

Barbara Florkowska, Ryszard Gacek, Romuald Włodek

TECHNIKA REJESTRACJI WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH ZA POMOCĄ ANALIZATORÓW WIELOKANAŁOWYCH I ZASTOSOWANIE ETO DO OPRACOWANIA WYNIKÓW

1. Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zastosowania urządzeń elektronicznych do badań wyładowań niezupełnych za pomocą techniki analizowania impulsowych form ich objawów zewnętrznych [1,3,6]. Rozwój tej metody poczynszy od dyskryminacji amplitud przy użyciu liczników, poprzez analizatory jednokanałowe doprowadził ostatnio do wykorzystania analizatorów wielokanałowych, umożliwiających selekcję impulsów pod względem amplitud i odstępów w sekwencji czasowej.

W niniejszym artykule podano podstawy techniki analizatorów wielokanałowych oraz przykłady wyników eksperymentów otrzymanych tą metodą na różnych obiektach technicznych. Analizatory, a w szczególności analizatory wielokanałowe dostarczają licznych danych, których wszechstronne wykorzystanie wymaga dużego nakładu pracy obliczeniowej. Szczególnie przydatnym jest w tym zakresie użycie metod elektronicznej techniki obliczeniowej i przetwarzania danych, w związku z czym podano również uwagi i przykłady na ten temat.

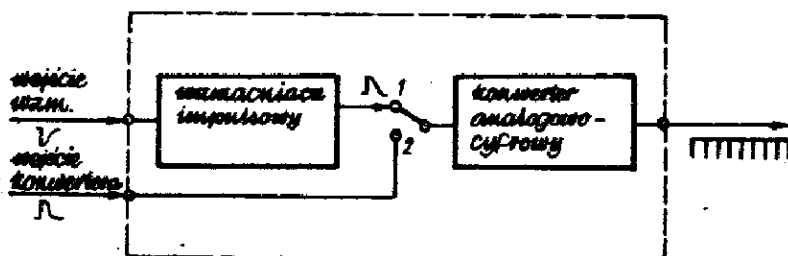
2. Technika analizatorów wielokanałowych

Zastosowanie w metodzie analizy amplitudowej analizatorów wielokanałowych, opracowanych do detekcji przebiegów przypadkowych głównie w fizyce jądrowej, stwarza nowe perspektywy w badaniach wyładowań niezupełnych. Rozkład empiryczny wyładowań można bowiem w tym przypadku otrzymać w niezwykle krótkim czasie, co jest szczególnie ważne w bada-

Dr inż. Barbara Florkowska, mgr inż. Ryszard Gacek, dr hab. inż. Romuald Włodek - Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Instytut Maszyn i Sterowania Układów Elektroenergetycznych.

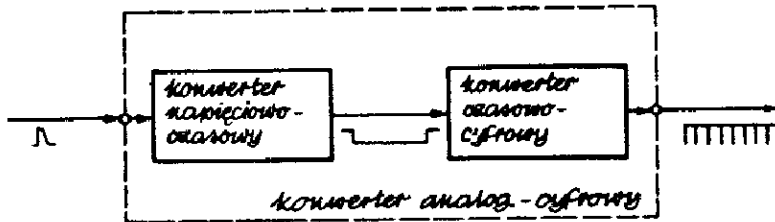
niach takich rodzajów wyładowań, które charakteryzują się dużą zmiennością w czasie. Krótki czas pomiaru oznacza możliwość analizowania grupy impulsów nawet w ciągu jednego okresu prądu przemiennego 50 Hz. Ze względu jednak na statystyczny charakter impulsów wyładowań, celowym jest prowadzenie pomiarów w ciągu kilkudziesięciu okresów sieci. Z tego powodu wybór czasu pomiaru równego 1s można uznać za uzasadniony kompromis między pobraniem "próbki" reprezentatywnej dla zjawiska, posiadającego charakter statystyczny, a możliwością badania jego dynamiki. Zaletę powyższą docenić można szczególnie przy badaniach samowygaszania wyładowań lub wyładowań niestabilnych, występujących w izolacji papiero-olejowej kabli i kondensatorów oraz w izolacji z tworzyw sztucznych [2, 3, 5].

W technice analizatorów wielokanałowych (MULTICHANNEL ANALYZER SYSTEM) impulsy analizowanej grupy są jednocześnie segregowane według wartości amplitud i zliczane w odpowiednich kanałach. W tym rodzaju pracy podzespół wejściowy analizatora - konwerter analogowo-cyfrowy (ANALOG-DIGITAL CONVERTER) zamienia analizowany impuls w grupę standardowych impulsów zegarowych o liczbie proporcjonalnej do jego amplitudy. Impulsy wejściowe mogą uprzednio zostać wzmacnione przez wzmacniacz impulsowy lub bezpośrednio wprowadzone do konwertera (rys. 1).



Rys. 1. Obwód wejściowy analizatora

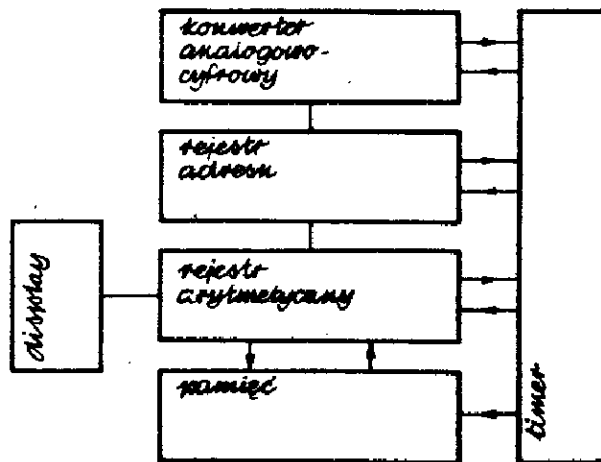
Przetwarzanie impulsów wejściowych na impulsy zegarowe odbywa się w dwóch podzespółach konwertera analogowo-cyfrowego jakim są: 1) podzespół zamieniający impuls analizowany na impuls standardowy, którego czas trwania jest proporcjonalny do amplitudy impulsu wejściowego (VOLTAGE-TIME CONVERTER) oraz 2) podzespół zamieniający impuls standardowy na grupę impulsów zegarowych (TIME-DIGITAL CONVERTER) (rys. 2),



Rys. 2. Podzespoły konwertera analogowo-cyfrowego

Grupa impulsów zegarowych wprowadzona zostaje do rejestru adresu (ADDRESS REGISTER), który zalicza pojedynczy impuls poprzez rejestr arytmetyczny (ARITHMETIC REGISTER) do tego kanału, który odpowiada amplitudzie analizowanego impulsu. Operacje powyższe wymagają określonego odstępu czasu, blokującego tym samym wejście dla następnych impulsów i nazywanego czasem martwym t_m . Czas ten składa się z dwóch składników: stałego t_0 i zmiennego t_1 , zależnego od liczby wykorzystywanych kanałów analizatora n : $t_m = t_0 + nt_1$. Występuje więc potrzeba kompromisu między uzyskaniem dużej zdolności rozdzielczej a liczbą wykorzystywanych kanałów, określających wierność odtworzenia zróżnicowania amplitudowego impulsów.

Rejestracja danych dokonuje się w pamięci analizatora, a odwzorowanie rozkładu empirycznego następuje na ekranie lampy oscyloskopowej (DISPLAY) lub rejestratorze X - Y względnie w sposób cyfrowy w postaci zapisu na taśmie drukarki lub magnetycznej. Oprócz tego wyniki pomiarów mogą być wyprowadzone na taśmie perforowanej dla dalszej obróbki na maszynie cyfrowej.



Rys. 3. Schemat blokowy analizatora wielokanałowego

Schemat blokowy wielokanałowego analizatora impulsów przedstawiono na rysunku 3.

Analizator wielokanałowy może współpracować z każdym z obwodów detekcyjnych, wytwarzających aperiodyczne lub oscylacyjne impulsy na impedancji detekcyjnej [3].

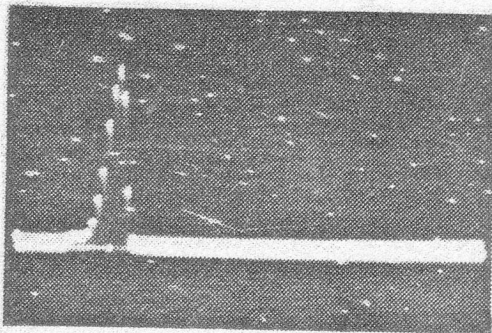
Analiza amplitudowa impulsów może być prowadzona w odstępach czasu odmierzanym przez zegar wewnętrzny (TIMER) lub aż do zliczenia liczby impulsów.

3. Rozkłady empiryczne wyładowań

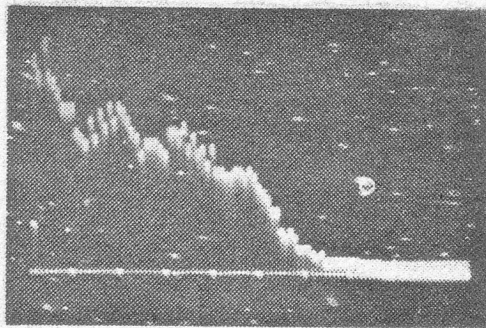
W artykule przedstawiono własne wyniki pomiarów wyładowań niezupełnych otrzymane przy pomocy analizatorów: 100 kanałowego typu AI-100-1 i 512 kanałowego typu NTA-512.

Zdjęcie rozkładów empirycznych otrzymanych na ekranie lampy oscyloskopowej przedstawiają:

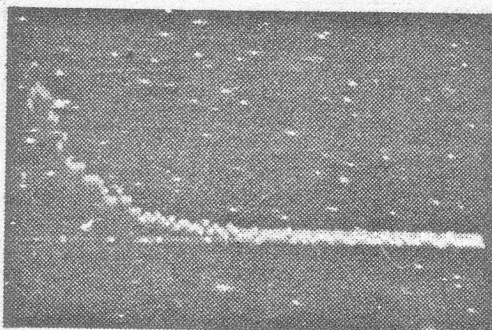
- 1) wyładowania ulotowe w powietrzu w układzie modelowym ostrze - płaszczyzna, przy napięciu 10 kV i odległości elektrod 20 mm (fot. 1),
- 2) wyładowania ślizgowe po powierzchni metapleksu o grubości 8 mm w układzie modelowym przy napięciu 15 kV (fot. 2),



Pot. 1. Wyładowania ulotowe



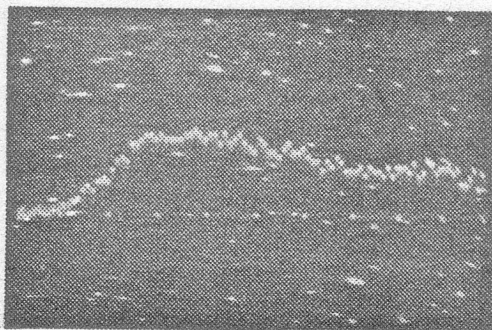
Pot. 2. Wyładowania ślizgowe



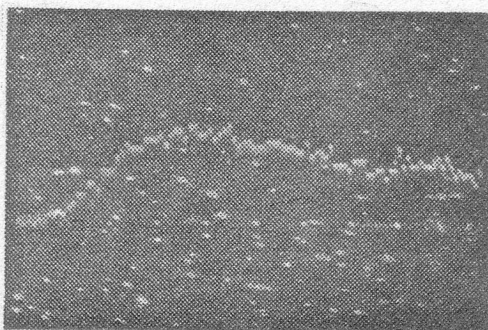
a)



b)



c)



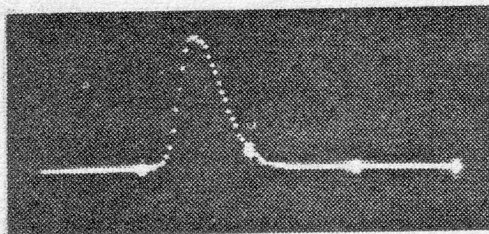
d)

Pot. 3. Wyładowania w przecie uzwojenia stojana generatora a) $U = 4$ kV, b) $U = 6$ kV, c) $U = 8$ kV, d) $U = 10$ kV

3) wyładowania w izolacji pręta uzwojenia stojana generatora wysokiego napięcia 35 MW przy napięciu:

- a) 4 kV - fot. 3a
- b) 6 kV - fot. 3b
- c) 8 kV - fot. 3c
- d) 10 kV - fot. 3d

4) wyładowania w izolacji papierowo-polipropylenowej kondensatora 0,3 μ F nasyconego trójchlorodwufenylem, przy napięciu $2 U_N$.



Fot. 4. Wyładowania w izolacji papierowo-polipropylenowej kondensatora

Na przedstawionych zdjęciach widoczne są różne postacie empirycznych rozkładów ładunków zależne od form wyładowań i rodzaju układu elektroizolacyjnego. Analizator wielokanałowy umożliwia szybką selekcję i wstępną identyfikację zjawiska wyładowań w obiekcie. Wyniki pomiarów nadają się do dalszego opracowania celem otrzymania informacji ilościowych o zakresie większym od klasycznych metod pomiaru ładunków pozornych wyładowań.

4. Zastosowanie ETO

Cyfrowe wyprowadzenie wyników pomiarów z analizatora wielokanałowego stwarza możliwość wykorzystania techniki obliczeniowej jako ogniwa w systemie planowania eksperymentów z zakresu wyładowań niezupełnych.

Jednym z głównych problemów poznawczych w tej dziedzinie jest poszukiwanie korelacji pomiędzy danymi charakteryzującymi intensywność wyładowań, a danymi charakteryzującymi skutki ich działania w materiałach i układach izolacyjnych. Podstawową formą uporządkowania wyników pomiarów w technice analizatorów wielokanałowych jest opracowanie rozkładu statystycznego mierzonych wielkości, którymi mogą być: ładunek pozorny,

napięcie początkowe, odstępy czasowe pomiędzy impulsami.

Graficzne przedstawienie takich rozkładów pozwala już często na identyfikację form wyładowań w układach izolacyjnych, a badanie zmian w funkcji na przykład napięcia, czasu lub temperatury na śledzenie wpływu tych czynników zarówno na intensywność jak i rodzaj wyładowań. W celu badania ilościowego odpowiednich korelacji trzeba znać postać funkcji opisujących rozkłady wielkości. Parametry opisowe takich rozkładów, to jest momenty kolejnych rzędów, współczynniki zmienności, asymetrii, spłaszczenia, wartości modalne i inne, zależnie od stopnia komplikacji przebiegu służą do poszukiwania korelacji z wymienionymi czynnikami zewnętrznymi. Znajomość analitycznej postaci funkcji opisujących rozkłady jest ponadto niezbędna w tych przypadkach, gdy na funkcjach tych zamierza się dokonywać określonych operacji matematycznych. Do operacji takich należy na przykład obliczanie rozkładów prawdopodobieństwa energii wyładowań [7]. Ze względu na dużą liczbę danych otrzymanych z procesu doświadczenia, ich sprawne i szybkie opracowanie jest znacznie ułatwione za pomocą ETO. Należy zwrócić przy tym uwagę, że obecnie możliwe jest bezpośrednie połączenie układu pomiarowego z elektronicznym systemem przetwarzania danych i otrzymywanie wyników w sposób bieżący, warto jednak rozważyć w każdym przypadku celowość wprowadzenia takiego układu w sposób kompletny. Badania wyładowań niezrównowoczonego bowiem polegają na identyfikacji bardzo złożonego układu, w zasadzie nie opisanego dotąd matematycznie w sposób wyczerpujący, a jedynie przy licznych założeniach upraszczających, podlegającego działaniu wielu czynników zewnętrznych. Zarówno przyczyny fizyczne jak i dynamika wpływu niektórych z tych czynników są jeszcze bliżej nieznanne. W tych warunkach proces badania wyładowań niezrównowoczonego w sensie poznawczym wymaga jak się wydaje dużego wkładu pracy myślowej i to zarówno na etapie stawiania hipotezy i planowania doświadczeń jak i podczas jego przebiegu. W tym drugim przypadku konieczny jest stały wgląd i ingerencja w przebieg doświadczenia z możliwością przeprowadzenia bieżącej korekty i adaptacji. W takiej metodzie pracy wydaje się do tych celów najlepszym system w którym

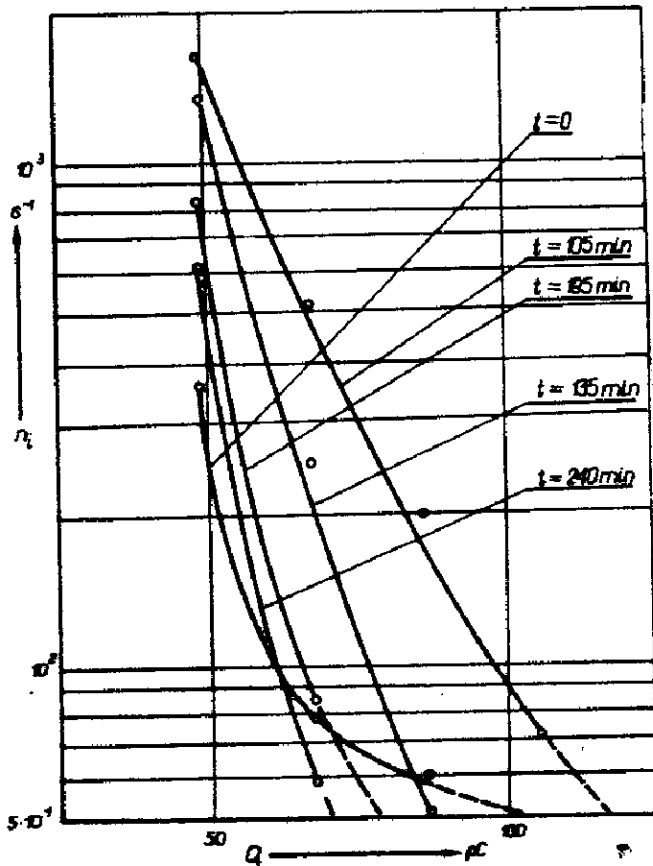
urządzenie elektronicznego przetwarzania danych służy jako narzędzie pracy nad wynikami, uprzednio poddanymi selekcji i nawet wstępnym przygotowaniom przez badającego. W systemie tym EFO spełnia duże usługi przyspieszając proces przygotowania wyników bądź to do etapu opracowania wniosków, bądź do podjęcia decyzji o potrzebie lub celowości odpowiedniej modyfikacji programu badań.

Elektroniczne przetwarzanie danych przy użyciu dostępnych w kraju typowych maszyn matematycznych wymaga ułożenia programów, których stopień komplikacji zależy od stawianego celu, na ogół jednak w typowych badaniach zajmujących się ogólnie znaną problematyką w tej dziedzinie nie jest duży. Do niektórych zadań można używać komputery o prostszym sposobie wprowadzania danych (np. Hewlett Packard), wyposażone w fabryczne programy.

Jako przykład podano w tabelicy I wyniki opracowania serii doświadczeń, których celem było zbadanie wpływu: przebiegu nagrzewania izolacji papierowo-olejowej kabli elektroenergetycznych na postaci rozkładów ładunków pozornych wyładowań. Ułożono programy w języku FORTRAN dla maszyny ODRA 1324, która wykonała weryfikację testem Kołmogorowa założonego typu rozkładu o postaci wykładniczej. Widoczna jest zmiana parametrów opisowych rozkładów wraz z upływem czasu. Poszukiwanie odpowiednich korelacji jest celem dalszych badań. Należy zwrócić uwagę w nawiązaniu do podanych wyżej uwag o metodzie pracy, iż założenie pewnych typów rozkładów nastąpiło dopiero w wyniku uprzednich doświadczeń przy użyciu prostszych metod opracowywania wyników.

Kable 3HAK 20 kV, 240 mm², wpływ nagrzewania na intensywność wyładowań. Pomiarzy przy napięciu 20 kV w czasie 2 godzin nagrzewania prądem 245 A w powietrzu oraz 2 godzin chłodzenia. Rozkłady ładunków wyładowań $\frac{N}{N} = f(Q_n)$ (rys. 4)

Czas [min]	$\frac{N}{N} = f(Q_n)$
0	2,65 , exp (-2,65 . Q)
105	2,15 . exp (-2,15 . Q)
135	4,65 . exp (-4,64 . Q)
195	10,7 . exp (-10,7 . Q)
240	11,66 . exp (-11,66 . Q)



Rys. 4
Rozkłady empiryczne ładunku
wyładowań

Literatura

1. G. Beer, A. Oberti, A. Bossi, G. Mirra: Experimental Contribution to the study of the Deterioration Produced by Partial Discharges on Oil Impregnated Paper Insulation CIGRE Rep. 15 - 02, 1970.
2. Dobroszewski R., Górczewski W.: Badanie stabilności wyładowań niezupełnych na modelu dielektryku stałego. Sympozjum "Wyładowania niezupełne jako czynnik destrukcji izolacji" AGH - PKME, Krościenko 1972, str. 81.
3. Florowska B., Gacek R., Wrodek R.: Półautomatyczny zestaw aparatury do badań wyładowań niezupełnych metodą analizy amplitudowej. Elektrotechnika, Biuletyn Informacyjny Instytutu Elektrotechniki, 1973, nr 4, s. 42.
4. Florowska B., Gacek R.: O stabilności wyładowań niezupełnych w izolacji papierowo-olejowej. Sympozjum "Wyładowania niezupełne jako czynnik destrukcji izolacji" AGH - PKME, Krościenko 1972, s. 155.
5. Lechowski Z., Tułodziecka E.: Samowygaszenie wyładowań niezupełnych w izolacji maszyn elektrycznych. Energetyka. Biuletyn Instytutu Energetyki nr 1/2, 1971
6. Matikainen K.: Some Observations Upon Distributions of Partial Discharge Pulses Measured with a Multichannel Analyser. CIGRE Rep. 21-06, 1968.
7. Wrodek R.: Analiza wyładowań niezupełnych i jej zastosowanie do ich interpretacji w technicznych układach elektroizolacyjnych. Sesyty Naukowe AGH. Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa i Hutnictwa, Z. 61, 1974.