

Mgr inż. Leszek Pelion
Dr inż. Romuald Włodek
Instytut Maszyn i Sterowania
Układów Elektroenergetycznych
Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie

ROZKŁADY IMPULSÓW I ICH PARAMETRY OPISOWE JAKO METODA BADANIA ZMIAN RÓŻNYCH FORM WYŁADOWAŃ NIEZUFELNYCH

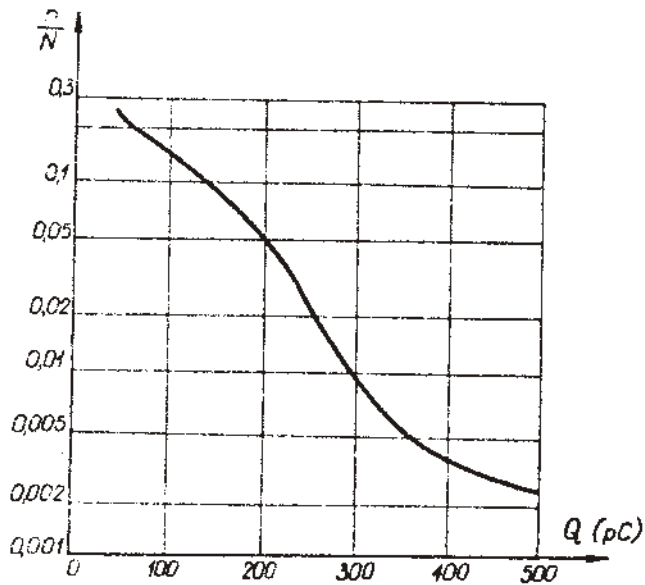
Do badania wyładowań niezufelnych w układach izolacyjnych stosować można metodę analizy impulsów wytwarzanych w obwodzie detekcyjnym przez wyładowania.

W niniejszym artykule podano jeden ze sposobów opracowania i przedstawienia wyników, otrzymanych tą metodą oraz opisano przy jego pomocy przebieg zmian w dwu różnych formach wyładowań.

Działanie analizatora daje zbiór par liczb, w których każdemu wybranemu progowi analizatora, określone w woltach wartości szczytowej odbieranego impulsu odpowiada liczba impulsów o tej wartości z uwzględnieniem szerokości kanału danego progu. Po wykonaniu cechowania układu, uporządkowaniu wyników według wzrastających wartości napięcia progu analizatora i obliczeniu względnych liczb impulsów otrzymuje się funkcję gęstości rozkładu impulsów, odpowiadających danym ładunkom, o postaci

$$\frac{n}{N} = f(Q)$$

Przykład rozkładu tego typu w izolacji kabli elektroenergetycznych na napięcie 15 kV przedstawiony jest na rys.1. Rozkłady mają tu postać zbliżoną do wykładniczej. Tak otrzymane wyniki mogą stanowić materiał do dalszego opracowania, celem porównywania różnych przypadków wyładowań.



Rys.1. Przykład rozkładu impulsów wyładowań w izolacji kablowej.

Ten rozkład liczby wyładowań o danym ładunku nie daje jednak dość bezpośrednio widocznej informacji o rozkładzie intensywności

wyładowań, zgrupowanych w poszczególne przedziały klasowe, różniące się wartością ładunku średniego. Informację taką natomiast otrzyma się, jeśli zostaną przedstawione całkowite ładunki, jakie odpowiadają wszystkim impulsom w poszczególnych przedziałach klasowych. Całkowity ładunek, odpowiadający grupie impulsów w jednym przedziale o danym ładunku przeciętnym jest równy iloczynowi liczebności tego przedziału n_i i jego ładunku przeciętnego Q_i . Tak więc trzeba pierwotny rozkład $\frac{n_i}{N} = f/Q_i$ przetworzyć na drodze obliczeniowej w nowy rozkład

$$\frac{Q_i \cdot n_i}{\sum Q_i \cdot n_i} = f/Q_i', \text{ który przedstawia dla każdego przedziału stosunek jego}$$

ładunku całkowitego do ładunku całkowitego przenieszonego przez wszystkie razem impulsy.

Jako materiał poddany obliczeniom wykorzystano dalej wyniki pomiarów wyładowań niezupełnych w izolacji papierowej nasyconej kabli elektroenergetycznych typu 3 HAK na napięcie 30 kV, otrzymane za pomocą analizatora impulsów o zmienianym progu analizy. Dla uzyskania efektu niszczącego w pewnych przypadkach izolacja została wstępnie sztucznie uszkodzona. Analiza impulsów prowadzona była podczas działania napięcia probierczego w odstępach czasu aż do zaniku wyładowań lub do przebicia izolacji. Rezultatem obliczeń wyników pomiarów były rozkłady $\frac{Q_i \cdot n_i}{\sum Q_i \cdot n_i} = f/Q_i'$ oraz dystrybuanty empiryczne $\frac{\sum_{j=1}^i Q_j \cdot n_j}{\sum Q_j \cdot n_j} = F/Q_i'$ na siatkach laplaso-normalnych.

Rozkłady umożliwiły stwierdzenie istnienia w obu formach wyładowań /zanikających lub niszczących/ wartości modalnych rozkładów, co oznacza dominację w całym zjawisku grupy wyładowań o pewnej wartości ładunku przeciętnego. Wykresy dystrybuant empirycznych, otrzymanych w wyniku obliczeń częstości skumulowanej, przedstawione na siatkach laplaso-normalnych dały możliwość przybliżonego oszacowania zgodności lub odstępstwa badanych rozkładów od rozkładu normalnego.

W celu porównania różnych form otrzymanych rozkładów między sobą oraz ich zmian zachodzących w czasie, obliczono następujące niektóre parametry opisowe rozkładów, jak na przykład:

- wartość przeciętną ładunku jednego impulsu

$$\bar{Q} = \sum Q_i \cdot n_i / N$$

- odchylenie standardowe ładunku

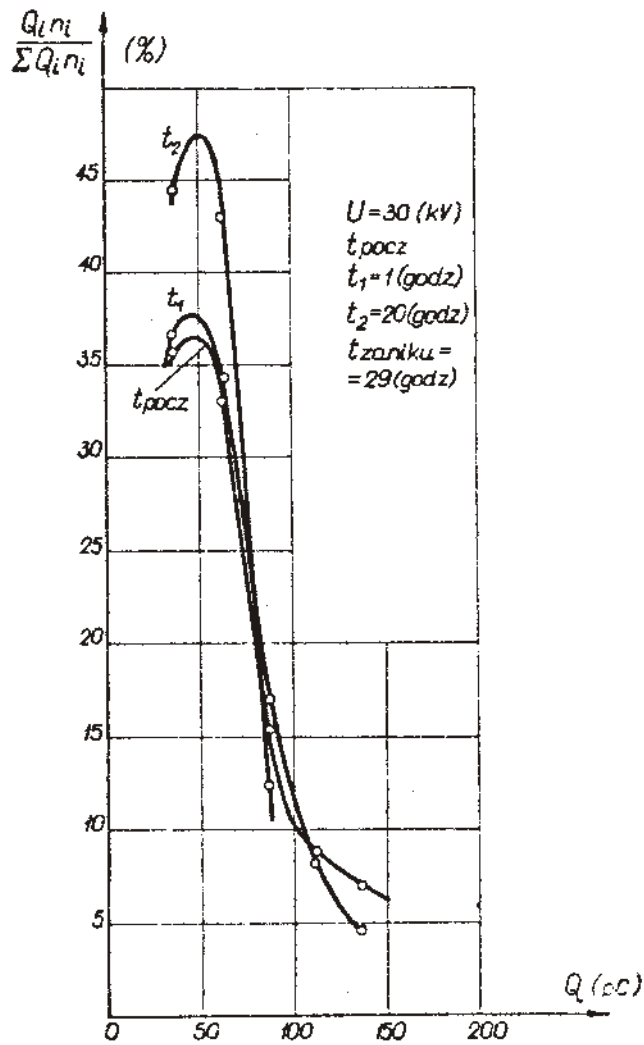
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum /Q_i - \bar{Q}^2 \cdot n_i}{N}}$$

- wartość modalną M
- rozstęp cechy mierzalnej /ładunku/

$$R = Q_{\max} - Q_{\min}$$

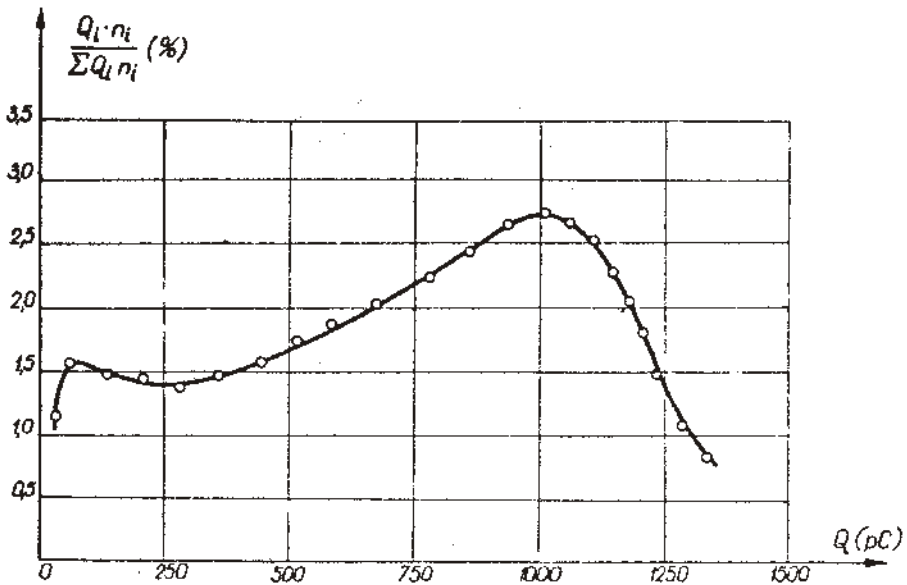
Wyładowania typu zanikającego dają impulsy mało zróżnicowane w grupie. Ładunki wynosiły tutaj od 20 do 500 pC, przy rozstępie cechy mierzalnej od 90 do 300 pC. Rozkłady $Q_i \cdot n_i / \sum Q_i n_i = f(Q)$ były zbliżone do rozkładu normalnego lub rozkładu gamma /rys.2/ o niewielkiej wartości modalnej i przeciętnej około kilkudziesięciu pC, oraz odchyleniu standardowym 20-30 pC. Widać z tego, że większość całkowitego ładunku przenosiły impulsy o małym ładunku przeciętnym i one to miały decydującego znaczenia w tego typu wyładowaniach.

Wyładowania niezupełnie prowadzące do przebicia izolacji mają znacznie odmienny charakter w porównaniu z wyładowaniami zanikającymi. Impulsy są tutaj bardziej zróżnicowane w całej swej grupie, a parametry opisowe rozkładów ładunków tych wyładowań są inne w porównaniu z poprzednim typem. Zakres ładunków wynosił w tym przypadku od 20 do kilku tysięcy pC a rozstęp cechy mierzalnej ponad 1500 pC, a więc 3-5 krotnie więcej niż przy wyładowaniach zanikających. Rozkłady $Q_i \cdot n_i / \sum Q_i n_i = f(Q)$ były bardziej skomplikowane, posiadały w badanych przypadkach czasem dwie wartości maksymalne lub punkty przegięcia, co sugerowało możliwość superpozycji z kilku innych rozkładów/rys.



Rys.2. Wyładowania niezupełne zanikające.

Rozkład ładunków $\frac{Q_1 n_1}{\sum Q_1 n_1} = f/Q_1/$ dla różnych chwil działania napięcia



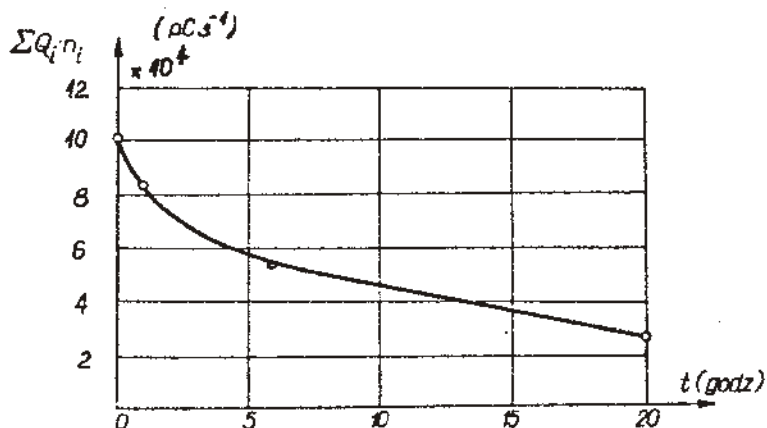
Rys.3. Wyładowania niezupełne prowadzące do przebicia.
Rozkład ładunków $\frac{Q_i \cdot n_i}{\sum Q_i \cdot n_i} = f/Q_i$ na początku działania napięcia.

Wartości modalne, przeciętne oraz odchylenia standardowe tych rozkładów były rzędu setek pC. Wynika z tego, że w początkowych chwilach tego typu wyładowań decydujące znaczenie mają impulsy o dużych ładunkach przeciętnych.

Jeżeli chodzi o zmiany zachodzące w zjawiskach wyładowań niezupełnych z biegiem czasu, to stwierdzono, że do wnioskowania na ich podstawie o jakości izolacji trzeba uwzględnić, że zmiany te są realizacjami procesu stochastycznego.

Zanikanie wyładowań odbywa się w czasie od kilkadziesiąt minut do kilkadziesiąt godzin. W badanych przypadkach w miarę upływu czasu zmniejszał się od 20 do 80% zakres ładunków i ich rozstęp oraz zmniejszała się kilkakrotnie

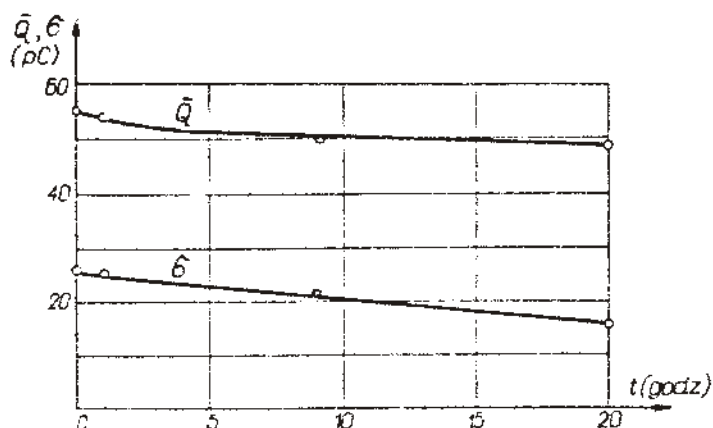
całkowita liczba wyładowań, a w związku z tym i całkowity ładunek /rys.4/.



Rys.4. Wyładowania niezupełne zanikające. Zmiana ładunku całkowitego $\sum Q_i \cdot n_i$ w czasie działania napięcia.

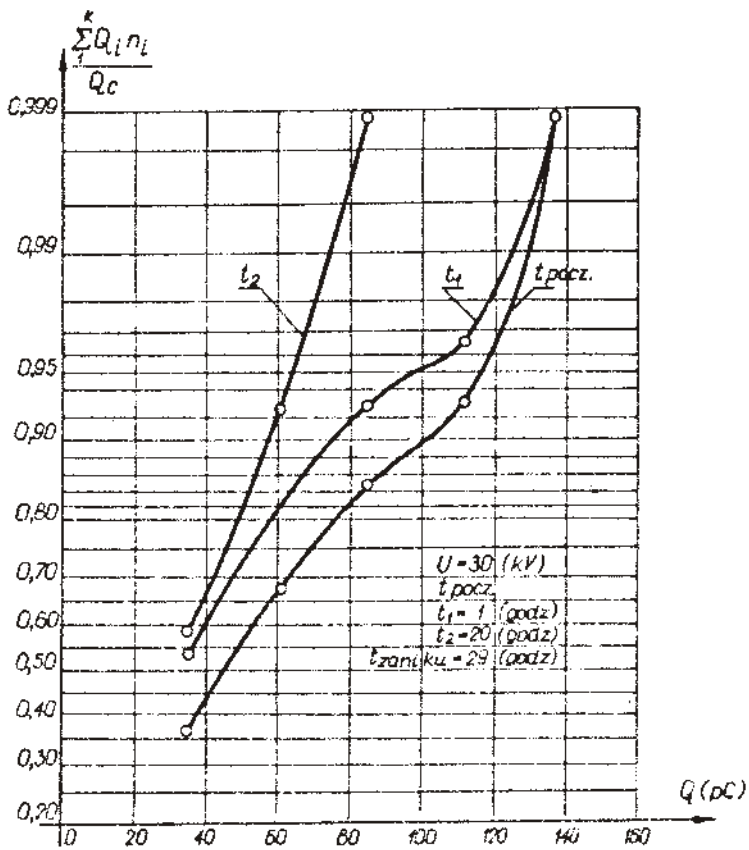
Prędkość zmniejszania się liczby impulsów nie była jednakowa w całym zakresie ładunków, a okazała się tym większa im większy był ładunek pojedynczego impulsu, w związku z czym z biegiem czasu coraz większą przewagę zdobywały impulsy o małych ładunkach. Następuje więc zmniejszanie się wartości przeciętnej ładunku i odchylenia standardowego. /rys.5/. Wartość modalna natomiast pozostawała w przybliżeniu stała /rys.2/. Kształt rozkładu zbliżał się do rozkładu normalnego, co jest widoczne zwłaszcza na wykresach na siatkach laplaso-normalnych /rys.6/.

Całkowicie odmienne pod względem ilościowym i jakościowym były zmiany w czasie rozwoju wyładowań niszczących izolację.

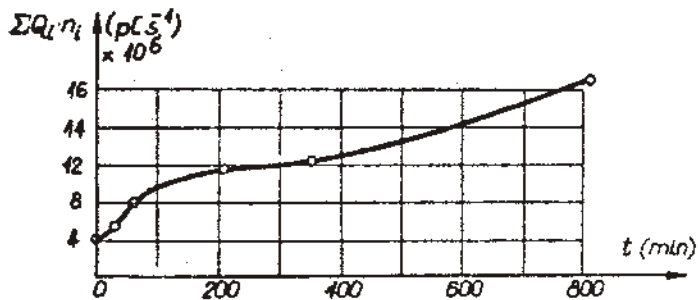


Rys. 8. Wylądowania niezupełne zanikające. Zmiana ładunku przeciętnego \bar{Q} i odchylenia standardowego ładunku δ w czasie działania napięcia.

Wylądowania te przy napięciu 30 kV doprowadzały do przebicia w czasie od kilkudziesięciu minut do kilkunastu godzin. W miarę upływu czasu wzrastała całkowita liczba impulsów do wartości końcowej kilkunastokrotnie większej od początkowej. Wiązał się z tym kilkukrotny wzrost całkowitego ładunku impulsów /rys.7/. Zmiany liczby wylądowań o różnych ładunkach nie były tu również jednakowe. Najszybciej zwiększała się liczba impulsów o małych ładunkach, najwolniej zaś liczba impulsów o bardzo dużych ładunkach. W chwilach początkowych decydujące znaczenie miały impulsy o ładunkach dużych, przenosząc większość ładunku całkowitego /około 80 %/. Z biegiem czasu jednak znaczenie tych impulsów malało i pod koniec działania napięcia przenosiły już one tylko około 40 % całkowitego ładunku /rys.8/. Liczba wylądowań o małych ładunkach zwiększyła się w tym czasie kilkudziesiętkrotnie.



Rys.6. Dystrybuanty empiryczne $\frac{\sum Q_i n_i}{\sum Q_i n_i} = z/Q$
 dla wyładowań zanikających w izolacji kablowej



Rys.7. Wyładowania niezupełne prowadzące do przebicia.
Zmiana ładunku całkowitego $\Sigma Q_i.n_i$ w czasie działania napięcia.

Zmiany te powodowały, że kształty rozkładów z biegiem czasu coraz bardziej różniły się od rozkładów w chwili początkowej.

Wartości modalne i przeciętne malały z kilkuset pC na początku działania napięcia do kilkudziesięciu pC przed przebicciem. Bardzo charakterystyczne były również zmiany odchylenia standardowego. Początkowo wartość jego wzrastała /co wiązało się ze "spłaszczeniem" rozkładu/, natomiast później malała w wyniku znacznego zwiększenia się liczby impulsów o małych ładunkach /rys.9/.

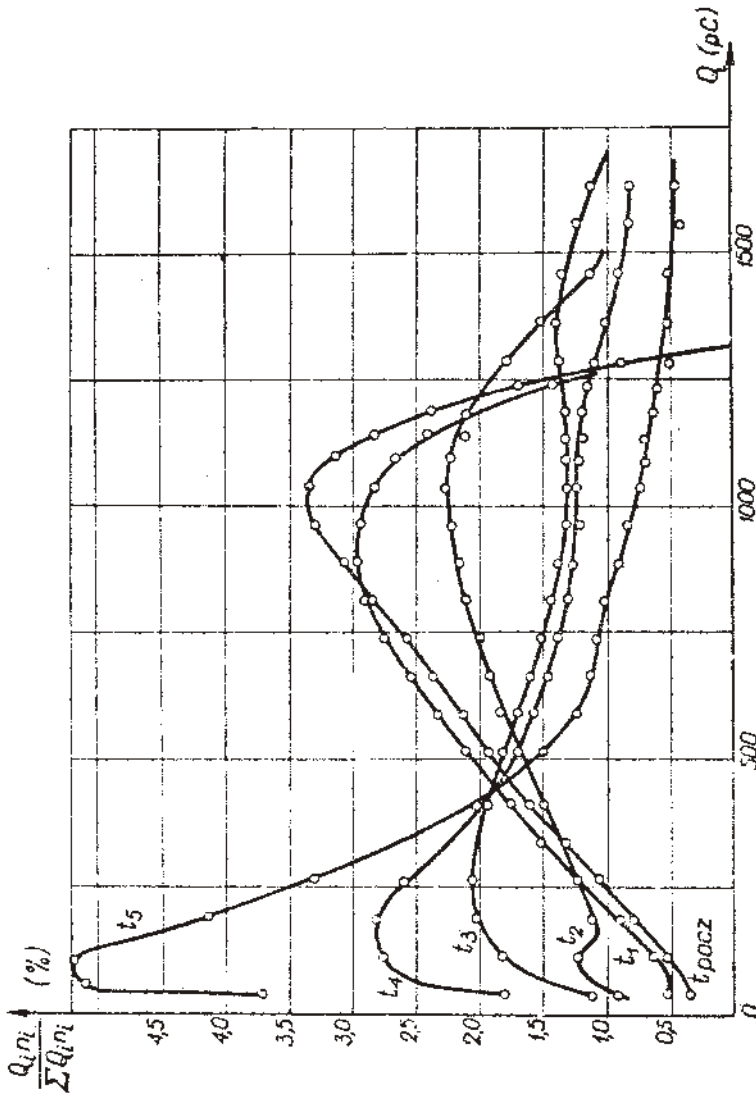
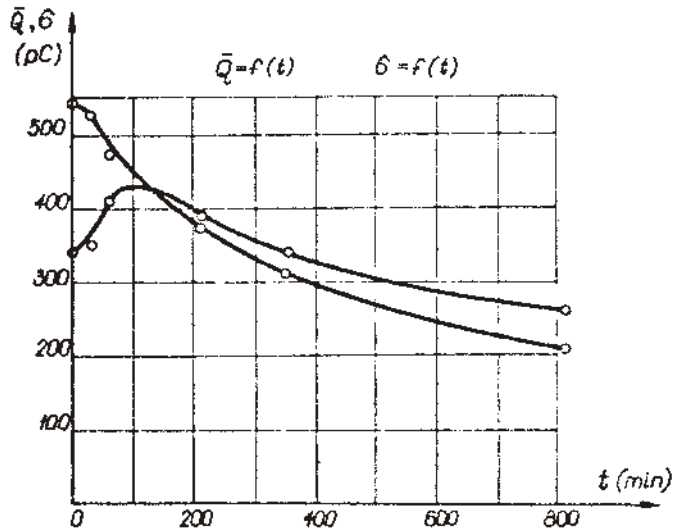


Рис. 6. Выявление неадекватности проводящих до переключения. Распределение нагрузки

$$\frac{Q_i \cdot n_i}{\sum Q_i \cdot n_i} = f / Q_i / \text{ для различных моментов действия напряжения.}$$



Rys.9. Wyładowania niezupełne prowadzące do przebicia.
Zmiana ładunku przeciętnego \bar{Q} i odchylenia standardowego ładunku w czasie działania napięcia.

Wnioski.

Wyniki pomiarów ładunków wyładowań niezupełnych otrzymane za pomocą analizatora amplitud można przetworzyć do rozkładów $Q_1 n_1 / \sum Q_1 n_1 = f/Q_1$, których postać jest dogodniejsza do badania wyładowań, zwłaszcza przy porównywaniu różnych ich form na obiekcie tego samego rodzaju. Rozkłady tego typu dają wyraźną informację o dominacji w całej grupie impulsów przenoszących ładunki o pewnej wartości. Kształt ich w przypadku wyładowań rozwijających się do przebicia może być w różnym stopniu złożony. Zarówno w przypadku zaniku wyładowań pod działaniem napięcia jak i ich rozwoju do przebicia izolacji następuje zmiana kształtu rozkładu w wyniku przesuwania się dominujących ładunków w inne zakresy.

Literatura

1. Florkowska B. - Badania wyładowań częściowych w izolacji papierowo-olejowej kabli elektroenergetycznych metodą analizy impulsów napięciowych. Praca doktorska - AGH, 1968.
2. Florkowska B., Gacek R. - O stabilności wyładowań niezupełnych w izolacji papierowo-olejowej. Symposium "Wyładowania niezupełne jako czynnik destrukcji izolacji" AGH- PEME, Krościenko 1972.