

Barbara Florowska

O UZYTECZNOŚCI POMIARÓW WYŁADÓW NIEWYŁADNYCH
DLA OCENY UKŁADÓW IZOLACYJNYCH

1. Wstęp

Wielokanałowa analiza amplitudowa i czasowa wyładowań niezupełnych wraz z innymi metodami, jak akustyczne i optyczne, dostarcza w wyniku wielokierunkowych eksperymentów coraz większej liczby danych o zjawisku wyładowań w różnych materiałach i układach izolacyjnych. Powoduje to z jednej strony na coraz bardziej precyzyjne formułowanie wniosków o mechanizmie wyładowań i tendencjach ich zmian pod wpływem różnych czynników, z drugiej jednak rysuje nowy krąg problemów nie wyjaśnionych, wymagających dalszych badań. Samowygaszczenie wyładowań jest tu przykładem właściwym tak z fenomenologicznego, jak i metrologicznego punktu widzenia. Utrudnia ono bowiem niejednokrotnie porównywanie wyników pomiarów, a w diagnostyce układów izolacyjnych może prowadzić nawet do błędnych wniosków. Od strony metrologicznej zagadnienie sprowadza się natomiast do ujednoczenia niektórych wielkości i pojęć używanych w badaniach wyładowań jako porównawcze.

Przeprowadzone badania w układach modelowych izolacji termoutwardzalnej dostarczyły nieco materiału dla zilustrowania powyższych zagadnień.

dr inż. Barbara Florowska - Instytut Elektroenergetyki Akademii
Gorniczo-Hutniczej w Krakowie.

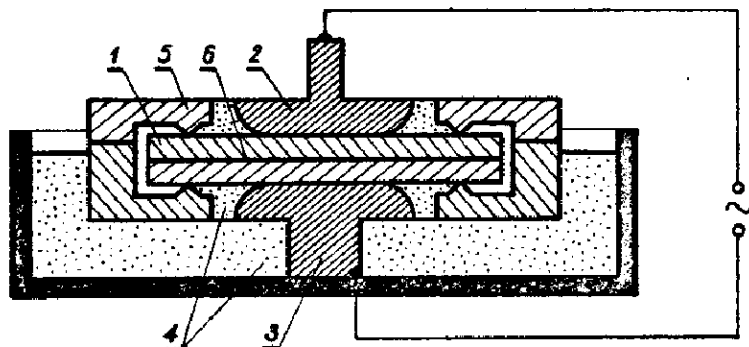
2. Opis badań

W badaniach zastosowano próbki izolacji termoutwardzalnej dla maszyn elektrycznych wysokiego napięcia, zawierające folię poliestrową i papier mikowy nasyczone żywicą epoksydową. Zastosowano dwa rodzaje próbek :

1/ modelujące naturalne rozwarstwienie izolacji /R/ - wykonano przez złożenie dwóch warstw materiału i sklejenie na brzegach. Posiadały grubość $g_s = 0,7 - 0,8$ mm i zawierały szczelinę gazową o grubości możliwej jedynie do przybliżonego określenia na podstawie pomiaru U_0 lub zmian pojemności przy wzroście napięcia $/g_w = 0,05$ mm/.

2/ Wykonane przez złożenie trzech warstw materiału i zawierające w środkowej wtrącinę gazową /W/ o grubości 0,15 /W1/ i 0,3 mm /W2/ i średnicy 4 cm. Próbki reprezentujące powyższe grupy posiadają oznaczenie R, W1, W2.

Układ elektrod wraz z próbką przedstawiono na rys. 1.



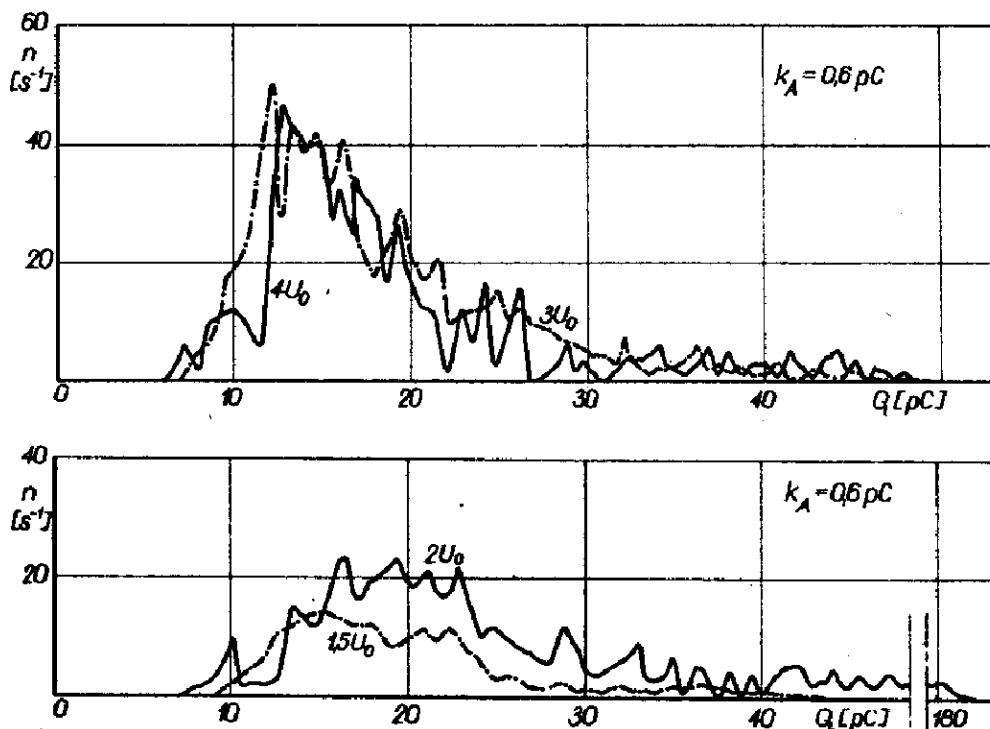
Rys.1. Elektrody pomiarowe : 1 - próbka badana, 2 - elektroda wysokonapięciowa, 3 - elektroda niskonapięciowa, 4 - olej izolacyjny, 5 - obudowa z materiału izolacyjnego zawierająca oringi uszczelniające, 6 - szczelina gazowa na styku warstw

W układzie pomiarowym z analizatorem wielokanałowym /512/ wyznaczono rozkłady amplitudowe wyładowań oraz dokonywano analizy impulsów w czasie. Jako napięcie początkowe wyładowań przyjęto wartość napięcia, przy którym częstość wyładowań wynosiła 50 s^{-1} i stanowiły je wyładowania niestabilne o różnych ładunkach.

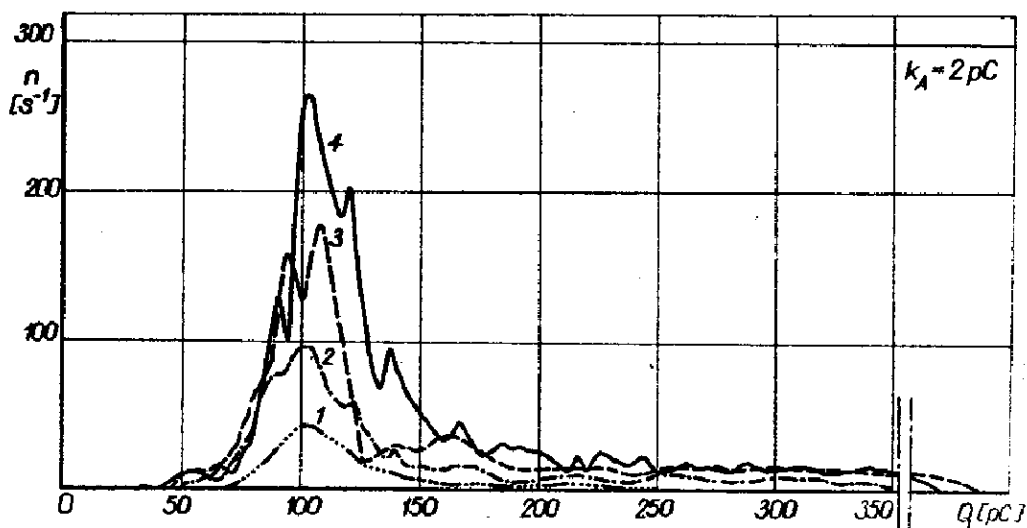
Rozkłady ładunków wyładowań dla próbki R z najmniejszą szczeliną gazową przy napięciu probierczym $1,5; 2; 3$ i $4 U_0$ przedstawiono na rys. 2.

Rozkłady ładunków wyładowań dla próbek zawierających wtrąciny gazowe

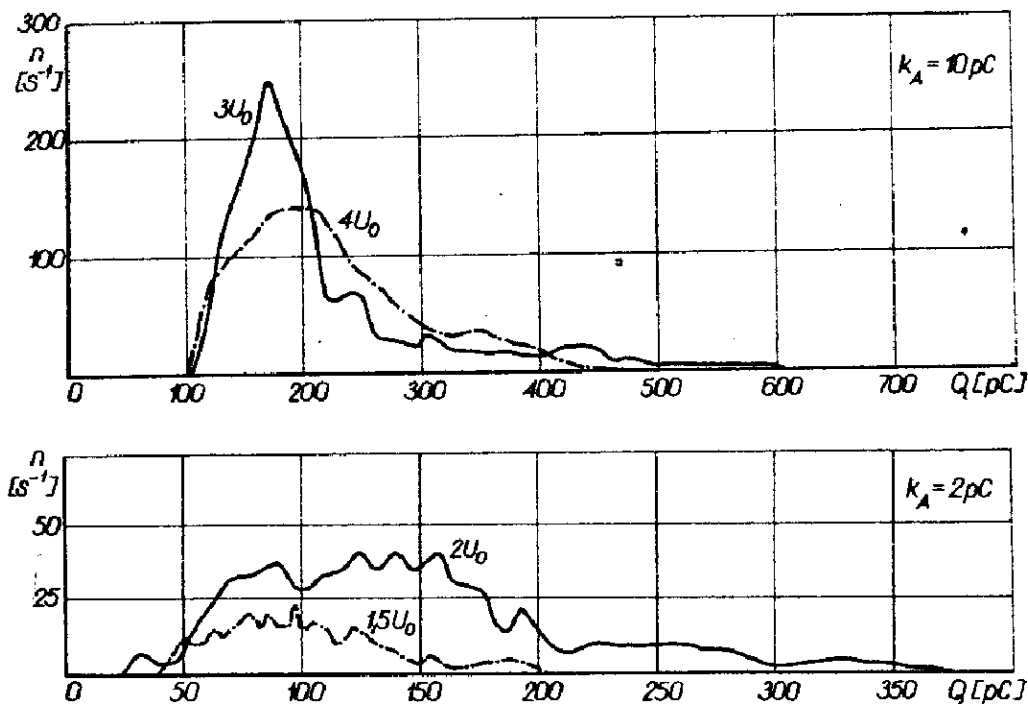
o większych wymiarach /W1, W2/ przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys.2. Rozkłady ładunków wyładowań dla próbki /R/ przy napięciach probierczych 1,5 ; 2 ; 3 ; 1 4 U_0 .



Rys.3. Rozkłady ładunków wyładowań dla próbki W1 / $\epsilon_w = 0,15 mm/$: przy napięciach probierczych 1,5 ; 2 ; 3 ; 4 U_0 .



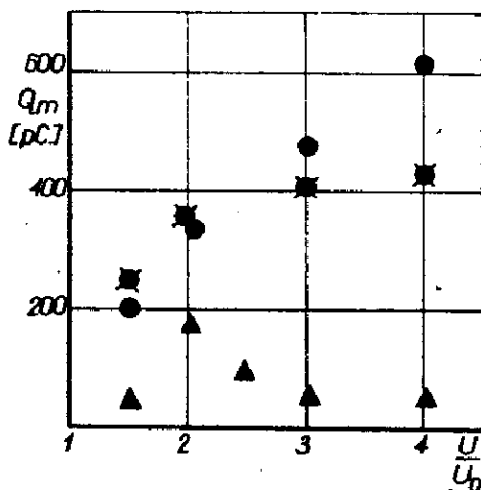
Rys.4. Rozkłady ładunków wyładowań dla próbki W2 / $g_w = 0,3$ mm/ przy napięciach probierczych 1,5 ; 2 ; 3 i 4 U_0 .

Rozkłady ładunków wyładowań nawet w układach modelowych nie są rozkładami symetrycznymi. Na wyładowania we wtrącinie składają się bowiem dwie formy : wyładowania podłużne między ściankami, o charakterze lawiny lub strimera, oraz wyładowania poprzeczne po powierzchni ścianki, gdy gromadzą się na niej ładunki wyładowań podłużnych. Wyładowania podłużne tworzą zbiór statystyczny ładunków, wynikający ze statystyki liczby elektronów w lawinie oraz chwilowych zmian warunków jonizacji. Wyładowania poprzeczne są znacznie radsze, odbywają się z częstością nawet mniejszą niż jedno wyładowanie w okresie. Wartość ładunku wyładowania powierzchniowego zależy nie tylko od lokalnych właściwości na powierzchni wtrąciny, ale również od wielkości poprzedzających go wyładowań podłużnych. Dlatego zbiór wartości ładunków powierzchniowych tworzy rozkład o większym zakresie wartości niż wyładowań podłużnych.

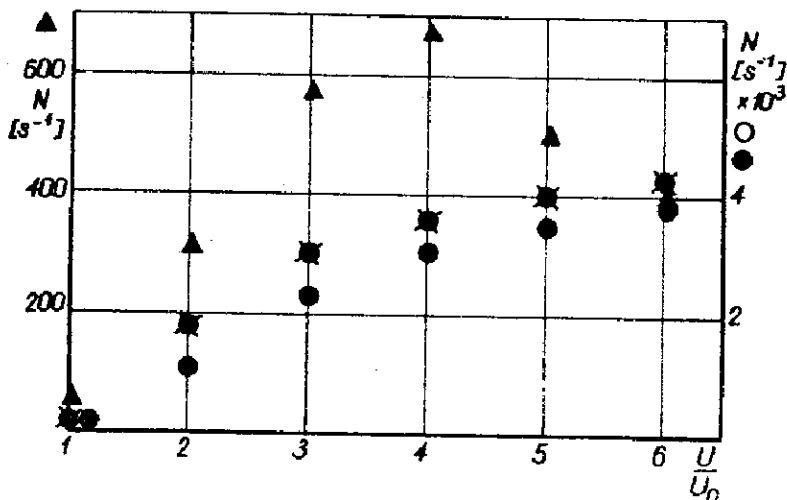
Decydujące zatem znaczenie w mechanizmie wyładowań, szczególnie w układach uwarstwionych, posiadają zjawiska związane ze stanem powierzchni i rodzajem materiału stałego. Rodzaj materiału wpływa bowiem wybitnie na zdolność gromadzenia ładunków w lokalnych pułapkach oraz jego

uwalnianie. Stan powierzchni wpływa poprzez swoją mikrogeometrię na lokalny rozkład pola, który decyduje o rozkładowniu powierzchni po zgromadzeniu na niej określonej wartości ładunków z wykładowań podłużnych we wtrącinie. Znana jest też rola przewodności materiału w rozkładowaniu jego powierzchni [3].

Badania w funkcji napięcia probierczego wykazały różnice w przebiegu zjawiska wykładowań $/Q_m, N/$ w przypadku szczelin o małej i większej grubości /rys. 5 i 6/.

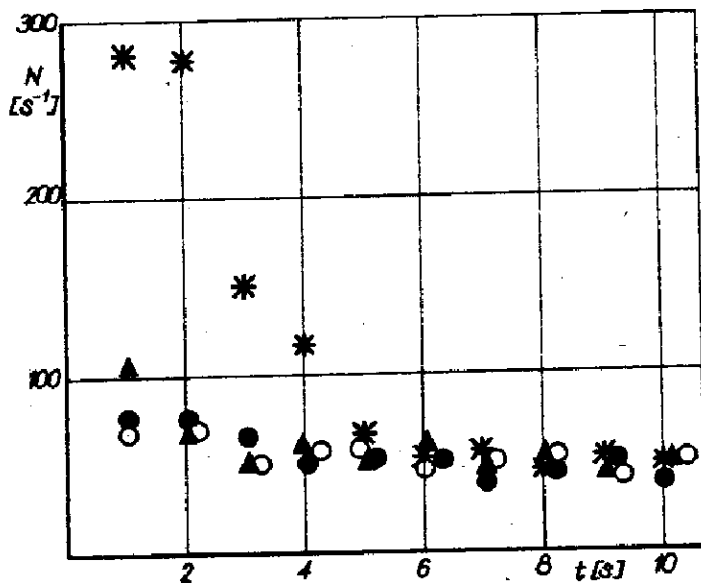


Rys. 5. Zmiany ładunku maksymalnego Q_m : ▲ - próbka z najmniejszą wtrąciną gazową /R/, ■ - próbka W1 /0,15 mm/, ● - próbka W2 /0,3 mm/

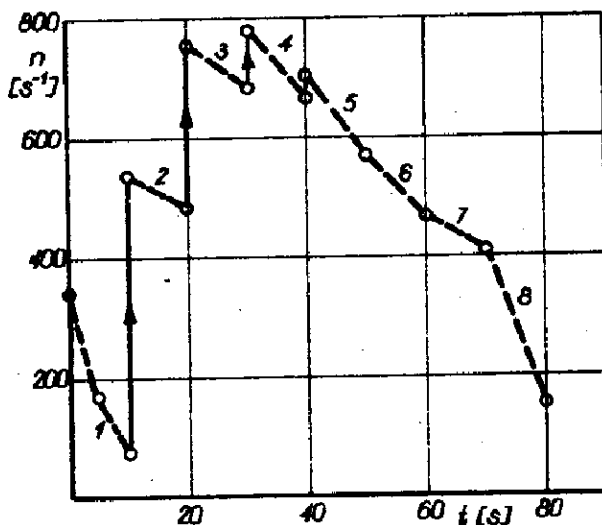


Rys. 6. Zmiany częstości sumarycznych wykładowań: ▲ - próbka z najmniejszą wtrąciną /R/, ■ - próbka W1, ● - próbka W2

Analiza wielokanałowa w czasie przy jednej wartości napięcia probierczego $1,5 U_0$ /rys.7/ oraz przeprowadzona przy wzrastającej jego wartości z działaniem przez 10 s na każdym stopniu /rys.8/ reprezentuje zmiany sumarycznych wyładowań w dowolnie wybranych odstępach czasu. Pomiarzy przeprowadzone przy szerokości kanału równej 1 s i mniejszej ujawniają efekt samowygaszania wyładowań [2] .



Rys.7. Analiza w czasie przy napięciu $1,5 U_0$. *, ▲, ●, ○ - kolejne pomiary w cyklach co 10 s.



Rys.8. Analiza w czasie przy wzrastającej wartości napięcia probierczego : 1 - $1,5 U_0$, 2 - $2 U_0$, 3 - $2,5 U_0$, 4 - $3 U_0$, 5 - $3,5 U_0$, 6 - $4 U_0$, 7 - $4,5 U_0$, 8 - $5 U_0$.

Analiza amplitudowa wyładowań i analiza w czasie ujawniają brak prawidłowości w zmianach wielkości opisujących zjawisko : rozkładach ładunków, ładunku maksymalnym i częstości sumarycznych wyładowań spodziewanych przy różnych grubościach szczeliny gazowej. W przypadku szczelin o najmniejszej grubości ze wzrostem napięcia probierczego ładunek Q_m i częstość N od pewnej wartości napięcia zmniejszają swą wartość w wyniku zanikania wyładowań. Zanikanie to odbywa się z powodu pola elektrycznego ładunków zgromadzonych na powierzchni wtrąciny po kolejnych wyładowaniach.

Jeśli ładunek gromadzony w jednym lub niewielu kolejnych wyładowaniach ma określoną wartość, wówczas powoduje powstanie pola skierowanego podłużnie na powierzchni wtrąciny o takim natężeniu, że rozładowuje ją i likwiduje ładunki powierzchniowe [1]. Istnieją ponownie warunki do wyładowań we wtrącinie. Jeśli jednak ładunek dostarczany w pojedynczym wyładowaniu nie wystarcza do wytworzenia pola stycznego do rozładowanej powierzchni, wówczas gromadzący się ładunek powierzchniowy obniża pole elektryczne we wtrącinie i zatrzymuje proces wyładowania. Konieczny jest zatem pewien krytyczny ładunek do wygaszenia wyładowań. Ładunek pojedynczego wyładowania zwiększa się znacznie w przybliżeniu do 10^6 elektronów, gdy promień lawiny przekroczy pewną krytyczną wartość promienia dyfuzji cieplnej [4]. Promień lawiny zwiększa się proporcjonalnie do x/x - droga lawiny wzdłuż pola we wtrącinie/. Wydaje się więc uzasadnione, że poniżej pewnej grubości wtrąciny gromadzący się ładunek na jej powierzchni, będąc zbyt małym do zainicjowania wyładowania powierzchniowego, powoduje wygaszenie wyładowań we wtrącinie. Proces może się ponownie rozpocząć, gdy po określonym czasie nastąpi rozładowanie powierzchni wtrąciny i zostaną odtworzone warunki do wyładowań.

3. Zaključzenie

- Pomiar wyładowań niezupełnych mogą dostarczyć informacji o strukturze materiału, a w pewnych przypadkach o roli składników w układzie warstwowym.

- Samowygaszenie wyładowań może jednak powodować błędne wyznaczenie zarówno rozkładów ładunków, jak i wartości U_0 , gdy pojęcie to odnosi się do częstości $n = 50 \text{ s}^{-1}$ związanej z wyładowaniem o jednej określo-

nej wartości ładunku. Stąd potrzeba definiowania U_0 przy częstotliwości 50 s^{-1} , ale z uwzględnieniem rozkładu ładunków i czasu ekspozycji.

- Występuje konieczność uwzględnienia dynamiki zjawiska szczególnie w badaniach o charakterze porównawczym lub prowadzonych dla celów diagnostyki.

- Dynamika wygaszenia wyładowań zależy od rodzaju materiału, wartości napięcia i grubości wtrącin gazowych.

Literatura

1. Kärkkäinen S. : Multi-Channel Pulse Analyser in Partial Discharge Studies. Measuring Methods and Results. II Int.Symp.H.V., 1975.
2. Florkowska B., Syrek W., Włodek R.: Badania mechanizmu samowygaszania za pomocą pomiarów prądów termicznie stymulowanych. IV Symp.Problemy wyładowań niezupełnych w układach elektroizolacyjnych. Zakopane, kwiecień 1983.
3. Goliński J.: Mechanizmy wyładowań niezupełnych. Prace Instytutu Elektrotechniki. 1979 z.111.
4. Reather H.: Electron avalanches and breakdown in gases. London, Butterworths, 1964.