

Ryszard Dobroszewski

POMIAR WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH PRZY UŻYCIU
WIELOKANALOWEGO ANALIZATORA IMPULSÓW

1. Wstęp

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod pomiaru wyładowań niezupełnych jest zliczanie impulsów napięciowych. Impulsy powstające w układzie pomiarowym wskutek wyładowań niezupełnych w badanym obiekcie posiadają charakter przypadkowy - powtarzają się w nie-regularnych odstępach czasu i mają znacznie różniące się amplitudy. Z tych względów przy pomiarach wyładowań niezupełnych konieczna jest statystyczna analiza impulsów.

Wcześniejsze metody pomiarowe opierały się o zastosowanie elektronicznych przeliczników impulsów wyposażonych w dyskryminatory amplitudy [4] - w czasie pomiaru zliczano impulsy o amplitudach przekraczających z góry ustalony poziom. Przez zmianę poziomu dyskryminacji i odejmowanie wyników odnoszących się do poszczególnych poziomów amplitud udawało się rejestrować t.zw. rozkłady amplitudowe impulsów wyładowań /rozkłady ładunku/, jednakże pomiary te były dość uciążliwe i pracochłonne.

Znaczące usprawnienie metodyki pomiarowej nastąpiło po zastosowaniu analizatorów amplitudy przystosowanych do zliczania impulsów

Dr inż. Ryszard Dobroszewski
Politechnika Poznańska
Instytut Elektroenergetyki
Poznań

o amplitudach mieszcząca się w tzw. "okienku" utworzonym przez dolny i górny poziom dyskryminacji. Zastosowanie tego typu analizatorów 1-kanalowych jest obecnie bardzo powszechne, jednakże niejednokrotnie może prowadzić do znacznych błędów wynikających z niestabilności wyładowań niesupełnych w czasie.

Zjawiska niestabilności, a nawet samowygaszania i ponownego zapłonu wyładowań były bardzo często obserwowane nawet przy użyciu najprostszycch układów pomiarowych [3], [8]. Obserwacje wykazują, że intensywność wyładowań niesupełnych może ulegać szybkim i znacznym wahaniom, co oczywiście uniemożliwia wierne zarejestrowanie rzeczywistego rozkładu amplitudowego, gdyż zliczanie impulsów w całym paśmie amplitud wymaga dość długiego czasu /np. kilkanaście minut/, nawet przy zastosowaniu automatycznej regulacji poziomu dyskryminacji. Analiza i interpretacja uzyskanych tą drogą rozkładów amplitudowych wyładowań niesupełnych może więc napotykać na znaczne trudności lub prowadzić do błędnych wniosków.

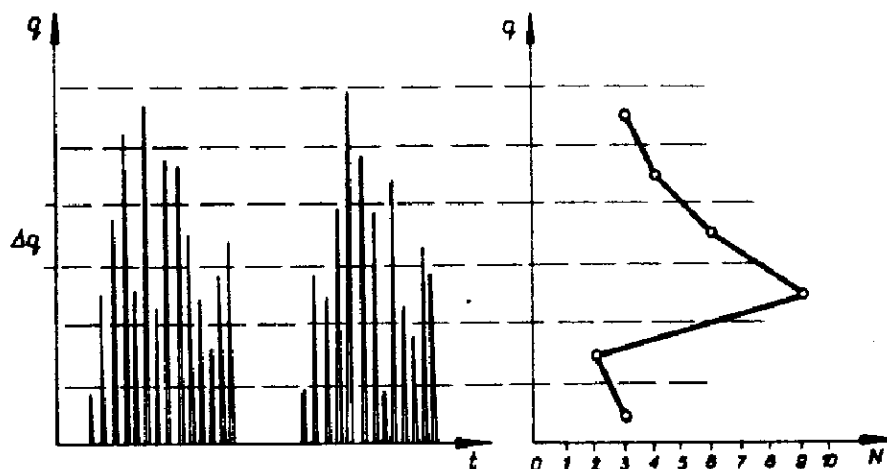
Niewątpliwie najlepszą metodą badań statystycznych impulsów wyładowań niesupełnych jest rejestracja rozkładów impulsów uzyskanych przy pomocy wielokanałowego analizatora, który umożliwiłby jednocześnie zliczanie impulsów np. w kilkuset kanałach odpowiadających "okienkom" i pokrywających cały zakres amplitud. Czas pomiaru mógłby w takim przypadku być skrócony do minimum.

Pierwsze próby zastosowania analizatorów wielokanałowych do pomiaru wyładowań niesupełnych podjęto z powodzeniem już przed kilkoma laty [2] [7], ale wysoki koszt aparatury hamuje rozpowszechnienie tej metodyki badań.

Referat uwidacznia szerokie możliwości badań charakterystyk wyładowań niesupełnych przy użyciu wielokanałowego analizatora impulsów, opierając się na kilku przykładach zaczerpniętych z literatury oraz z badań przeprowadzonych przez autora w czasie pobytu w Laboratoire de Génie Electrique w Tuluzie.

2. Możliwości badań charakterystyk wyładowań niezupełnych przy użyciu wielokanałowego analizatora impulsów

W nowoczesnych analizatorach wielokanałowych nieuporządkowane impulsy napięciowe są klasyfikowane według amplitudy w setkach lub nawet tysiącach przedziałów /rys.1/ i kierowane do oddzielnych kanałów zliczających.



Rys.1. Zasada klasyfikacji i zliczania impulsów wyładowań niezupełnych w wielokanałowym analizatorze amplitudy.

Każdy z kanałów może posiadać bardzo dużą pojemność zliczania np. 10^6 , przy czasie rozdzielczym rzędu kilku mikrosekund. Czas zliczania może być nastawiany w szerokich granicach, np. od 1 do 10^5 sekund. Analizatory tego typu wyposażone są zwykle w pamięć ferrytową oraz w monitor telewizyjny przeznaczony do wizualizacji zawartości pamięci. Informacje wyjściowe mogą być też zapisywane na rejestratorze, na drukarce albo na taśmie perforowanej dla późniejszego opracowania na maszynie cyfrowej [6].

Tego rodzaju wielokanałowy analizator pozwala automatycznie i w krótkim czasie rejestrować rozkłady amplitud impulsów, które

najlepiej charakteryzują intensywność wyładowań niezupełnych, gdyż informują dokładnie o liczbie wyładowań n w jednostce czasu, posiadających określony ładunek pozorny q . Posługując się takim rozkładem można określić pozostałe wielkości będące miarą intensywności wyładowań jak: średni prąd wyładowań I , średni kwadrat ładunku D oraz moc wyładowań P .

Analizator wielokanałowy umożliwia także badania rozkładów przerw czasowych Δt między kolejnymi wyładowaniami. Badaniom takim poświęca się w ostatnim czasie wiele uwagi [1], [7], zwłaszcza we Francji. Interwały czasowe rozdzielające kolejne wyładowania najpierw przekształca się przy pomocy odpowiedniego konwertera na impulsy o amplitudach zależnych od długości przerwy czasowej, a następnie poddaje się je analizie.

Wielokanałowy analizator impulsów umożliwia ponadto szybką automatyczną rejestrację zmian częstości wyładowań w czasie, co ma szczególne znaczenie w badaniach stabilności wyładowań niezupełnych. W tym przypadku każdy kanał analizatora odpowiada przedziałowi czasu - impulsy są zliczane w kolejno następujących po sobie przedziałach równych np. 1 sekundzie.

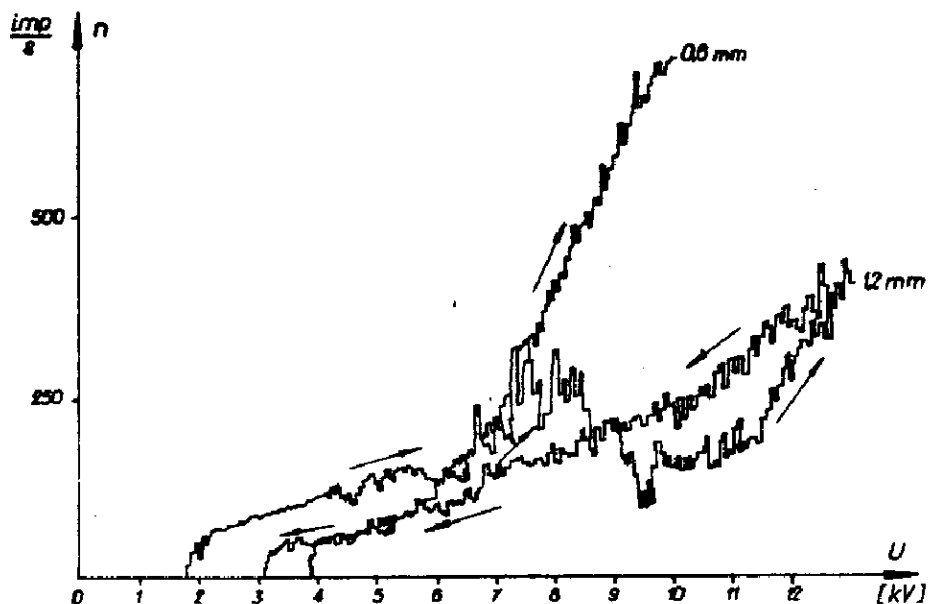
Przy użyciu wielokanałowego analizatora impulsów można także szybko badać inne charakterystyki wyładowań niezupełnych, jak np. częstość wyładowań w funkcji napięcia probierczego /t.zw. pętla histerezy wyładowań/ lub w funkcji temperatury /stosując termoparę i rejestrator X-Y/.

Wielokanałowe analizatory impulsów stwarzają więc wielorakie możliwości szybkich badań charakterystyk wyładowań niezupełnych i niewątpliwie stanowią bardziej użyteczne narzędzie badawcze od aparatury będącej obecnie w powszechnym użytku.

3. Badania stabilności oraz rozkładów impulsów

Zjawisko niestabilności, samowygaszania i ponownego zapłonu wyładowań znane są od dawna [3], [8] i stanowią ważny problem przy wszelkich pomiarach intensywności wyładowań niezupełnych. Badania tych zjawisk opierano bądź na pomiarach napięcia zapłonu i napięcia gaśnięcia wyładowań [8], bądź na pomiarach liczby wyładowań lub prądu [3], określając ich zmienność w czasie.

Zjawisko niestabilności wyładowań niezupełnych można także często stwierdzić przy pomiarach częstości wyładowań w funkcji napięcia probierczego. Przykładem mogą być wykresy przedstawione na rys.2 otrzymane dla dwóch wtrącin cylindrycznych sztucznie wykonanych w płytce z żywicy epoksydowej /średnica wtrąciny 3 mm, wysokość 0,6 mm oraz 1,2 mm, grubość próbki odpowiednio 1,2 mm lub 1,8 mm/.

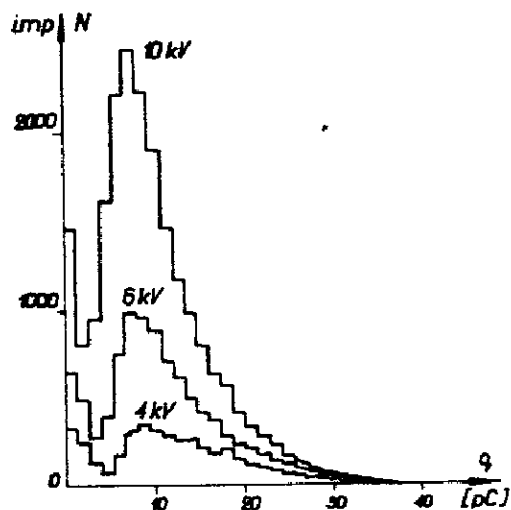


Rys.2. Zależność częstości wyładowań niezupełnych przekraczających 6 pC od wysokości napięcia probierczego - porównanie stabilności wyładowań w dwóch różnych wtrącinach gazowych.

Wykresy zarejestrowano na taśmie papierowej stosując analizator 200-kanalowy typu SZ-82 produkcji francuskiej oraz płynną regulację napięcia przy pomocy silnika nawrotnego. Szybkość regulacji napięcia była równa 4 kV na minutę, a analizator zliczał impulsy w kolejnych przedziałach czasowych /kanałach/ równych 1 sekundzie, czyli czas rejestracji przedstawionej pętli histerezy wyładowań był równy około 6 minut. W przypadku wtrącia o wysokości 0,6 mm krzywa $n=f/U$ jest dość regularna, natomiast w przypadku wtrąciny o wysokości 1,2 mm przy podnoszeniu napięcia stwierdzono bardzo wyraźne załamanie się krzywej, co świadczy o znacznej niestabilności wyładowań /przy obniżaniu napięcia wyładowania były już bardziej stabilne/. Podobne zjawiska występujące np. przy badaniu rozkładów impulsów wyładowań mogą znacznie zniekształcić otrzymany przebieg i dlatego bardzo istotne jest skrócenie czasu pomiaru do minimum.

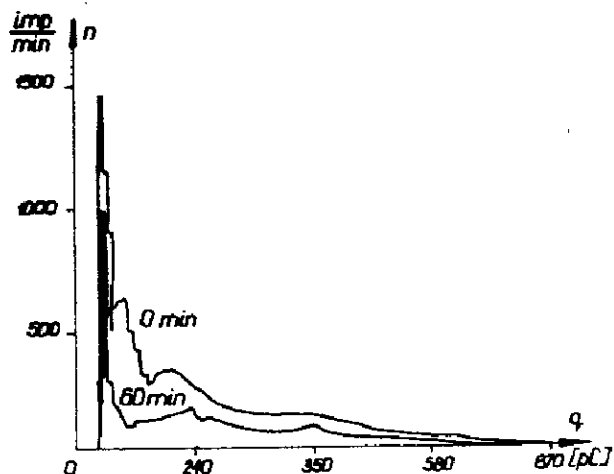
Jak już wspomniano wyżej, wielokanałowy analizator impulsów umożliwia szybką rejestrację rozkładu amplitud wyładowań niezpełnych - dla przykładu na rys.3 przedstawiono rozkłady ładunku wyładowań we wtrącinie o wysokości 0,6 mm otrzymane dla trzech poziomów napięcia. Rozkłady te badano przy użyciu wspomnianego analizatora SZ-82, który zliczał impulsy napięciowe o amplitudach zawartych w przedziałach o szerokości 20 mV, co w danym układzie odpowiadało przedziałom ładunku $\Delta q = 1,33$ pC. Czas rejestracji rozkładu $n=f/q$ w tym przypadku był równy 20 sekund, ale istniała możliwość nastawy czasu zliczania od 1 sekundy do 10^5 s.

Z kształtu rozkładu ładunku wyładowań próbuje się czasem określać liczbę, wymiary i położenie wtrącin gazowych w izolacji, jednak jest to dość ryzykowne i wnioski należy wyciągać bardzo ostrożnie. Kształt rozkładu jest także uzależniony od stanu zesterzenia izolacji, jednak obserwuje się nie tylko powolne, ale i szybkie zmiany kształtu rozkładów.



Rys. 3. Rozkłady ładunków pozornych wyładowań niezupełnych w sztucznej wtrącinie powietrznej dla trzech poziomów napięcia.

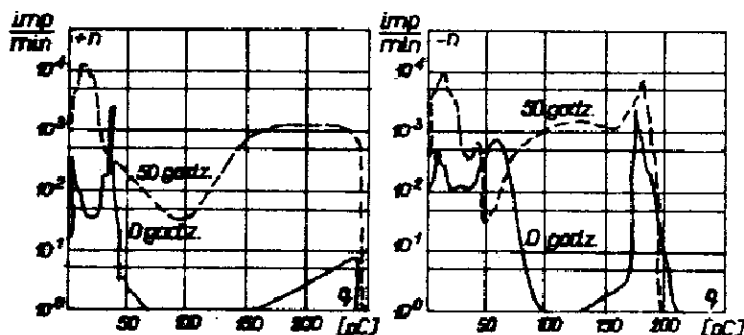
Przykładem szybkich zmian rozkładu amplitud impulsów mogą być krzywe pokazane na rys. 4. dotyczące wyładowań niezupełnych w kablu o izolacji z gumy etylenowo-propylenowej [2].



Rys. 4. Zmiana rozkładu ładunku pozornego wyładowań niezupełnych w czasie 1 godziny działania napięcia - dla kabla o izolacji z gumy etylenowo-propylenowej [2].

Przedstawione rozkłady badano przy użyciu 355-kanalowego analizatora natychmiast po przyłożeniu napięcia oraz po czasie 1 godziny, przy czym czas rejestracji rozkładu był równy 1 minucie.

Zmiany rozkładu ładunku wyładowań w dłuższym czasie - do 50 godzin, przedstawiono na rys.5, oddzielnie dla impulsów dodatnich i ujemnych [7] .

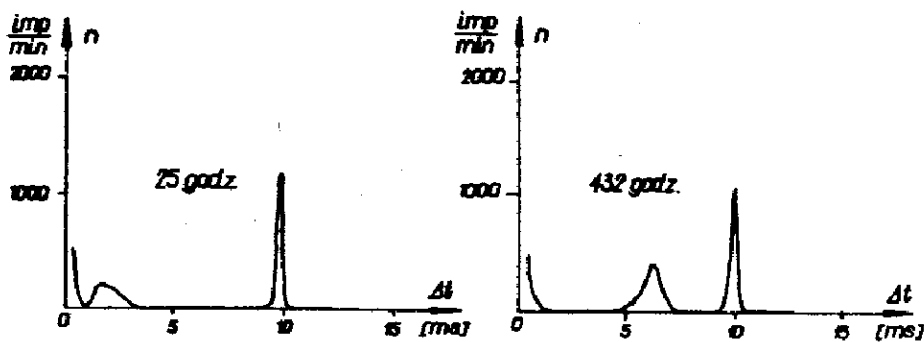


Rys.5. Zmiany rozkładów ładunku pozornego wyładowań niespełnych w czasie 50 godzin działania napięcia - dla sztucznej wtrąciny niesymetrycznej /impulsy dodatnie i ujemne/ [7] .

Pozzczególne rozkłady rejestrowano w czasie 1 minuty. Różnice rozkładów impulsów obu biegunowości wynikają stąd, że krzywe te otrzymano dla sztucznej wtrąciny niesymetrycznej, utworzonej między elektrodą miedzianą a warstwą polichlorku winylu /wysokość wtrąciny 1 mm, a średnica 5 mm/. Różnice te są najbardziej wyraźne zaraz po przyłożeniu napięcia, natomiast po czasie 50 godzin stwierdzono ich wycieranie się. Sądzi się, że uwiadczenia się w ten sposób proces starzenia się układu izolacyjnego.

O stanie weterowania układu izolacyjnego może także świadczyć kształt wspomnianego wyżej rozkładu przerw czasowych między kolejnymi-

mi wyładowaniami. Dla przykładu na rys.6 pokazano tego rodzaju rozkłady odnoszące się do sztucznej wtrąciny o wysokości 0,25 mm i średnicy 3 mm, zawartej w płaskiej próbce żywicy epoksydowej [1]. Wielokrotnie przeprowadzane w Tuluzie badania długotrwałe takich rozkładów wykazały przede wszystkim przesuwanie się w czasie starzenia jednego z maksimów rozkładu. Maksimum to występuje początkowo dla Δt bliskiego 2 milisekundy, następnie przesuwa się w stronę dłuższych interwałów czasowych, aby na kilkadziesiąt godzin przed przebicciem próbki osiągnąć ponad 6 ms.



Rys.6. Zmiana rozkładu przerw czasowych Δt między kolejnymi wyładowaniami w czasie długotrwałego starzenia napięciowego próbki z żywicy epoksydowej ze sztuczną wtrąciną powietrzną /przebiecie próbki nastąpiło po 456 godz./ [1]

Interpretacja zaobserwowanych zjawisk jest jeszcze dość trudna i wymaga dalszych badań teoretycznych i eksperymentalnych. Badania rozkładów interwałów czasu między kolejnymi wyładowaniami niewątpliwie stanowią ważne uzupełnienie badań rozkładów ładunku pozornego

wyładowań niezpełnych i mogą dostarczyć nowych informacji o postępującym procesie starzenia układów izolacyjnych.

4. Wnioski

1. Zjawiska niestabilności wyładowań niezpełnych mogą często wprowadzać znaczne błędy przy pomiarach wyładowań przy użyciu przelicznika impulsów lub jednokanałowego analizatora amplitudy.
2. Zastosowanie wielokanałowego analizatora impulsów stwarza szerokie możliwości szybkich i bardziej dokładnych pomiarów intensywności wyładowań niezpełnych oraz umożliwia zautomatyzowanie pomiarów.
3. Wielokanałowy analizator impulsów jest szczególnie użyteczny przy badaniach stabilności wyładowań niezpełnych, rozkładów ładunków pozornych wyładowań oraz rozkładów przerw czasowych między kolejnymi wyładowaniami.
4. Rozkład przerw czasowych między kolejnymi wyładowaniami obok rozkładu ładunków pozornych wyładowań może stanowić cenne źródło informacji o stanie zestarzenia układu izolacyjnego.

Literatura

1. Bapt J.C. - Etude du vieillissement des isolants soumis á des décharges partielles á partir de la distribution des durées entre décharges successives /chronogrammes/ - Thése, Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse, 1974r.
2. Bartnikas R. - Note on Multichannel Corona Pulse-Height Analysis IEEB Trans. on Electr. Insul. t. EI-8 Nr 1, 1973r.
3. Dobroszewski R. Górczewski W - Badanie stabilności wyładowań niezpełnych na układzie modelowym dielektryka stałego
Symposium "Wyładowania niezpełne jako czynnik destrukcji izolacji AGH-PMK Krosńcienko 1972r

4. Dobroszewski R. Seidel S - W sprawie pomiaru intensywności wyładowań niezupełnych przy użyciu przelicznika impulsów - Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej "Elektryka" Nr 11 1969r.
5. Florkowska B. Gacek R. - O stabilności wyładowań niezupełnych w izolacji papierowo-olejowej Symposium "Wyładowania niezupełne jako czynnik destrukcji izolacji" AGH - PKME Krościenko 1972 r.
6. Koch C. - Utilisation des analyseurs multicanaux pour le traitement automatique des mesures numériques - Qualité-Revue Pratique de Contrôle Industriel Nr 41 1970
7. Matikainen K. - Quelques observations sur la distribution des impulsions de décharges partielles mesurées à l'aide d'un analyseur multicanaux - CIGRE 1968 rap.21-06
8. Rogers E.C - The Self-Extinction of Gaseous Discharges in Cavities in Dielectrics - Proc.IEE 1958 cz.II.