

## **Stanowisko do elektryzacji i badania elektretów polimerowych**

**Streszczenie** W artykule przedstawiono zagadnienia związane z elektryzacją policzterofluoroetyleny w układzie powietrznej triody. Elektryzację realizowano metodą wyładowania koronowego. Badania charakterystyk napięcia zastępczego elektretów w funkcji warunków elektryzacji i geometrii układu wyładowczego wykonano w zaprojektowanym i skonstruowanym w tym celu stanowisku pomiarowym. Szczególną uwagę zwrócono na zapewnienie możliwie dużej jednorodności rozkładu ładunku elektrycznego na powierzchni elektretu i optymalizację czasu życia ładunku.

**Słowa kluczowe:** elektret, wyładowanie koronowe, czas życia ładunku, PTFE

### **Wprowadzenie**

Elektretem nazywamy dielektryk, który 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 [1]. Najszerze zastosowanie praktyczne znalazły elektrety z folii polimerowych, w których zgromadzony został ładunek elektryczny implantowany z zewnątrz.

Zjawisko gromadzenia trwałego ładunku elektrycznego w dielektrykach daje duże możliwości ich praktycznych zastosowań. Elektrety znalazły zastosowanie m. in. jako przetworniki elektroakustyczne, generatory, filtry powietrza i gazów, a także czujniki i dozymetry promieniowania jonizującego.

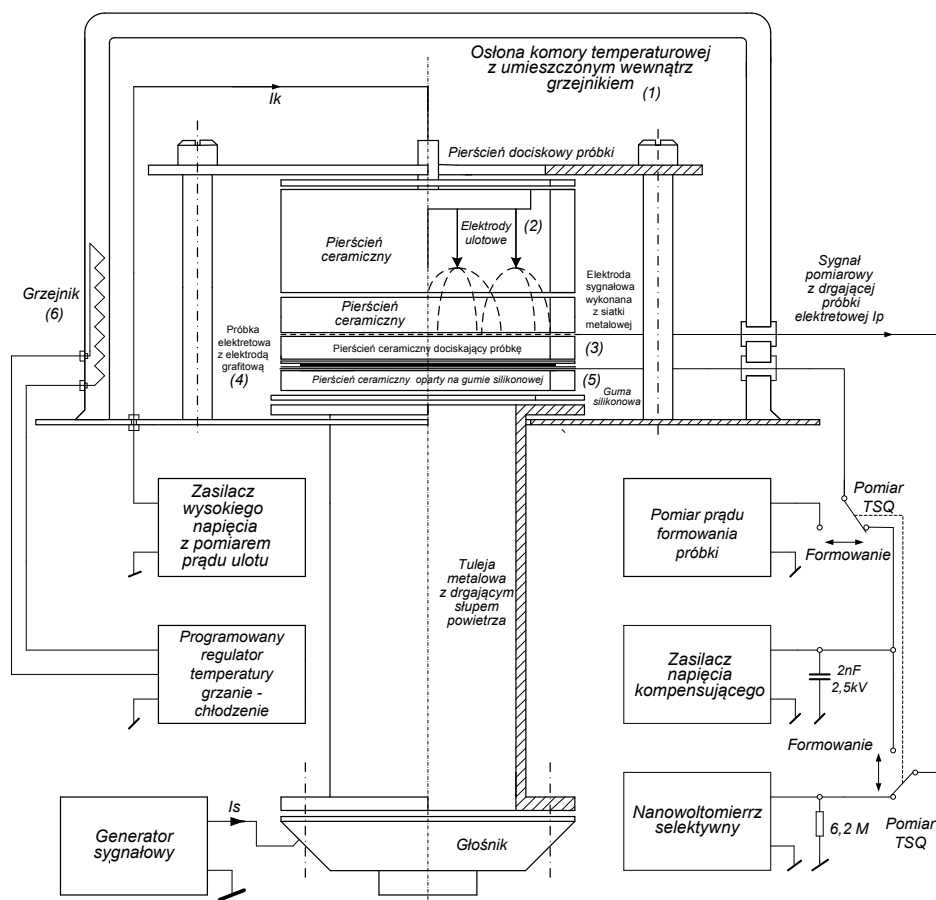
W pracy, do wytwarzania elektretów z folii polimerowej (policzterofluoroetylen PTFE) wykorzystano metodę ulotową w układzie powietrznej triody. W tym celu zaprojektowano, skonstruowano i uruchomiono stanowisko, które umożliwi nie tylko wykonanie procesu formowania w podwyższonej temperaturze, ale jednocześnie pozwala na badanie istotnych, z punktu widzenia zastosowań, parametrów naelektryzowanych próbek [2].

### **Formowanie elektretów**

Zaprojektowane, skonstruowane i uruchomione stanowisko pomiarowe pozwala na:

- wstępne wygrzewanie folii przed procesem elektryzacji,
- wytwarzanie elektretów z folii polimerowych w podwyższonych temperaturach,
- pomiar równoważnego napięcia zastępczego elektretu  $U_z$ ,
- wyznaczanie przebiegów termicznie stymulowanego napięcia zastępczego elektretu (termogramy napięcia zastępczego) bezpośrednio po zakończeniu procesu formowania bez konieczności wyjmowania elektretu z układu pomiarowego.

Stanowisko do formowania i badania elektretów przedstawiono na rysunku 1. Formowanie elektretów realizowano w układzie utworzonym z elektrody ulotowej (2), siatki (3) oraz elektrody płaskiej (5), z umieszczoną na niej próbką (4). W komorze temperaturowej (1) utrzymywano warunki termiczne według wybranego programu.



Rys. 1. Stanowisko do formowania i badania elektretów

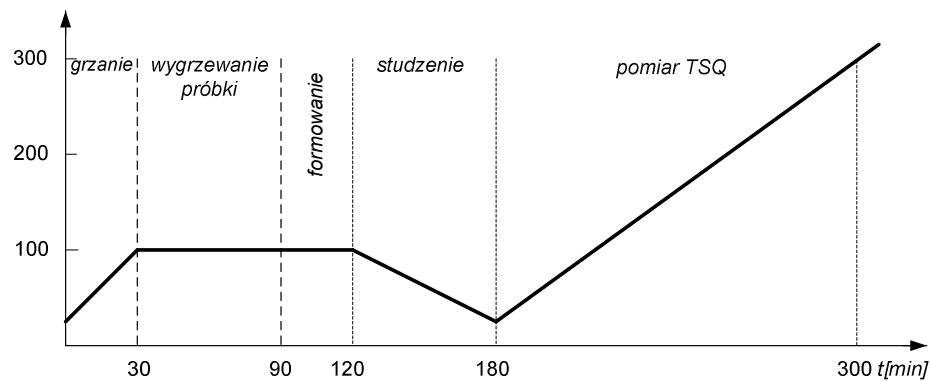
Elektroda ulotowa jest zespołem igieł o długości 10 mm i promieniu ostrza ok. 50  $\mu\text{m}$ . Siatka (3), jest odsunięta od płasko-równoległej próbki na odległość ok. 10 mm. Elektroda płaska (5) jest galwanicznie połączona z naniesioną na próbkę (4) elektrodą grafitową, a ta poprzez pikoamperomierz - z masą. Zastosowane rozwiązanie pozwala na pomiar prądu formowania próbki w czasie całego procesu.

### Regulacja temperatury stanowiska pomiarowego

Dla zapewnienia powtarzalności warunków formowania i badania elektretów, konieczne jest utrzymywanie w komorze stanowiska wybranych warunków termicznych w zależności od realizowanego procesu. Dotyczy to formowania elektretu, a także jego badań w warunkach liniowo narastającej temperatury. W rozwiązaniu zastosowano seryjnie produkowany regulator RE 72 „Lumel”. Regulator posiada wejście pomiarowe dla termorezystorów, termoelementów i standardowych sygnałów liniowych. Wyjścia regulatora umożliwiają regulację dwustawną, regulację trójstawną krokową, regulację trójstawną typu grzanie – chłodzenie. Regulacja dwustawna odbywa się według algorytmu PID lub „załącz wyłącz” [3]. W opisywanym stanowisku zastosowano

### VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

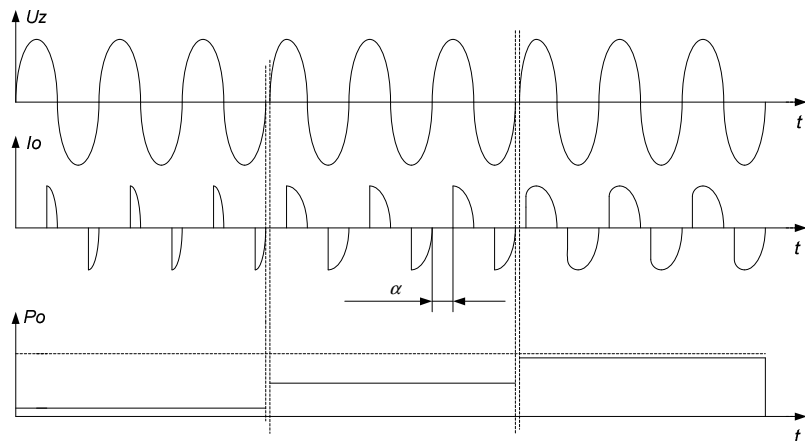
programowaną regulację temperatury, pozwalającą na zaprogramowanie szybkości narostu temperatury obiektu podczas badania, jak i utrzymywanie stałej jej wartości w czasie formowania czy wygrzewania próbki. Przebieg zmian temperatury dla cyklu pomiarowego w funkcji czasu przedstawiono na rysunku 2. Do precyzyjnej regulacji temperatury wykorzystano wyjściowy sygnał analogowy (ciągły napięciowy 0.. 10V) z regulatora, dostępny na wyjściu RE 72. Jako czujnik temperatury wnętrza komory zastosowano rezystor PT100 w osłonie ceramicznej.



Rys.2. Przebieg zmian temperatury podczas formowania elektretu i badania TSQ

Sygnał wyjściowy analogowy (0..10V) z regulatora temperatury, dostępny na wyjściu RE 72, łączy odbiornik (grzałkę stanowiska) za pośrednictwem dodatkowego urządzenia -sterownika mocy Rp 7 „Lumel”.

Przebiegi sygnałów sterownika pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Sterowanie mocą układu komory temperaturowej – przebiegi napięć i prądu,  $U_z$  – napięcie zasilające obwód odbiornika,  $I_o$  – prąd w obwodzie odbiornika,  $P_o$  – moc dostarczona do odbiornika,  $\alpha$  - kąt włączenia odbiornika

Sterownik mocy pozwala na regulację mocy rezystancyjnych lub rezystancyjno-indukcyjnych odbiorników energii elektrycznej. Współpracuje on z regulatorami temperatury wyposażonymi w wyjście analogowe. Możliwa jest także regulacja mocy sygnałem sterującym zewnętrznym [4].

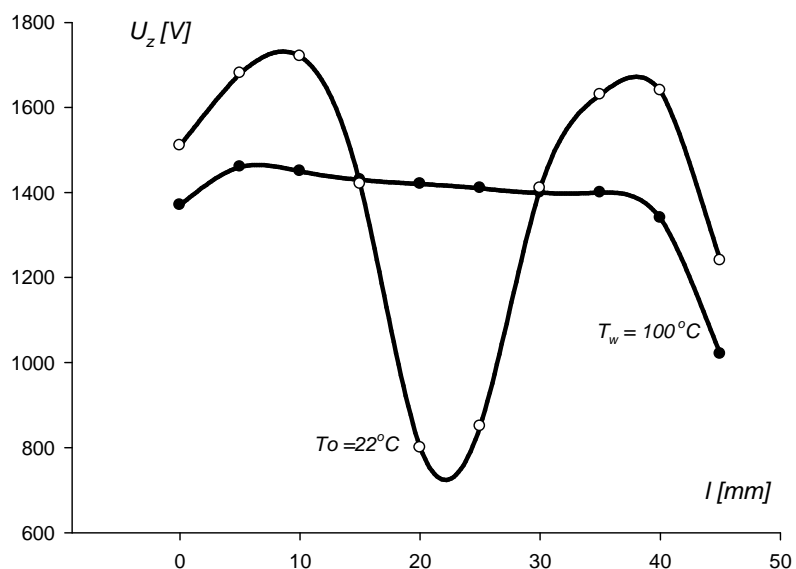
Załączanie prądu odbiornika odbywa się synchronicznie w takt przebiegu sinusoidalnego napięcia zasilania. Poprzez zmianę kąta włączenia prądu realizowana jest regulacja mocy dostarczonej do grzejnika komory temperaturowej.

Zastosowanie regulatora temperatury w połączeniu ze sterownikiem pozwala na precyzyjną kontrolę temperatury badanego obiektu, a także wymaganą powtarzalność warunków termicznych kolejnych pomiarów.

### Wyniki badania elektretów

W celu potwierdzenia poprawności działania układu do formowania elektretów, dodatkowo naelektryzowane próbki poddano pomiarom rozkładu ładunku elektrycznego (napięcia zastępczego) na powierzchni. Pomiaru te wykonano wzdłuż średnicy próbki, bezpośrednio po zakończeniu formowania. Do tego celu zastosowano metodę kompensacyjną z głowicą wibracyjną, jako detektorem zera [5].

Na rysunku 4 przedstawiono rozkład napięcia zastępczego wzdłuż średnicy próbki dla elektretu uformowanego w temperaturze pokojowej oraz dla elektretu wytworzonego w temperaturze 100°C.



Rys. 4. Rozkład napięcia zastępczego dla próbki PTFE formowanej w temperaturze otoczenia  $T_o = 22^\circ\text{C}$  i dla próbki PTFE wytworzonej w temperaturze  $T_w = 100^\circ\text{C}$

Otrzymane wyniki potwierdzają celowość formowania elektretów z folii PTFE w podwyższonej temperaturze. Elektret uformowany w podwyższonej temperaturze charakteryzuje się równomiernym rozkładem gęstości ładunku na powierzchni. W obu procesach zachowano takie same parametry geometryczne stanowiska pomiarowego.

### VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

W zaprojektowanym stanowisku, badania właściwości elektrostatycznych elektretów możliwe są przy wyłączonym źródle napięcia ulotu  $U_k$  i ustawionych przełącznikach w pozycję TSQ.

Badania szybkości zaniku ładunku mają na celu określenie bardzo istotnego parametru elektretu pod kątem jego zastosowania, a mianowicie czasu życia. Obserwacja procesu zaniku ładunku w materiałach, z długimi czasami relaksacji, przez bezpośredni pomiar zmian gęstości ładunku  $q_s = f(t)$  lub napięcia zastępczego  $U_z = f(t)$  w funkcji czasu, jest praktycznie niemożliwa w temperaturze pokojowej. Podwyższenie temperatury skraca czas depolaryzacji, może jednak mieć wpływ na zmianę udziału różnych mechanizmów relaksacyjnych. Pomiar w podwyższonej temperaturze prowadzi się w warunkach ciągłego i kontrolowanego wzrostu temperatury badanej próbki.

Badanie procesów relaksacji ładunku w warunkach zmieniającej się w funkcji czasu temperatury jest podstawowym zadaniem pod wspólną nazwą „badań przebiegów termostymulowanych” [5]. Badania przebiegów można podzielić na badania prądów, w tym prądów rozładowania (TSDC) oraz termostymulowanego zaniku ładunku lub napięcia (TSQ) [2].

W niniejszej pracy zastosowano metodę TSQ do oceny mechanizmu zaniku ładunku w elektrecie, a także do oceny jego czasu życia. Pomiary wykonano w przedstawionym stanowisku, przy liniowo narastającej temperaturze. Szybkość z jaką zmieniała się temperatura ustalono na - 2K/min. Pomiar gęstości ładunku realizowano metodą kompensacyjną, gdzie sygnał z wibrującego elektretu kompensowano napięciem z regulowanego źródła. Zasilacz napięcia kompensującego połączono z elektrodą grafitową naniesioną na dolną powierzchnię próbki.

Metoda kompensacyjna pomiaru gęstości ładunku pozwala na uniknięcie wpływu geometrii układu pomiarowego (odległość sonda – próbka, amplituda wibracji) [5].

Wibrację próbki realizowano za pośrednictwem drgającego słupa powietrza pobudzonego do drgań membraną głośnika dynamicznego. Głośnik zasilany jest wzmacnionym sygnałem m. cz. z generatora z regulowaną amplitudą. Amplitudę sygnału ustawiono na poziomie  $4V_{pp}$ . Próbka, drgająca z częstotliwością ok. 38 Hz indukuje w elektrodzie pomiarowej (3) sygnał wyjściowy o charakterze sinusoidalnym, proporcjonalny do gęstości ładunku  $q_s$  [5]. Woltomierz selektywny wykorzystany jest jako detektor zera. Poprzez zmianę wartości napięcia kompensującego, wskazanie woltomierza selektywnego doprowadza się do zera (kompensacja). Ustalona wartość napięcia kompensującego określa napięcie zastępcze  $U_z$  elektretu. Gęstość ładunku powierzchniowego  $q_s$  powiązana jest z napięciem zastępczym zależnością:

$$q_s = \frac{\epsilon_0 \epsilon U_z}{d} \quad (1)$$

gdzie:

$\epsilon_0$  – przenikalność elektryczna próżni –  $8,58 \cdot 10^{-12}$  F/m

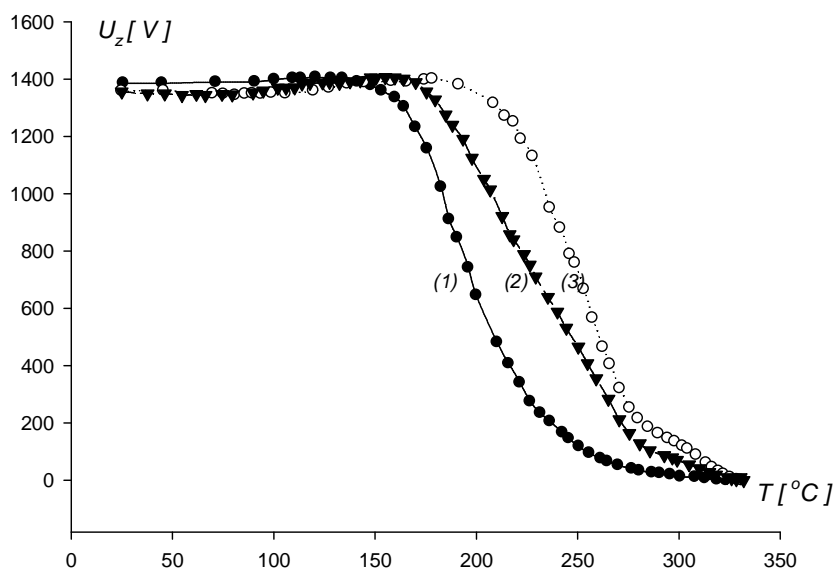
$\epsilon$  – względna przenikalność elektryczna próbki,

$d$  – grubość próbki,

$U_z$  – napięcie zastępcze

Odczytane wartości napięcia kompensującego, dla kolejnych wartości temperatury, pozwalają na wyznaczenie termogramów napięcia zastępczego próbki elektretowej. Otrzymane charakterystyki pozwalają ocenić mechanizm zaniku ładunku w materiałach dielektrycznych o długim czasie życia [2]. Zaletą zastosowanej metody jest przede wszystkim możliwość znacznego skrócenia czasu wykonywanych badań, niezbędnych

do oceny parametrów uformowanych elektretów [2]. Jednak duża liczba czynników wpływających na termogramy TSQ komplikuje interpretację otrzymanych krzywych, dlatego w przedstawionych wynikach przyjmuje się istnienie w materiale pojedynczego procesu relaksacyjnego. Przykładowe krzywe dla folii PTFE 0,1mm Ensinger (Saint - Gobain), przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Charakterystyki  $U_z=f(T)$  dla elektretów z folii PTFE o grubości 0,1mm dla temperatur formowania: 1- 22°C, 2- 100°C, 3-150°C

## Wnioski

Wyniki wykonanych badań wskazują, że w zaprojektowanym, skonstruowanym i uruchomionym stanowisku pomiarowym możliwe jest wytworzenie stabilnych elektretów o równomiernym rozkładzie ładunku na powierzchni. Wykazano, że parametry elektretów zależą od temperatury formowania, właściwego doboru parametrów geometrycznych stanowiska pomiarowego oraz warunków wstępnego wygrzewania folii przed procesem elektryzacji. Wyznaczone charakterystyki  $U_z=f(T)$  wykazują nachylenie, zależnie od temperatury formowania próbki, w zakresie od  $-12,5$  V/K do  $-20,0$  V/K, co jednoznacznie przekłada się na wartość energii aktywacji procesu zaniku ładunku elektretu. Otrzymane wartości energii aktywacji dla elektretów formowanych w temperaturze pokojowej to 0,48 eV, a dla elektretów uformowanych w temperaturze 150°C – 0,66 eV.

## Literatura

1. B. Hilczer, J. Małecki, *Elektrety*, PWN, Warszawa 1980.
2. B. Łowkis, E. Motyl, *Investigationo of the organic electrets lifetime*, Institute of Electrical Engineering Fundamentals, Technical University of Wroclaw, Materials Science, Vol. VII, No. 2-3, 1981
3. Regulator temperatury RE72 – Instrukcja Obsługi „LUMEL” S.A. Zielona Góra

**VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014**

4. Sterownik mocy RP7 - Instrukcja Obsługi „LUMEL” S.A. Zielona Góra
5. R. Kacprzyk *Wybrane zagadnienia badania ładunku i jego zaniku w dielektrykach stałych*, Politechnika Wroclawska, Monografie Nr 14, 2004

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

Praca wykonana na zlecenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach badań statutowych S30028