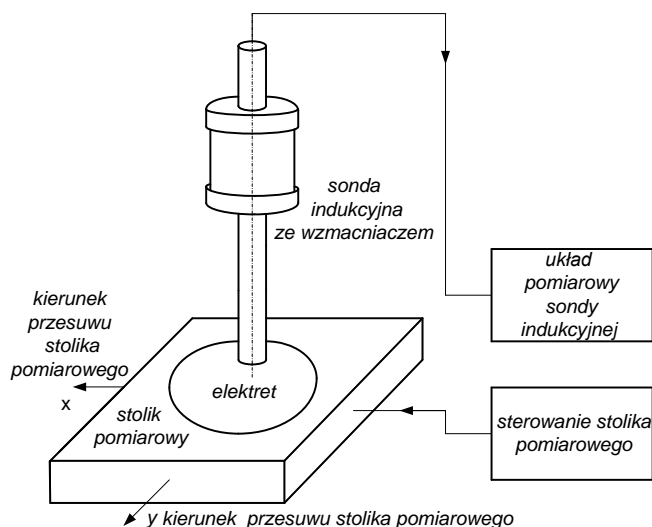
Na rysunku 4 przedstawiono wykres skalowania sondy indukcyjnej, czyli zależność napięcia wyjściowego sondy od napięcia zastępczego elektretu. Liniowość charakterystyki skalowania świadczy o prawidłowym działaniu urządzenia.



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

IX Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Konstrukcję stanowiska do pomiaru rozkładu ładunku na powierzchni próbki, z wykorzystaniem zaprojektowanej sondy indukcyjnej, pokazano na rysunku 5. Umożliwia ono zbadanie, sondą o średnicy $0,3\text{ mm}$, rozkładu ładunku na całej powierzchni elektretu, zamocowanego na stoliku, który można przesuwac w kontrolowany sposób w płaszczyźnie $X - Y$.

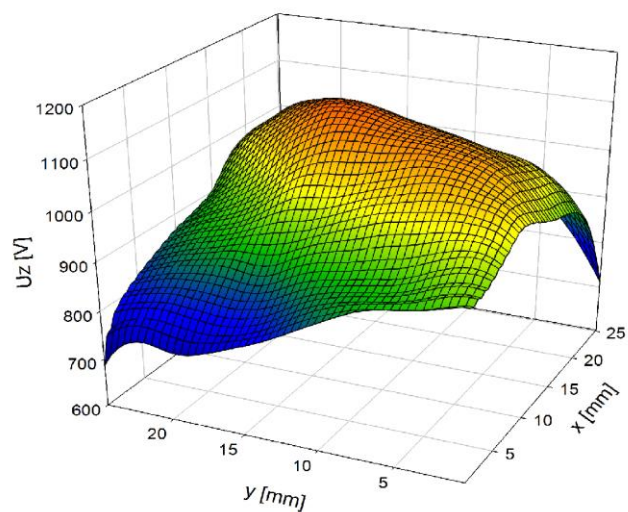


Rys. 5. Stanowisko do pomiaru rozkładu ładunku elektrycznego na powierzchni próbki.

Badania powierzchniowego rozkładu ładunku

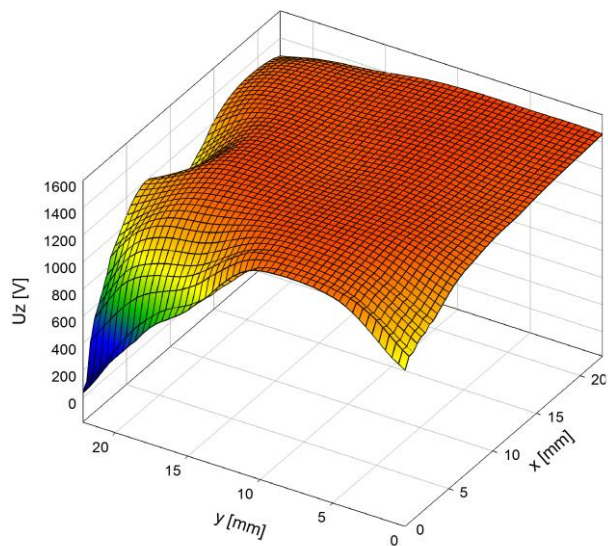
Przemieszczając sondę pomiarową nad elektretem wzdłuż osi $X - Y$ (rys.5), odczytywano wartości napięcia zastępczego dla każdego punktu pomiarowego.

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



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

Temperatura formowania 100°C zapewniła praktycznie jednorodny rozkład ładunku na powierzchni elektretu.



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

IX Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Wnioski

Celem pracy było:

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

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

W wyniku badań stwierdzono, że:

1. temperatura formowania ma istotny wpływ na stabilność elektretów,
2. jednorodność rozkładu ładunku na powierzchni elektretu zależy od temperatury formowania,
3. zaprojektowana i skonstruowana indukcyjna sonda pomiarowa umożliwia wielopunktowy pomiar napięcia zastępczego, a na tej podstawie, ocenę jednorodności rozkładu ładunku elektrycznego na powierzchni elektretu.

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

Literatura

1. B. Hilczer, J. Małecki, *Elektrety i piezopolimery*, PWN, Warszawa 1992 r.
2. L.L. Cui, M.H. Song, Y.X. Kong, L. Cheng, D. Wang, Y.H. Xiao, J. Jiang, *The comparative studies of charge storage stabilities among three PP/porous PTFE/PP electrets*, Journal of Electrostatics, 67, 2009.
3. J. A. Giacometti, O. N. Oliveira Jr., Corona Charging of Polymers, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 27 no. 5, October 1992.
4. D. C. Faircloth, N. L. Allen, High Resolution Measurements of Surface Charge Densities on Insulator Surfaces, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 10, No. 2; April 2003.
5. B. Łowkis, *Efekt elektretowy w dielektrykach polimerowych w aspekcie wykorzystania w medycynie i ochronie zdrowia*, Monografie Nr 16, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
6. R. Kacprzyk *Wybrane zagadnienia badania ładunku i jego zaniku w dielektrykach stałych*, Monografie Nr 14, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
7. Z. Nawrocki, *Wzmacniacze operacyjne i przetworniki pomiarowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.

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