



Leszek Ptasiński*

POMIARY ZANIKU POTENCJAŁU POWIERZCHNIOWEGO DLA OCENY EFEKTÓW STARZENIOWYCH MATERIAŁÓW ELEKTROIZOLACYJNYCH

Streszczenie: Pomiary przeprowadzono przy użyciu oryginalnego mikrokomputerowego układu rejestracji zaniku potencjału powierzchniowego. Przeprowadzono badania porównawcze próbek folii poliestrowej świeżej i starzonej wyładowaniami ulotowymi. Wyznaczono parametry opisujące przebiegi zarejestrowane oraz aproksymujące.

Słowa kluczowe: technika wysokich napięć, zjawiska relaksacyjne, potencjał powierzchniowy dielektryków, starzenie materiałów elektroizolacyjnych

1. Wstęp

Istotny element badań kontrolnych w eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych stanowi diagnostyka układów elektroizolacyjnych. Obserwowany w ostatnich latach na świecie rozwój metod diagnostyki tych układów [1] umożliwia zwiększenie niezawodności pracy urządzeń elektroenergetycznych, a w konsekwencji uzyskanie znacznych korzyści ekonomicznych. Rozwój technik pomiarowych, stanowiących element badań diagnostycznych, jest ukierunkowany przede wszystkim na możliwie wczesne wykrywanie mierzalnych zmian właściwości fizyko-chemicznych izolacji.

Jedną z grup elektrycznych metod oceny stanu układu izolacyjnego są metody detekcji i interpretacji zjawisk relaksacyjnych zachodzących w układach izolacyjnych, stosowane zarówno w badaniach materiałowych jak i eksploatacyjnych, np.

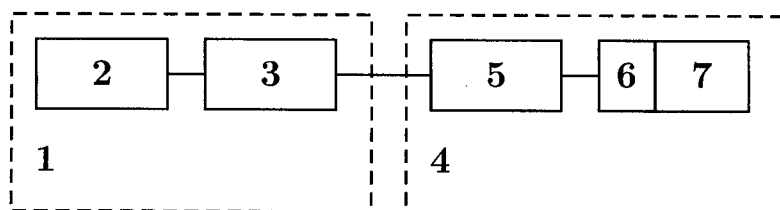
* Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

transformatorów i kabli elektroenergetycznych z izolacją polietylenową [1]. Szczególne nadzieje wiąże się tutaj z rozwojem techniki pomiarów niskoczęstotliwościowych ($<0,1$ Hz) efektów polaryzacyjnych, względnie prostych w realizacji technicznych badań przy napięciu stałym [1]. Wynika to z długiego czasu relaksacji, głównie ładunku przestrzennego, w materiałach dielektrycznych. Na celowość prowadzenia badań właściwości quasistatycznych i elektrostatycznych zwracał już uwagę Badian [2]. Tego rodzaju badania opierają się na pomiarach napięcia powrotnego względnie zaniku potencjału powierzchniowego materiałów elektroizolacyjnych. Ta ostatnia metoda była, jak dotąd, rozwijana głównie dla oceny właściwości antyelektrostatycznych materiałów [3, 4]. W tej pracy przedstawiono zastosowanie metody zaniku potencjału powierzchniowego dla oceny efektów starzeniowych materiałów elektroizolacyjnych wywołanych oddziaływaniem wyładowań ulotowych. Jak wykazały wcześniejsze badania [5], obserwowane na powierzchni tych materiałów zmiany fizyczne i chemiczne są wywoływane przez elektrony i jony, przyspieszane w polu elektrycznym, a także w wyniku oddziaływania ozonu. Wg teorii utleniania, ozon w zetknięciu z makrocząsteczkami polimeru powoduje ich utlenianie. Tą ostatnią hipotezę potwierdzają — między innymi — wyniki badań polegających na oddziaływaniu ozonu na powierzchnię folii, jak również stosowanie ozonu w procesach aktywacji folii polietylenowej [6]. Oddziaływanie wyładowań niezupełnych na dielektryki tłumaczy się procesami pułapkowania i depułpkowania elektronów, co w modelu makroskopowym odpowiada przemieszczaniu się ładunku przestrzennego w dielektryku.

Ogólnie biorąc brak jest — do chwili obecnej — zadawalających modeli starzenia dielektryków [5, 6], w związku z czym poznanie zachodzących zjawisk opiera się na badaniach empirycznych.

2. Opis układu pomiarowego

Układ rejestracji zaniku potencjału powierzchniowego jest przedstawiony schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układu rejestracji zaniku potencjału 1 – kilowoltomierz autokompensacyjny, 2 – głowica, 3 – moduł główny, 4 – układ akwizycji i rejestracji danych, 5 – układ separacji galwanicznej, 6 – karta przetwarzania A/C typu PCL 818, 7 – mikrokomputer typu PC/AT

Pomiar potencjału jest przeprowadzany przy użyciu kilowoltomierza kompensacyjnego (1) o zakresie ± 10 kV, z przetwornikiem elektromechanicznym działającym w oparciu o zasadę tzw. młynka polowego. Pomiar napięcia kompensującego następuje

poprzez dzielnik napięcia o przekładni 1/1000 oraz wtórnik napięciowy, pozwalający zastosować woltomierz zewnętrzny o rezystancji wejściowej $\geq 2 \text{ k}\Omega$. Dokładność pomiaru — w warunkach ustalonych — jest nie mniejsza niż $\pm(3\% + \delta_V)$, gdzie δ_V jest uchybem woltomierza zewnętrznego.

Układ (5) zabezpiecza kartę przetwarzania A/C (6) przed skutkami ewentualnego pojawienia się na wyjściu przepięć, zapewniając pełną separację galwaniczną sygnału wejściowego.

Program obsługi zastosowanej karty przetwarzania A/C umożliwi równomierne pobieranie próbek badanego sygnału z ustawianą programowo częstotliwością — w zakresie od 0,0002 Hz do 100 kHz oraz zapis wyników przetwarzania na twardy dysk w postaci zbiorów tekstowych. Aktualnie możliwym jest rejestrowanie do 32000 próbek, co umożliwia w kolei rejestrację przebiegów o czasie trwania do 108 s. Dodatkowo opracowany program umożliwia wyznaczanie zarówno typowych parametrów opisujących badane przebiegi, jak również parametry funkcji aproksymującej i błędy tej aproksymacji. Sposób obliczania błędów aproksymacji, jak również błędów dynamicznego układu, z uwzględnieniem minimalnego czasu rozładowywania badanego obiektu przedstawiono w [7]. Czas przeprowadzania próby dostosowuje się do charakterystyki badanej próbki zmieniając częstotliwość próbkowania. Układ jest szczególnie przydatny do badania materiałów o stosunkowo długich czasach rozładowywania. Minimalna mierzalna wartość czasu rozładowywania zależy od wartości początkowej potencjału powierzchniowego oraz od dopuszczalnego błęd.

3. Opis i wyniki badań

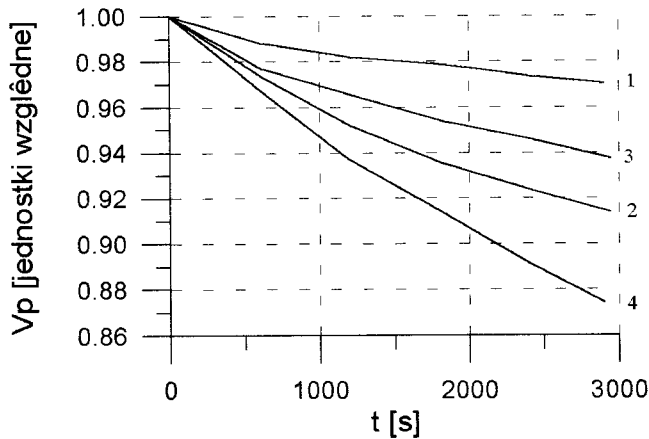
Badania przeprowadzono na próbkach folii poliestrowej o grubości $35 \mu\text{m}$ i przenikalności dielektrycznej $\epsilon = 3$. Próbki były elektryzowane w polu wyładowania ulotowego przy napięciu stałym i ujemnej biegunowości elektrody ulotowej, w warunkach kontaktowania folii z uziemioną przeciwelektrodą. Czas elektryzowania potrzebny do uzyskania maksymalnego potencjału powierzchniowego V_p , dobrany na drodze doświadczalnej, przyjęto równy 120 s. Po zakończeniu elektryzowania rejestrowano przebieg potencjału V_p elektryzowanej powierzchni. Rejestrację przeprowadzano przy częstotliwości próbkowania 10 Hz, co umożliwiało badanie przebiegów napięcia o czasie trwania do 3000 s. Badania przeprowadzono przy dwóch poziomach początkowego stanu naelektryzowania próbek, odpowiadającego $V_p \approx -4,5 \text{ kV}$ i $V_p \approx -7,5 \text{ kV}$. Warunki otoczenia podczas przeprowadzania badań: temperatura $19 \pm 1^\circ\text{C}$, wilgotność $34 \pm 2\%$.

Dokonano porównania charakterystyk próbek świeżych oraz starzonych wyładowaniami ulotowymi — w osobnym układzie — przez 22 h. Otrzymane charakterystyki aproksymowano funkcją:

$$V_{ap} = (1 - V_0) \exp(-t/T) + V_0 \quad (1)$$

gdzie: V_0 – wartość ustalona, T – stała czasowa, t – czas bieżący.

Każdy z przebiegów był normalizowany względem wartości maksymalnej. Na rysunku 2 przedstawiono znormalizowane przebiegi otrzymane z eksperymentu. Każdy przebieg jest określony dla 6-ciu punktów połączonych na rysunku odcinkami.



Rys. 2. Znormalizowane charakterystyki potencjału powierzchniowego, otrzymane z eksperymentu. Oznaczenia: 1 - próbka świeża, $V_{pmax} = -4,56$ kV; 2 - próbka świeża, $V_{pmax} = -7,59$ kV; 3 - próbka starzona, $V_{pmax} = -4,20$ kV; 4 - próbka starzona, $V_{pmax} = -7,62$ kV

W tabeli 1 zestawiono parametry charakteryzujące przedstawione przebiegi.

Tabela 1. Zestawienie parametrów charakterystyk $V_p = f(t)$

Nr charakterystyki	V_{pmax} [kV]	V_{0r} [kV]	V_0 [j.w.]	T [s]
1	4,56	4,40	0,965	1635
2	7,59	6,65	0,877	2441
3	4,20	3,85	0,916	2267
4	7,62	5,48	0,720	4878

Oznaczenia: V_{pmax} — maksymalny potencjał powierzchniowy przed normalizacją
 V_{0r} — wartość ustalona potencjału powierzchniowego przed normalizacją

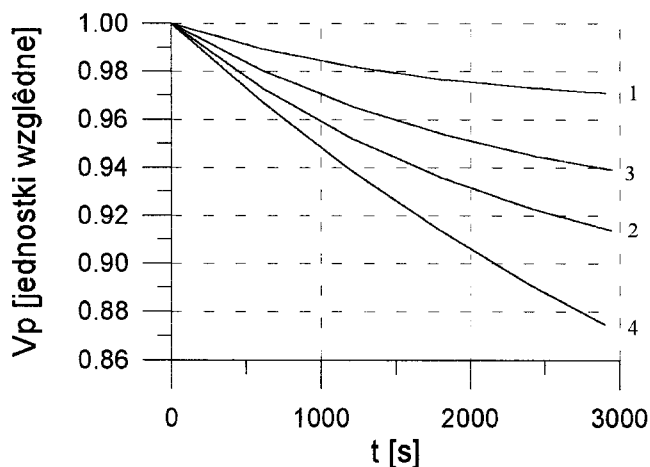
Na rysunku 3 przedstawiono znormalizowane przebiegi aproksymujące.

Analiza przedstawionych wyników wskazuje, że starzenie wyładowaniami ulotowymi badanej folii powodowało:

- wzrost stałej czasowej T ,
- zmniejszenie wartości ustalonych potencjału V_{0r} i V_0 .

Wzrost wartości początkowej V_p powoduje zwiększenie obserwowanych efektów.

Charakter zmian stałej czasowej T jest zgodny ze stwierdzonym — przy użyciu innej metody pomiarowej — wzrostem stałej czasowej izotermicznej depolaryzacji pod wpływem oddziaływania wyładowań niezupełnych [8].



Rys. 3. Znormalizowane przebiegi aproksymujące

4. Podsumowanie

Wyniki pomiarów charakterystyk zanikania potencjału powierzchniowego badanych próbek wskazują, że charakterystyki te można aproksymować zależnością opisaną równaniem (1). Otrzymane przebiegi — zarówno zmierzone jak znormalizowane — wykazują wpływ starzenia wyładowaniami ulotowymi na parametry tych przebiegów. Opisana metoda badania zaniku potencjału powierzchniowego w warunkach kompensacji pola zewnętrznego może więc być przydatna dla wykrywania efektów starzeniowych i ich interpretacji.

Literatura

- [1] **Włodek R.:** *Podstawy i kierunki diagnostyki układów izolacyjnych wysokiego napięcia.* Sprawozdanie z działalności statutowej Zakładu Elektroenergetyki AGH w roku 1996
- [2] **Badian L.:** *Research of ageing phenomena in dielectrics.* International Colloquium, Wrocław, September 16-19, 1975. Scientific Papers of the Institute of Electrical Engineering Fundamentals of Wrocław Technical University, 1975, No 12, pp. 46-48
- [3] **Venkata Ramana S., Sundara Rajan:** *Surface charge decay profiles of insulating materials.* Proc. of Joint Conference: 1993 International Workshop on Electrical Insulation 25th Symposium on Electrical Insulating Materials, Nagoya, Japan, 1993, pp. 457-460
- [4] **Chubb J. N.:** *Corona charging of practical materials for charge decay measurements.* J. Electrostatics 17 (1996), pp. 53-65
- [5] **Włodek R.:** *Mechanizmy działania wyładowań niezupełnych w dielektrykach.* PAN Komitet Elektrotechniki, s. Postępy techniki wysokich napięć, PWN, Warszawa 1992, z. 20
- [6] **Żenkiewicz M.:** *Teoria zjawisk występujących w warstwie granicznej folii z poliolefin i farby drukarskiej.* Polimery, 1987, nr 7, s. 266-268

- [7] **Ptasiński L., Żegleń T.:** *Mikrokomputerowy układ rejestracji zaniku potencjału powierzchniowego*, Materiały IV Sympozjum Naukowo-Technicznego n.t. Nowoczesne Technologie Elektrostatyczne, Białystok 1995, s. 16–24
- [8] **Włodek R., Florkowska B.:** *Electrical effects of partial discharges in polymer dielectrics. 1993 International Workshop on Electrical Insulation. 25th Symposium on Electrical Insulating Materials*, Nagoya, Japan, Sept. 6–8, 1993. Proceedings of Joint Conference, pp. 289–292

MEASUREMENTS OF SURFACE POTENTIAL DECAY FOR EVALUATING
THE AGEING EFFECT

The measurements were carried out using a original microcomputer registration system of the surface potential decay. Comparative investigation of polyester foil samples — fresh and those aged with corona discharges — were conducted. Parameters describing the recorded and approximating courses were calculated.

PODZIĘKOWANIE

Referat opracowano w ramach umowy nr 11.120.10, która finansowana jest przez Komitet Badań Naukowych.