

Nowa metoda analizy obrazu statystycznego ulotu

Streszczenie. W artykule zaprezentowano, na przykładzie ulotu, propozycję nowej metody interpretacji wyników pomiaru wyładowań niezupełnych (wnz). Analizując zależności liniowe między współczynnikami statystycznymi opisującymi rozkłady fazowe i amplitudowe wnz, starano się pokazać różnice i podobieństwa w „obrazach statystycznych” wyładowań ulotowych, powierzchniowych i wewnętrznych. Artykuł jest informacją o początkowej fazie badań nad nowymi metodami interpretacji wyników uzyskiwanych klasycznymi metodami pomiarowymi. Zaprezentowane wyniki mają w większości charakter jakościowy. Autor zdecydował się na taki sposób prezentacji, w celu pokazania możliwie dużej ilości zależności w niewielkiej objętości artykułu. Pokazano wyniki analizy zależności liniowych między współczynnikami statystycznymi opisującymi rozkłady fazowe i amplitudowe ulotu oraz opracowane na tej podstawie zakresy zmian współczynników charakterystyczne dla ulotu.

Summary. This article presents a proposal for a new method of interpreting the results of measurement of partial discharges (PD). Analyzing the linear dependence between the coefficients that describe the statistical distributions of phase and amplitude of PD, author try to show the differences and similarities between the "statistic images" of corona discharges - surface and interior. The article is information about the start of research into new interpretation methods of the results obtained by conventional measurement methods. The author have chosen this method of presentation in order to show as much as possible quantitative relationships in small volume of the article. Author presents the results the analysis of the linear dependence between the statistical coefficients of the distributions phase and amplitude of the corona and presents also developed the ranges of changes in the coefficients of a linear equation, characteristic of the corona. **(New method of analysis of partial discharges)**

Słowa kluczowe: wysokie napięcie, wyładowania niezupełne, układ izolacyjny, statystyka.

Keywords: high voltage, partial discharges, insulation system, statistics.

doi:10.12915/pe.2014.03.21

Wstęp

Pomiar wyładowań niezupełnych (wnz) jest uznaną metodą diagnozowania stanu układów izolacyjnych. Bardzo często stan izolacji ocenia się tylko w oparciu o pomiar podstawowych parametrów wnz jak np.: maksymalny ładunek pozorny, napięcie początkowe i/lub gaśnięcia, rozkład impulsów w fazie sinusoidy napięcia probierczego. Niestety w wielu przypadkach są to dane niewystarczające do postawienia właściwej diagnozy. Na przykład przekroczenie uznanego w normach poziomu ładunku pozornego wcale nie musi być jednoznaczne z podjęciem decyzji o natychmiastowym przekazaniu np. transformatora do remontu, czy w przypadku transformatora nowego - o niedopuszczeniu go do eksploatacji. Właściwe decyzje można z większym prawdopodobieństwem podejmować dopiero w wyniku możliwie najbardziej wszechstronnego opisu wielkości związanych z wyładowaniami niezupełnym. W szczególności dotyczy to złożonych układów izolacyjnych. Prawidłową analizę umożliwia akwizycja dużej liczby danych poddanych obróbce statystycznej.

Natura zjawisk wnz jest wprawdzie „elektryczna”, ale nie zmienia to faktu, że wyładowaniom niezupełnym towarzyszy wiele innych zjawisk jak na przykład: chemiczne zmiany w izolacji, udarowe odkształcenia sprężyste ośrodka i wynikająca stąd generacja fal sprężystych emisji akustycznej (EA) oraz termoemisja i fotoemisja. Aby mierzyć efekty tych zjawisk stosuje się rozmaite metody pomiarowe i związane z nimi sposoby oceny wnz. W niniejszym artykule ograniczono się do prezentacji wyników uzyskiwanych metodą elektryczną pomiaru wnz. W wyniku zastosowania elektrycznych metod detekcji i pomiaru wnz uzyskuje się rozkłady mierzonych wielkości w postaci fazowej, amplitudowej i amplitudowo-fazowej. Są to: rozkłady fazowe maksymalnej wartości ładunku pozornego, średniej wartości ładunku pozornego, liczby wyładowań, sumy ładunków (także w funkcji czasu); rozkłady intensywności wyładowań w zależności od wartości ładunku pozornego oraz energii wnz; wielkości opisujące wnz w dziedzinie czasu, tj: poziom maksymalnej wartości ładunku pozornego, poziom średniej wartości ładunku pozornego, prąd wyładowań niezupełnych, wartość maksymalna energii wyładowań, wartość średnia energii wyładowań, moc wyładowań niezupełnych, wartość chwilowa napięcia zapiętu wyładowań, wartość chwilowa napięcia gaśnięcia

wyładowań, liczba impulsów wyładowań, wartość chwilowa wskaźnika D; rozkłady amplitudowe intensywności i energii wyładowań w funkcji czasu; rozkłady amplitudowo-fazowe intensywności wyładowań: 3D oraz tzw. „Color”. Pomiary takie umożliwia wykorzystywany przez autora detektor PDD T571 firmy Haefely, dzięki któremu wykonuje się pomiary wnz w zakresie częstotliwości napięcia pomiarowego 40 - 420 Hz, zakresie pomiarowym ładunku pozornego 0 do 999 nC i szerokości pasma pomiarowego w granicach 40 kHz do 400 kHz. W wyniku pomiarów uzyskuje się łącznie, wspomniane wcześniej, 23 rozkłady fazowe, amplitudowe i amplitudowo-fazowe oraz przebiegi czasowe opisujące badany rodzaj wnz. Tak szeroki opis wyładowań niezupełnych w badanym obiekcie pozwala czasami doświadczonemu diagnoście na określenie ich rodzaju i charakteru fizycznego. Sytuacja komplikuje się gdy przeprowadzający pomiary nie posiada wymaganego doświadczenia i nie dysponuje odpowiednią bazą danych zawierającą tzw. obrazy statystyczne wnz. Każda z wymienionych wcześniej wielkości zawiera bowiem tylko część informacji jakościowej i ilościowej o wnz. Do identyfikacji wnz występujących w badanym układzie izolacyjnym niezbędna jest jednoczesna analiza informacji zawartej w poszczególnych rozkładach. Próbę ułatwienia takiej analizy podjęto w niniejszym artykule. Prezentowane poniżej wyniki uzyskano przy pomocy detektora PDD TE571 i programu komputerowego TEAS z funkcją „classify” [5, 6, 7]. Analizę wykonano wykorzystując współczynniki statystyczne charakterystyczne dla rozkładów fazowych i amplitudowych wnz.

Współczynniki statystyczne opisujące rozkłady fazowe i amplitudowe wyładowań niezupełnych

Metody analizy statystycznej są jednym z wielu narzędzi analizy wyładowań niezupełnych, stosowanych do oceny i porównania wyników pomiarów wnz. W metodach tych analizie podlegają wybrane cechy zbiorów wszystkich zarejestrowanych impulsów. Porównuje się przede wszystkim rozkłady fazowe i statystyczne wybranych wielkości charakteryzujących wnz (patrz wstęp). W programie komputerowym TEAS firmy Haefely stworzonym w oparciu o koncepcję opracowaną na Uniwersytecie Delft [5] i służącym do analizy statystycznej wyników pomiarów wnz, oblicza się: miary kształtów rozkładów fazowych i

statystycznych, współczynniki korelacji i niesymetryczności rozkładów fazowych oraz liczbę maksimów w rozkładach fazowych. Miary kształtu charakteryzują współczynniki: skośności (*skewness*) i skupienia (*kurtosis*), przy czym ten drugi nazywany jest również w literaturze współczynnikiem spłaszczenia [5] lub *ekscysem* [4]. Współczynnik skośności czyli wskaźnik asymetrii rozkładu wokół średniej, zawiera informacje o możliwych różnicach pomiędzy dodatnimi i ujemnymi odchyleniami od wartości średniej. Autorzy programu TEAS wykorzystują do obliczania współczynnika skośności znaną zależność [6]:

$$(1) \quad A_3 = \frac{m_3}{s^3},$$

$$\text{gdzie: } m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n x_i^3 - 3\bar{x} \sum_{i=1}^n x_i^2 + 2n(\bar{x})^3 \right]$$

trzeci moment centralny,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{- odchylenie standardowe z próby.}$$

Współczynnik skupienia obliczany jest z zależności:

$$(2) \quad A_4 = K = \frac{m_4}{s^4},$$

gdzie:

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n x_i^4 - 4\bar{x} \sum_{i=1}^n x_i^3 + 6n(\bar{x})^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + 3n(\bar{x})^4 \right]$$

czwarty moment centralny.

Współczynnik ten wykorzystywany jest do określenia stopnia koncentracji wartości zmiennej wokół średniej.

Do badania siły i kierunku związku między zmiennymi w dodatniej (x) i ujemnej (y) połowce sinusoidy napięcia probierczego, w programie TEAS wykorzystywany jest współczynnik korelacji liniowej Pearsona:

$$(3) \quad r_{xy} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Współczynnik ten przyjmuje wartości z przedziału (-1; 1). Im jego wartość jest bliższa zeru tym związek między zmiennymi jest słabszy. Im bliżej 1 (lub -1), tym związek jest silniejszy. Wartość 1 oznacza idealny związek liniowy.

Współczynnik asymetrii rozkładów fazowych definiowany jest jako iloraz wartości średnich zmiennych występujących w ujemnej i dodatniej połowce sinusoidy napięcia probierczego.

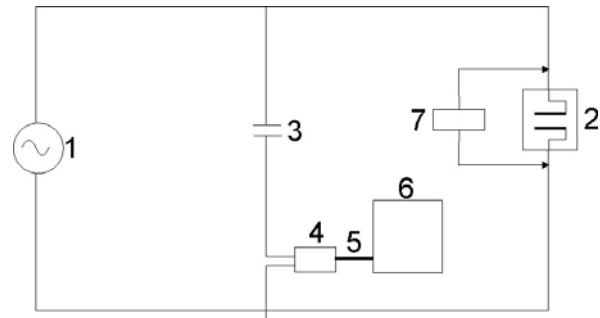
Wyznaczając wymienione współczynniki dla rozkładów fazowych i amplitudowych charakteryzujących poszczególne rodzaje wnz, można dla tych rodzajów wnz budować obrazy statystyczne jak na rysunku 2.

Niestety aby móc wykorzystać tak zbudowany obraz statystyczny do rozpoznania rodzaju wnz trzeba dysponować bardzo rozbudowaną bazą danych zawierającą obrazy statystyczne różnych wnz. Poniżej pokazano próbę możliwości rozróżniania wnz bez konieczności posiadania wspomnianej bazy danych.

Analiza wyników pomiaru wyładowań niepełnych w oparciu o współczynniki rozkładów fazowych i statystycznych

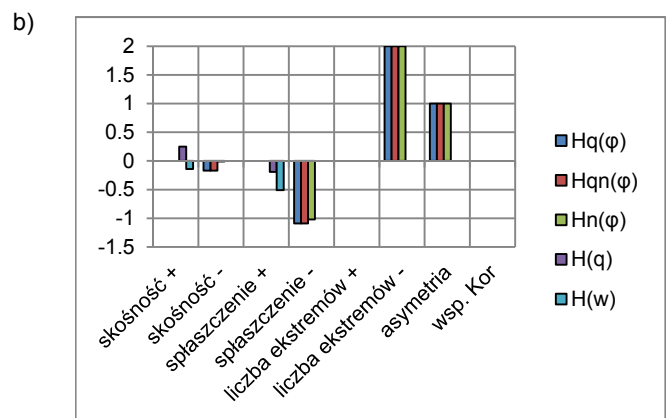
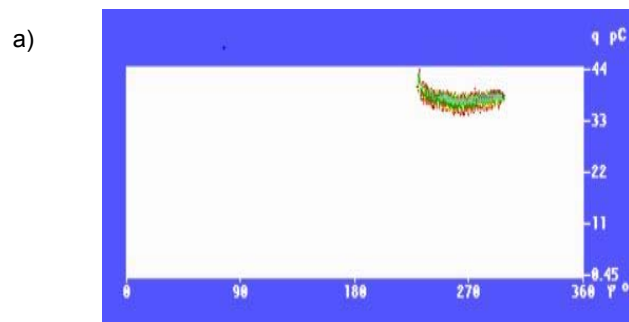
W literaturze można znaleźć wzmianki o zmienności i wartości opisanych wyżej współczynników, w zależności od

rodzaju (formy) wyładowania niepełnego. Niestety trudno jest znaleźć (nie tylko w literaturze polskiej) porównanie wartości tych współczynników dla poszczególnych rodzajów wyładowań. W niniejszym artykule podjęto próbę częściowego wypełnienia tej luki, porównując „obrazy statystyczne” różnych form wyładowań. Wszystkie niezbędne do analiz pomiaru wykonywano w ekranowanym pomieszczeniu (klatka Faradaya z autonomicznym uziemieniem i separacją od sieci zasilającej) przy użyciu specjalnie w tym celu przygotowanego układu probierczego (rys. 1).



Rys.1. Schemat układu pomiarowego

1 – źródło wysokiego napięcia (transformator probierczy), 2 – obiekt badań (próbki zanurzone w transformatorowym oleju mineralnym, wypełniającym uziemioną kadz lub dielektryczna komora do badań wnz w powietrzu), 3 – kondensator sprzęgający, 4 – czwórnik sprzęgający, 5 – przewód łączący (ekranowany), 6 – detektor TE 571, 7 – kalibrator



Rys. 2. Rozkład amplitudowo-fazowy intensywności ulotu a) oraz odpowiadający mu obraz statystyczny b)

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów dla wybranych, charakterystycznych dla podstawowych rodzajów wnz modeli (czcionką pogrubioną wyróżniono akronim modelu):

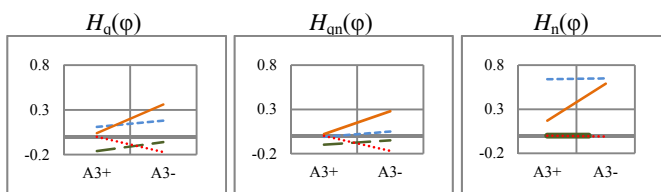
1. **PP1** – elektroda kołowa o średnicy 20 mm przyłożona na płask do powierzchni PE w powietrzu (czas pomiaru 2 min przy napięciu probierczym $U=15$ kV). Prawdopodobny pomiar wyładowań powierzchniowych w powietrzu.

2. **PO2** – elektroda kołowa o średnicy 30 mm przyłożona na płask do powierzchni płyty szklanej zanurzonej w oleju (czas pomiaru 2 min przy napięciu probierczym $U=15$ kV). Prawdopodobny pomiar wyładowań powierzchniowych (ślizgowych) na powierzchni dielektryka stałego w oleju.

3. **W1** – aluminiowa elektroda (folia o grubości 0,05 mm) przyłożona na dwie folie PE o grubości 0,1 mm każda, między którymi istniała szczelina (czas pomiaru 2 min przy napięciu probierczym $U=12$ kV). Prawdopodobny pomiar wyładowań wewnętrznych w rozległym defekcie (szczelinie).

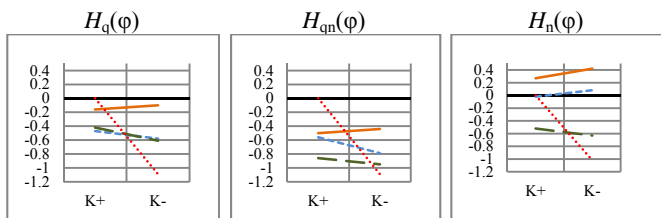
4. **U** – Elektroda ostrzowa (o średnicy ostrza 100 μ m) umieszczona w odległości 30 mm od uziemionej elektrody płaskiej (czas pomiaru 2 min przy napięciu probierczym $U=2,2$ kV). Pomiar ulotu.

W wyniku pomiarów dla każdego z wymienionych modeli uzyskano (przy pomocy programu TEAS): współczynniki skośności (A_3), skupienia (K), liczbę maksimów (max) w dodatniej i ujemnej półowce sinusoidy napięcia probierczego oraz współczynniki asymetrii (as) i korelacji (r_{xy}) dla rozkładów fazowych: ładunku pozornego $H_q(\varphi)$, ładunku odpowiadającego największej liczbie wyładowań $H_{qn}(\varphi)$ oraz liczby wyładowań $H_n(\varphi)$. Ponadto uzyskano współczynniki skośności oraz skupienia dla rozkładów statystycznych ładunku pozornego $H(q)$ i energii wzn $H(w)$. Do badania różnic i podobieństw dla poszczególnych form wyładowań użyto prostej zależności liniowej (4).

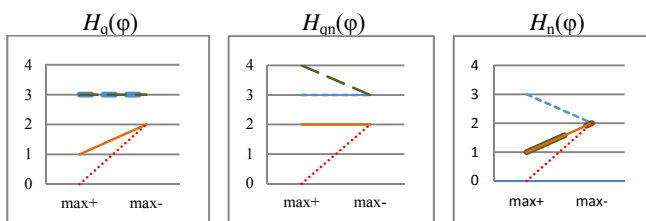


Rys. 3. Współczynniki skośności w dodatniej (A_{3+}) i ujemnej (A_{3-}) półowce sinusoidy napięcia probierczego dla rozkładów fazowych $H_q(\varphi)$, $H_{qn}(\varphi)$ i $H_n(\varphi)$ oraz dla różnych form wzn:

--- PP1, - - - PO2, — W1, U



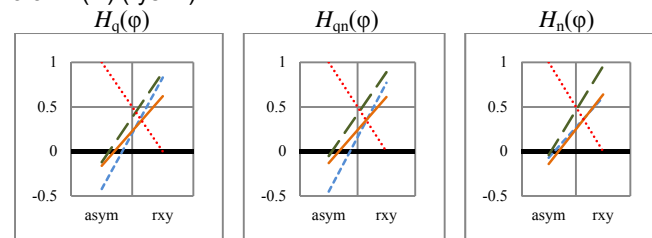
Rys. 4. Współczynnik skupienia w dodatniej ($K+$) i ujemnej ($K-$) półowce sinusoidy napięcia probierczego dla rozkładów fazowych $H_q(\varphi)$, $H_{qn}(\varphi)$ i $H_n(\varphi)$ oraz dla różnych form wzn. Kolory linii jak na rysunku 3



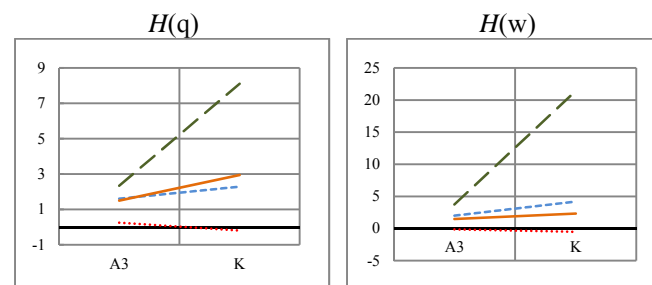
Rys. 5. Liczba maksimów w dodatniej ($max+$) i ujemnej ($max-$) półowce sinusoidy napięcia probierczego dla rozkładów fazowych $H_q(\varphi)$, $H_{qn}(\varphi)$ i $H_n(\varphi)$ oraz dla różnych form wzn. Kolory linii jak na rysunku 3

Po przetestowaniu wielu możliwości zdecydowano się na analizę zależności liniowych pomiędzy wybranymi współczynnikami opisującymi rozkłady fazowe $H_q(\varphi)$, $H_{qn}(\varphi)$ i $H_n(\varphi)$. Analizowano zależności pomiędzy: współczynnikiem skośności w dodatniej i ujemnej półowce napięcia

probierczego (rys. 3), współczynnikiem skupienia w dodatniej i ujemnej półowce napięcia probierczego (rys. 4), liczbą maksimów w dodatniej i ujemnej półowce napięcia probierczego (rys. 5), współczynnikami asymetrii i korelacji (rys. 6). Analizowano również zależność współczynników skośności i skupienia w rozkładach statystycznych $H(q)$ oraz $H(w)$ (rys. 7).



Rys. 6. Współczynniki asymetrii ($asym$) i korelacji (r_{xy}) dla rozkładów fazowych $H_q(\varphi)$, $H_{qn}(\varphi)$ i $H_n(\varphi)$ oraz dla różnych form wzn. Kolory linii jak na rysunku 3



Rys. 7. Współczynniki skośności (A_3) i skupienia (K) dla rozkładów statystycznych $H(q)$ i $H(w)$ oraz dla różnych form wzn. Kolory linii jak na rysunku 3

Do opisu zależności pomiędzy ww. współczynnikami zastosowano równanie prostej w postaci kierunkowej:

$$(4) \quad f = Bw + C,$$

gdzie: w - zmienna, B - współczynnik kierunkowy, C - współczynnik określający położenie prostej na wykresie,

Porównanie współczynników B i C dla różnych form wyładowań (tab. 1 do 6), pozwala zauważyć pewne prawidłowości. Współczynniki te są powtarzalne dla wyładowań tego samego rodzaju i wyraźnie się różnią dla wyładowań różnych rodzajów. Różnicę między funkcją (4) dla różnych form wyładowań bardzo wyraźnie widać na przykładzie ulotu w porównaniu z innymi rodzajami wyładowań (patrz rys. 3 do 7).

Tabela 1. Współczynniki B i C dla funkcji z rysunku 3

	PP1	PO2	W1	U
$H_q(\varphi)$ (rys. 3)				
Współczynnik B	0,07	0,1	0,32	-0,17
Współczynnik C	0,04	-0,26	-0,28	0,17
$H_{qn}(\varphi)$ (rys. 3)				
Współczynnik B	0,06	0,05	0,26	-0,17
Współczynnik C	-0,07	-0,15	-0,24	0,17
$H_n(\varphi)$ (rys. 3)				
Współczynnik B	0,01	0	0,42	-0,01
Współczynnik C	0,63	0	-0,25	0,01

Tabela 2. Współczynniki B i C dla funkcji z rysunku 4

	PP1	PO2	W1	U
$H_q(\varphi)$ (rys. 4)				
Współczynnik B	-0,11	-0,19	0,06	-1,09
Współczynnik C	-0,36	-0,23	-0,22	1,09
$H_{qn}(\varphi)$ (rys. 4)				
Współczynnik B	-0,23	-0,09	0,06	-1,09
Współczynnik C	-0,33	-0,77	-0,56	1,09
$H_n(\varphi)$ (rys. 4)				
Współczynnik B	0,1	-0,11	0,15	-1,02
Współczynnik C	-0,12	-0,41	0,12	1,02

Tabela 3. Współczynniki B i C dla funkcji z rysunku 5

	PP1	PO2	W1	U
$H_a(\varphi)$ (rys. 5)				
Współczynnik B	0	0	1	2
Współczynnik C	3	3	0	-2
$H_{gn}(\varphi)$ (rys. 5)				
Współczynnik B	0	-1	0	2
Współczynnik C	3	5	2	-2
$H_n(\varphi)$ (rys. 5)				
Współczynnik B	-1	1	1	2
Współczynnik C	4	0	0	-2

Tabela 4. Współczynniki B i C dla funkcji z rysunku 6.

	PP1	PO2	W1	U
$H_a(\varphi)$ (rys. 6)				
Współczynnik B	1,25	1,01	0,78	-1
Współczynnik C	-1,67	-1,13	-0,94	2
$H_{gn}(\varphi)$ (rys. 6)				
Współczynnik B	1,22	0,94	0,74	-1
Współczynnik C	-1,67	-0,99	-0,87	2
$H_n(\varphi)$ (rys. 6)				
Współczynnik B	0,68	1	0,78	-1
Współczynnik C	-0,75	-1,04	-0,92	2

Tabela 5. Współczynniki B i C dla funkcji z rysunku 7.

	PP1	PO2	W1	U
$H(q)$ (rys. 7)				
Współczynnik B	0,68	5,77	1,45	-0,44
Współczynnik C	0,93	-3,43	0,05	0,69
$H(w)$ (rys. 7)				
Współczynnik B	2,18	17,68	0,84	-0,37
Współczynnik C	-0,18	-13,94	0,64	0,23

Tabela 6. Wartość stosunku B/C dla różnych współczynników statystycznych, różnych rodzajów wnz dla rozkładu fazowego ładunku pozornego $H_a(\varphi)$

	PP1	PO2	W1	U
Współczynnik skośności (A_3)	1,75	-0,38	-1,14	-1
Współczynnik skupienia (K)	0,31	0,83	-0,27	-1
Liczba maksimum (max)	0	0	∞	-1
Współczynniki asymetrii (as) i korelacji (r_{xy})	-0,75	-0,89	-0,83	-0,5

Tabela 7. Wartość stosunku B/C dla różnych współczynników statystycznych, różnych rodzajów wnz dla rozkładu fazowego ładunku odpowiadającego największej liczbie wyładowań $H_{gn}(\varphi)$

	PP1	PO2	W1	U
Współczynnik skośności (A_3)	-0,86	-0,33	-1,08	-1
Współczynnik skupienia (K)	0,7	0,12	-0,11	-1
Liczba maksimum (max)	0	-0,2	0	-1
Współczynniki asymetrii (as) i korelacji (r_{xy})	-0,73	-0,95	-0,85	-0,5

Tabela 8. Wartość stosunku B/C dla różnych współczynników statystycznych, różnych rodzajów wnz dla rozkładu fazowego ładunku odpowiadającego największej liczbie wyładowań $H_{gn}(\varphi)$

	PP1	PO2	W1	U
Współczynnik skośności (A_3)	0,016	∞	-1,68	-1
Współczynnik skupienia (K)	-0,83	0,27	1,25	-1
Liczba maksimum (max)	-0,25	∞	∞	-1
Współczynniki asymetrii (as) i korelacji (r_{xy})	-0,91	-0,96	-0,85	-0,5

Tabela 9. Wartość stosunku B/C dla zależności między współczynnikami skośności (A_3) i skupienia (K) dla rozkładów statystycznych $H(q)$ i $H(w)$

	PP1	PO2	W1	U
$H(q)$	0,73	-1,68	29	-0,64
$H(w)$	-12,11	-1,27	1,31	-1,61

Bardzo interesujące wyniki daje analiza stosunku współczynnika B do współczynnika C dla różnych współczynników statystycznych, różnych rozkładów fazowych i amplitudowych oraz różnych rodzajów wyładowań (tab. 7 do 10). Łatwo zauważyć, że dla ulotu stosunek ten wynosi -1 dla współczynników skośności, skupienia i liczby maksimum niezależnie od analizowanego rozkładu fazowego. W przypadku badania zależności między współczynnikiem asymetrii i współczynnikiem korelacji wartość stosunku B/C jest równa -0,5 także

niezależnie od badanego rozkładu fazowego. Rezultaty takie otrzymuje się tylko dla ulotu co wyraźnie odróżnia obraz statystyczny tego rodzaju wnz od innych rodzajów. Dla pozostałych rodzajów wnz stosunek B/C nie jest tak powtarzalny ale wyraźnie inny dla różnych rodzajów wnz. Łatwo w tym przypadku zauważyć, że wartość ilorazu B/C jest bardzo zbliżona dla różnych rodzajów wnz w przypadku badania zależności między współczynnikiem asymetrii i współczynnikiem korelacji. Pozwala to wyciągnąć wniosek, że w celu wytypowania rodzaju wnz w trakcie pomiarów, badanie tej zależności można pominąć.

Interesujące jest także porównanie wartości ilorazu B/C dla rozkładów statystycznych (amplitudowych) ładunku pozornego i energii wnz. Łatwo jest zauważyć duże zróżnicowanie tych wartości dla różnych rodzajów wnz, co może jeszcze bardziej ułatwić identyfikację mierzonego wnz.

Podsumowanie

Można przypuszczać, że w przypadku gdy dalsze badania potwierdzą powtarzalność zauważonych przez autora zależności dla podobnych form wyładowań niezupełnych, to przedstawiony powyżej sposób analizy wyników pomiarów mógłby usprawnić i udoskonalić proces rozpoznawania form wyładowań niezupełnych. Miałyby to istotne znaczenie w codziennej analizie układów izolacyjnych przy pomocy pomiaru wnz metodą elektryczną.

Można w tym celu stworzyć wspomagający program komputerowy, w którym danymi wejściowymi będą współczynniki statystyczne opisujące rozkłady fazowe i amplitudowe wnz a wynikiem działania programu byłoby rozpoznanie prawdopodobnego rodzaju wyładowania.

Przedstawiona w artykule metoda analizy zależności liniowych między współczynnikami statystycznymi rozkładów fazowych i amplitudowych wnz może być jedną z możliwych metod charakterystyki stanu układu izolacyjnego poprzez pomiar wnz metodą elektryczną, a następnie statystyczne opracowanie wyników pomiarów. Stwierdzenie czy tak w rzeczywistości będzie, wymaga jednak jeszcze wielu badań i analiz. Zaprezentowane w artykule wyniki są wynikami wstępnymi i wymagają potwierdzenia. Autor zamierza to uczynić poprzez pomiary na większej ilości modeli różnych źródeł wnz oraz na rzeczywistych układach izolacyjnych.

LITERATURA

- [1]. Florkowska B.: *Wyładowania niezupełne w układach izolacyjnych wysokiego napięcia - analiza mechanizmów, form i obrazów*. IPPT PAN, Warszawa 1997.
- [2]. Gulski E.: *Diagnostowanie wnz w urządzeniach wn w eksploatacji*. Prace Naukowe Pol. Warszawskiej, 2003, z. 128.
- [3]. Skubis J.: *Stan opracowania metody EA w WSI Opole i kierunku jej rozwoju*. ZN WSI Opole nr 184, Elektryka z.36, 1992, 5-30.
- [4]. Florkowska B., Florkowski M., Włodek R., Zydroń P.: *Mechanizmy, pomiary i analiza wyładowań niezupełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia*. Polska Akademia Nauk IPPT. Warszawa 2001 r.
- [5]. TEAS *Instrukcja obsługi*. Haefely-Trench, Switzerland.
- [6]. Wodziński J.: *Wysokonapięciowa technika prób i pomiarów*. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa 1997 r.
- [7]. Gacek Z., Szadkowski M., Witos F.: *Idea zespolonej metody diagnostowania transformatorów energetycznych wysokiego napięcia opartej na pomiarach wnz*. ZN Politechniki Śląskiej Elektryka, Gliwice 2010.
- [8]. Gacek Z., Szadkowski M., Malitowski G., Witos F., Olszewska A.: *Anusual Application of Partial Discharges to Diagnose of High Voltage Power Transformers*, Acta Physica Polonica A, vol. 120 no. 4, (2011) s. 609-615.
- [9]. Szadkowski M., Maźniewski K.: *Metoda analizy obrazów statystycznych różnych form wyładowań niezupełnych*. Energetyka 2012 nr 10, s. 606-612

Autor: dr inż. Marek Szadkowski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: Marek.szadkowski@polsl.pl