

Romuald Włodek

METODY KORELACYJNE W BADANIACH WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH

1. Wstęp

W pracach nad mechanizmami wyładowań niezupełnych ujawnia się potrzeba rozwijania różnych metod badań wzajemnie się uzupełniających oraz metod mających wyraźne perspektywy praktyczne. Szczególna własność lokalnego charakteru wyładowań utrudnia wykrywanie ich w konkretnych urządzeniach oraz modelach zbliżonych do rzeczywistych zwłaszcza o dużej pojemności.

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania metod badań opartych na technice wyznaczania momentów korelacyjnych procesów stacjonarnych.

2. Podstawy teoretyczne

Badania warunków inicjacji i procesów zmian zespołu wielkości, które charakteryzują intensywność wyładowań niezupełnych, rozszerzają zakres zjawisk składających się na mechanizmy wyładowań.

Obecnie nie wystarcza już obejmowanie nimi procesów wyładowań w przestrzeniach gazowych wewnętrznych lub przyległych do dielektryku stałego lub ciekłego. Przez wyładowanie niezupełne trzeba rozumieć każdy proces naruszający równowagę energetyczną ładunków, a nie prowadzący bezpośrednio do powiększania liczby elektronów w paśmie przewodnictwa. Wyładowanie niezupełne może być jednym z etapów procesu przygotowawczego do

doc.hab. Romuald Włodek - Instytut Elektroenergetyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

wyładowania zupełnego. Kryterium przejścia do takiego procesu lub do zaniku wyładowań jest stale jednym z podstawowych problemów o znaczeniu zarówno poznawczym, jak i praktycznym. Takie rozszerzenie pojęcia wyładowań niezupełnych oraz skupienie uwagi na etapie ich inicjowania zwiększa wymagania odnośnie do zdolności wykrywania sygnałów wyładowań przez układy pomiarowe szczególnie w obecności szumów i zakłóceń, z którymi poziom tych sygnałów staje się porównywalny. Konieczne jest uzyskanie możliwości detekcji sygnałów mniejszych od około $10 \mu V$ przy wysokim stopniu pewności ich przyczyny. Ograniczeniem przy wykrywaniu i mierzeniu takich sygnałów przy napięciu przemiennym jest stosunek wartości sygnału do szumu. Problem polega mianowicie na wykrywaniu małych sygnałów /impulsów lub ich ciągów/ wytwarzanych w układzie detekcyjnym i występujących wraz z zakłóceniami, które mają postać ciągłych fluktuacji napięcia oraz zakłóceń o charakterze losowym. Jeśli uwzględni się, że naturalne szумы układu detekcyjnego oraz szумы i zakłócenia sieci elektroenergetycznej mogą być co najmniej rzędu $10 \mu V$, a bardzo często znacznie więcej, okazuje się, że zwykłe sposoby zwiększenia stosunku sygnał/szum, polegające głównie na zmniejszaniu szumu, są mało skuteczne, zwłaszcza gdy z innych powodów istotne jest wykrywanie szerokopasmowe.

Warunki detekcji można poprawić w stopniu jakościowo i ilościowo zasadniczym przez zastosowanie w badaniach wyładowań niezupełnych metod pomiarów korelacyjnych, znanych na przykład w telekomunikacji. Trzeba przyjąć uprzednio założenie, że zarówno zakłócenia i szумы, jak i mierzone sygnały od wyładowań niezupełnych są stacjonarnym ergodycznym procesem stochastycznym. Odnośnie do zakłóceń i szumów pochodzących z sieci i urządzeń pomiarowych jest to założenie zawsze słuszne. Odnośnie do sygnałów wyładowań niezupełnych zakres ważności tego założenia jest ograniczony do takich odstępów czasowych, w których proces wyładowań można uważać za niezmienny. Jak wynika z badań, z wyjątkiem niektórych układów /z dielektrykiem ciężłym/ i znacznych wartości natężenia pola w stosunku do pola inicjującego, można w większości układów i w okresach czasu rzędu do kilku minut przyjąć to założenie jako uzasadnione.

Na wyjściu układu detekcyjnego występuje zatem sygnał $A(t)$, który jest sumą sygnałów od wyładowań niezupełnych $W(t)$ i szumów $S(t)$:

$$X(t) = W(t) + S(t) \quad /1/$$

Wartość oczekiwaną m_X sygnału $X(t)$ można przy przyjętym założeniu o stacjonarności i ergodyczności obliczyć na podstawie uśredniania realizacji procesu w wystarczająco długim czasie T :

$$m_X = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt \quad /2/$$

Ze względu na technikę pomiarową próbkowania mierzonego sygnału dzieli się czas T na N odstępów Δt takich, w których wartość X w ciągu Δt można uważać za stałą :

$$T = N \cdot \Delta t \quad /3/$$

oraz wprowadza się dyskretne wartości czasu t :

$$t = n \cdot \Delta t \quad n = 1, 2, \dots, N \quad /4/$$

Wartość oczekiwana wyraża się zatem sumą, którą można otrzymać w integratorze :

$$m_X \approx \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X(n \cdot \Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N W(n \cdot \Delta t) + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S(n \cdot \Delta t) \quad /5/$$

Składnik drugi, pochodzący od szumów, zostanie w wyniku uśredniania wyeliminowany i otrzyma się wartość oczekiwaną sygnału wyładowań niezupełnych. Urządzenie pomiarowe działające na tej zasadzie umożliwia otrzymanie wartości oczekiwanej zbioru sygnałów w ciągu okresu napięcia oraz wartości oczekiwanych sygnałów w kolejnych małych odstępach czasowych w przebiegu sinusoidy napięcia. Możliwa jest więc lokalizacja wyładowań na tej sinusoidzie. Do tego celu zastosowano urządzenie BX-501, będące odmianą urządzenia typu BOXCAR SE-174, produkcji Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie. Oryginalna wersja służy do odbioru sygnałów w spektroskopii NMR, zaś odmiana BX-501 została przystosowana jako podwójny integrator do badań wyładowań niezupełnych. Urządzenie umożliwia próbkowanie w odstępach czasowych regulowanych od $1 \mu s$ do $5 ms$, w liczbie do 1000, oraz podwójne całkowanie i uśrednienie sygnału w wybranych odstępach czasowych.

Prowadzi się obecnie prace nad zastosowaniem urządzenia zwłaszcza do tych badań, które ze względu na szczególnie mały sygnał wyładowań

sprawiają innymi metodami trudności. Takim obiektem są na przykład kondensatory i ich modele.

Następnym sposobem określenia charakterystyk wyładowań niezupełnych może być wyznaczenie funkcji korelacji własnej procesu, która jest jego drugim momentem centralnym. Funkcja korelacji własnej /autokorelacja/ jest miarą zależności wartości sygnału w pewnej określonej chwili od jego wartości w innej poprzedzającej, opisuje zatem deterministyczny charakter procesu. W związku z przyjętym uprzednio założeniem o ergodyczności i stacjonarności procesu wyładowań niezupełnych funkcję korelacji własnej wyznacza się podczas jego realizacji w dostatecznie długim czasie T z następującego wzoru :

$$R_x(\tilde{t}) = \frac{1}{T - \tilde{t}} \int_0^{T - \tilde{t}} [X(t) - m_x] \cdot [X(t + \tilde{t}) - m_x] dt \quad /6/$$

Uwzględniając takie same zasady próbkowania i kwantyfikowania czasu, jak przy wyznaczaniu m_x otrzymuje się następującą postać funkcji korelacji własnej :

$$R_x(p \cdot \Delta t) = \frac{1}{N-p} \sum_{p=1}^{N-p} [X(n \cdot \Delta t) - m_x] \cdot [X(n \cdot \Delta t + p \cdot \Delta t) - m_x] \quad /7/$$

gdzie : $\tilde{t} = p \cdot \Delta t \quad p = 0, 1, 2, \dots, P$

Po podstawieniu wzorów /1/ i /5/ do /7/ i wykonaniu uśredniania pozostaną jedynie składniki pochodzące od funkcji opisującej wyładowania natomiast przyjmą wartość równą praktycznie zero pozostałe składniki pochodzące od funkcji opisujące szumy. W ten sposób funkcja korelacji ujawnia zdeterminowany charakter wyładowań występujących w określonych momentach czasu, natomiast eliminuje inne sygnały losowe zmienne. Do wyznaczania funkcji korelacji w układach automatyki, telekomunikacji i innych służą korelatory. W przypadku badań wyładowań niezupełnych urządzenie to powinno być włączone na wyjściu układu detekcyjnego /rys.1/

Skuteczność działania korelatora można ocenić za pomocą wartości stosunku sygnału mierzonego do szumu Y_{kor} , który na wyjściu tego urządzenia wynosi :

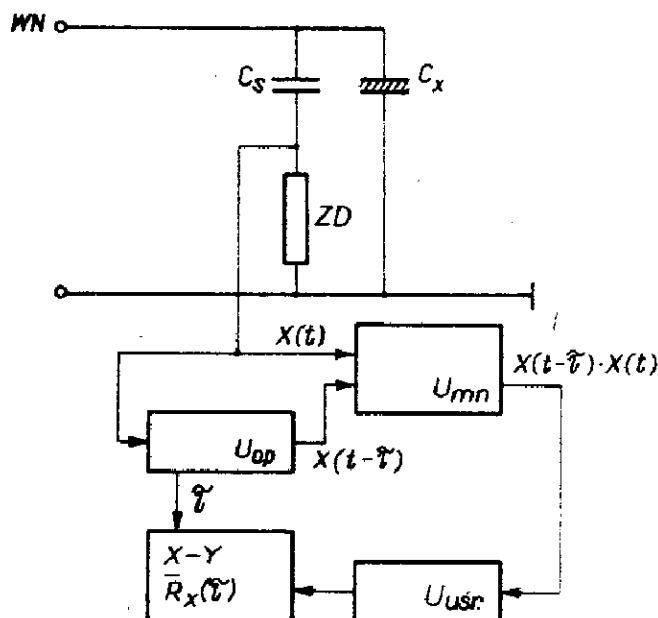
$$Y_{kor} = Y_{we} \cdot \sqrt{2B}$$

gdzie: Y_{we} - stosunek sygnału mierzonego do szumu na wejściu korelatora,

$$B = T_w \cdot \Delta f_w,$$

T_w - czas trwania sygnału mierzonego,

Δf_w - szerokość widma sygnału mierzonego.



Rys.1. Schemat układu do wyznaczania funkcji korelacji własnej.

C - kondensator sprzęgający, C_x - obiekt badany, ZD - impedancja detekcyjna, U_{mn} - układ mnożący, U_{op} - układ opóźniający,

$U_{uśr}$ - układ uśredniania, $X-Y$ - rejestrator $R_x(\tau)$

Jeśli przyjmie się, że czas trwania pojedynczego impulsu wyładowań wynosi w układzie detekcyjnym około $6 \mu s$, a szerokość widma, w której zawarte jest 90% jego energii, wynosi 1 MHz, wówczas otrzymuje się sygnał za korelatorem zwiększony 3,5 razy w stosunku do stanu na wejściu. Wystąpienie zaś grupy impulsów, wydłużające czas T_w zwiększa skuteczność w przybliżeniu w stosunku $\sqrt{T_w}$. Dla przykładu, jeśli wyładowania są skupione w zakresie od $0,9$ do $1,0 \cdot U_{m}$, wówczas korelator zwiększa sygnał wykrywany około 50 razy.

3. Zakończenie

Wskazany jest wprowadzanie do detekcji i pomiarów wykładów niezpełnych takich metod stosowanych w innych dziedzinach, których cel jest bardzo zbliżony dzięki podobnym opisom teoretycznym badanych procesów.

Literatura

1. Mańczak K. : Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1979.
2. Bendat J.S., Piersol A.G. : Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
3. Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie. Samodzielna Pracownia Echa Spinowego. Urządzenie typu BX-501 /BOXCAR SE-174/.