



Franciszek WITOS¹, Zbigniew GACEK²

Politechnika Śląska, Instytut Fizyki (1), Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów (2)

Możliwości lokalizacji źródeł wyładowań niezupełnych poprzez analizę własności rozkładów amplitudowych sygnałów emisji akustycznej

Streszczenie. W pracy przeanalizowano własności rozkładów amplitudowych impulsów emisji akustycznej wygenerowanych przez zamodelowane źródła wyładowań niezupełnych rejestrowanych w różnych odległościach od źródła. Znaleziono związki pomiędzy wartościami deskryptorów emisji akustycznej o akronimach ADP, ADC i ADNC a długością drogi propagacji sygnału emisji akustycznej. Korelacje te stanowią podstawę zaproponowanej metody lokalizacji źródeł wyładowań niezupełnych.

Abstract. (Possibilities relevant to location of partial discharges sources basing on analysis of acoustic emission amplitude distributions properties). Properties of acoustic emission amplitude distributions relevant to impulses generated by modeled partial discharges sources and registered in different distances towards a source, are analyzed. Dependencies between AE descriptors and length of propagation path have been found. Such correlations are treated as a base for proposed methods of partial discharges sources location.

Słowa kluczowe: emisja akustyczna, wyładowania niezupełne, rozkłady amplitudowe, lokalizacja.

Keywords: acoustic emission, partial discharges, amplitude distributions, localisation.

Wprowadzenie

Metody elektryczne stosowane do oceny wyładowań niezupełnych w rzeczywistych układach izolacyjnych nie pozwalają bez ograniczeń na ich poprawną lokalizację. Te ograniczenia skłaniają do poszukiwań innych, uzupełniających metod pomiarowych, które umożliwią lokalizację WNZ. Jedną z takich metod jest emisja akustyczna. Istnieją dwie grupy metod lokalizacji źródeł EA, które opierają się odpowiednio na analizie: czasów dojścia sygnałów EA [1,2] oraz amplitud sygnałów EA [3]. Omówienie metod lokalizacji źródeł WNZ metodami EA znajduje się w pracy [4].

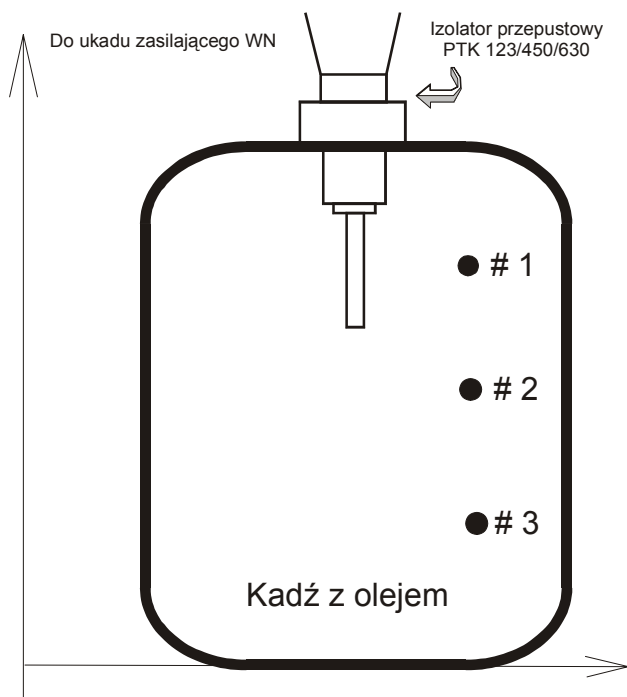
Układ pomiarowo-badawczy i stanowisko pomiarowe

Badania prowadzono w Laboratorium Wysokich Napięć ZTS IZO-ERG na stanowisku pomiarowym, którego integralnym elementem była kadź wypełniona olejem. W kadzi umieszczono przepust kondensatorowy PTK 123/450/630, którego zakończenie można było modyfikować uzyskując różne jego postacie: typowe zakończenie, zakończenie z dołączonym ostrzem, zakończenie z dołączonym gwintem. Zamodelowane zakończenia przepustu symulowały źródła WNZ.

Celem badań była rejestracja i analiza sygnałów EA pochodzących od zamodelowanych źródeł WNZ oraz porównanie wyników uzyskanych metodami EA i elektryczną. W przeprowadzonych badaniach stosowano układ pomiarowo-badawczy emisji akustycznej DEMA-COMP oraz miernik ERA firmy F.C.Robinson. Parametry oraz możliwości pomiarowo-badawcze układu DEMA-COMP są przedstawione w pracach [5, 6]

Część badań przeprowadzono tak, aby przeanalizować możliwości lokalizacji źródeł WNZ metodą EA. Badania te przeprowadzono w następujący sposób:

1. Wykorzystanie torów pomiarowych: tor pomiarowy K0 – monitorowanie napięcia odniesienia, tory pomiarowe K1, K2, K3 - czujniki EA typu R6 (odpowiednio #1, #2, #3), firmy Physical Acoustic Corporation, przedwzmacniacze i wzmacnienie w każdym torze pomiarowym DEMA wynoszące 40dB.



Rys.1. Stanowisko pomiarowe do badań WNZ. Elementy stanowiska: kadź wypełniona olejem, izolator przepustowy, zasilanie, układ pomiarowo-badawczy EA DEMA-COMP, układ pomiarowy ERA; #1,#2,#3 – punkty pomiarowe zamontowania czujników EA odpowiednio R6#1, R6#2, R6#3.

2. Zamodelowano zakończenie przepustu PTK 123/450/630 stosując zakończenie z dołączonym gwintem o szerokości gwintu 4,5 cm.

3. Czujniki EA umieszczono w wybranych punktach pomiarowych w konfiguracji A pokazanej na rysunku 1; odległość pomiędzy sąsiednimi czujnikami wynosiła 30 cm; zakończenie przepustu znajdowało się na wysokości czujnika #1.

4. Przepust zasilano napięciem 123 kV i rejestrowano dwusekundowe fragmenty impulsów EA.

5. Zmieniono położenie czujników EA #2 i #3 w taki sposób, że czujniki zamieniono miejscami i rozsunęto w poziomie odpowiednio o 30 cm i 60 cm – w ten sposób uzyskano konfigurację B czujników EA.

6. Przepust zasilano napięciem 123 kV i rejestrowano dwusekundowe fragmenty impulsów EA.

Odległości od zamodelowanego źródła WNZ do poszczególnych czujników EA, dla poszczególnych konfiguracji, podano w tabeli 1.

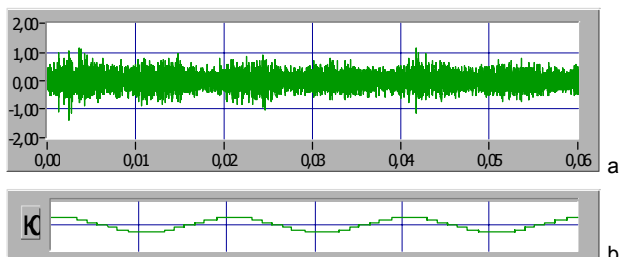
Tabela 1. Odległości od zamodelowanego źródła WNZ do czujników EA

Czujnik EA	Konfiguracja A d [cm]	Konfiguracja B d [cm]
R6#1	45	45
R6#2	54	75
R6#3	75	54

Wyniki pomiarowe i ich obróbka

Przykładowy fragment zarejestrowanego impulsu EA o długości 60 milisekund (trzy okresy napięcia zasilającego) zarejestrowany w jednym z torów pomiarowych jest przedstawiony na rysunku 2. Widoczny jest losowy i periodyczny charakter impulsów EA. Przy tak wybranej skali dla czasu, zarejestrowany impuls przedstawia sygnał EA typu ciągłego. W pozostałych torach pomiarowych zarejestrowane impulsy mają podobny charakter.

We wszystkich rejestrowanych sytuacjach pomiarowych zmierzona wartość ładunku elektrycznego pozornego wynosiła 500 pC.



Rys.2. Fragment impulsu EA zarejestrowanego w torze pomiarowym K3 (konfiguracja A) o długości 60 ms - rysunek a oraz napięcie odniesienia - rysunek b

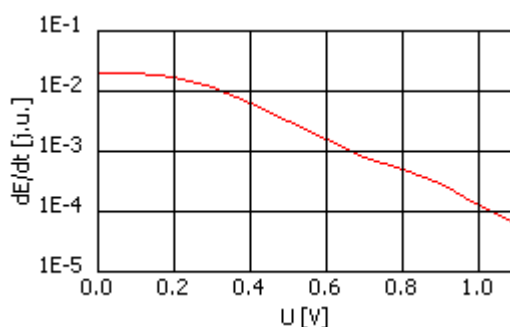
Dla takich danych pomiarowych poszukiwanie pojedynczych impulsów EA jest utrudnione, dlatego autorzy proponują wykonanie lokalizacji źródeł WNZ bazując na właściwościach rozkładów amplitudowych zarejestrowanych impulsów EA. W tym celu dla każdego z zarejestrowanych impulsów EA obliczano rozkłady amplitudowe jako funkcje wartości progu dyskryminacji [5-7]:

- rozkład amplitudowy mocy sygnału EA – dE/dt ,
- rozkład amplitudowy tempa zliczeń EA – dN/dt ,
- rozkład amplitudowy znormalizowanego tempa zliczeń EA – $d(dN^*/dt)/dU$.

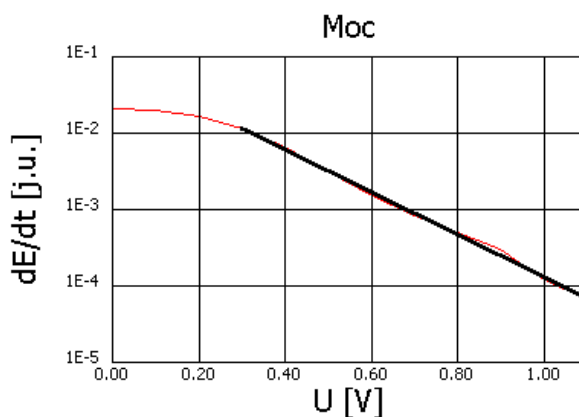
Znormalizowane tempo zliczeń EA obliczano jako iloraz czasu w ciągu którego zarejestrowany impuls EA ma wartość większą od zadanej wartości progu dyskryminacji i całkowitego czasu pomiaru. Dzięki takiemu zdefiniowaniu można bezpośrednio porównywać aktywność EA w różnych zjawiskach EA.

Rozkłady amplitudowe sporządzane są w skali logarymicznej, gdyż w takiej sytuacji liniowe fragmenty

wykresów wyznaczają pojedyncze procesy deformacyjne. W przypadku działania pojedynczego zamodelowanego zlokalizowanego źródła WNZ wykresy rozkładów amplitudowych mają postać przedstawioną na rysunku 3a. Zakres liniowego fragmentu na rozkładzie amplitudowym jest wyznaczony poprzez przedział wartości progu dyskryminacji [U_{T-} , U_{T+}]. Wartość U_{T-} jest określona poprzez minimum na wykresie pochodnej rozkładu amplitudowego (rysunek 3b), zaś wartość U_{T+} - jako 90% wartości maksymalnej progu dyskryminacji, dla której rejestrowany jest sygnał EA. Taka aproksymacja wykonana dla rozkładu z rysunku 3a jest przedstawiona na rysunku 4; współczynnik kierunkowy dla prostej aproksymującej $a = -2,8$, zaś współczynnik korelacji $r = 0,99$. Wartość bezwzględna współczynnika kierunkowego jest wartością deskryptora EA o akronimie ADP (Amplitude Distribution of AE Power [7]). Mniejszym wartościom deskryptora odpowiadają bardziej zaawansowane procesy deformacyjne.



Rys.3. Rozkład amplitudowy mocy sygnału EA dla impulsu z rysunku 2 oraz jego pochodna

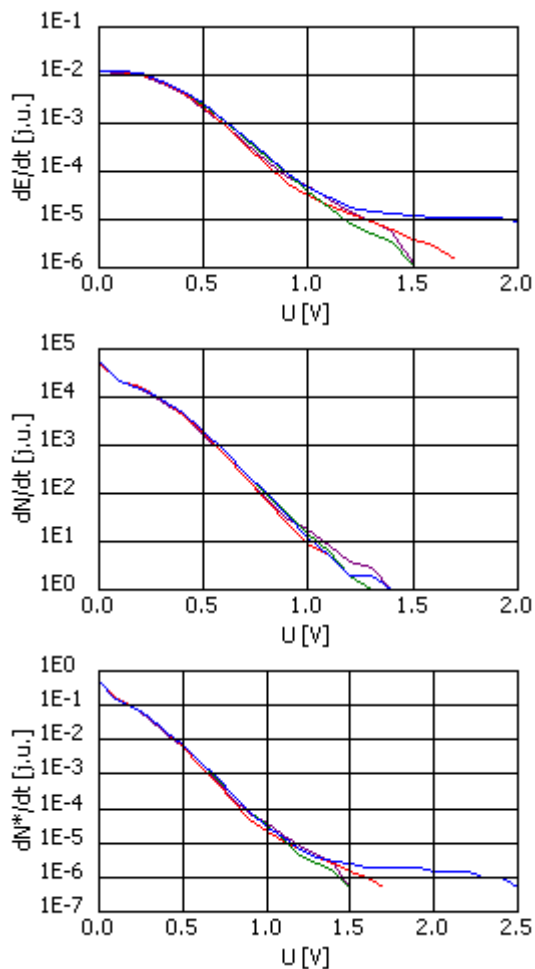


Rys.4. Rozkład amplitudowy mocy sygnału EA dla impulsu z rysunku 2 wraz z zaznaczonym odcinkiem będącym aproksymacją liniową fragmentu rozkładu. Wartość deskryptora ADP uzyskana w wyniku aproksymacji wynosi 2,8 (współczynnik korelacji $r = 0,99$)

Analiza uzyskanych wyników

Dla zarejestrowanych impulsów EA sporządzono rozkłady amplitudowe oraz obliczono deskryptory EA o akronimach: ADP, ADC, ADNC.

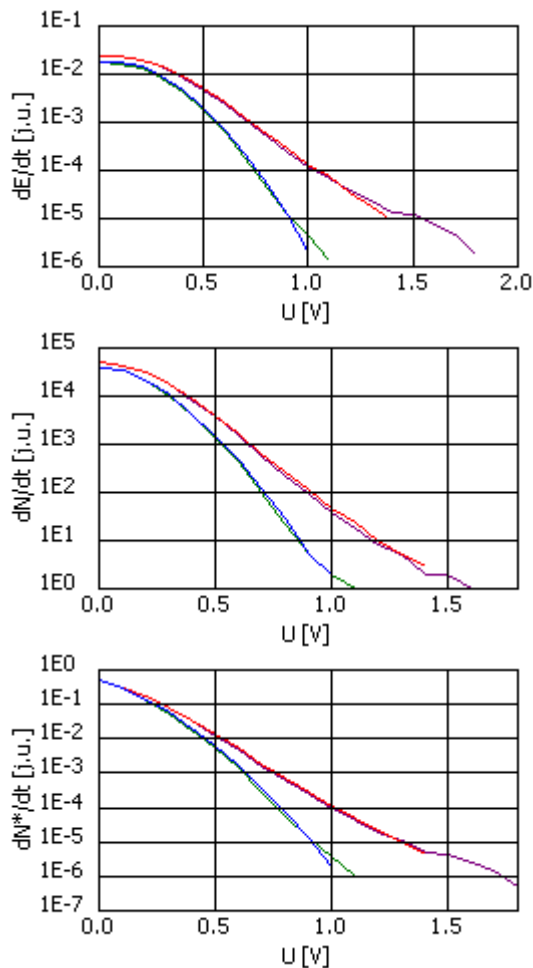
Zestawienie rozkładów amplitudowych obliczonych dla torów pomiarowych K1 i K2 jest przedstawione na rysunkach 5 i 6. Takie zestawienie jest interesujące ze względu na to, że w przypadku toru pomiarowego K1 położenie czujnika EA R6#1 (w obu konfiguracjach) było takie same, zaś położenia czujnika EA R6#2 (w obu konfiguracjach) były różne. Dla toru pomiarowego K1 wszystkie rozkłady amplitudowe impulsów EA stanowią jedną grupę na każdym z wykresów. Dla toru pomiarowego K2 rozkłady amplitudowe impulsów EA na każdym z wykresów dzielą się na dwie grupy, przy czym do danej grupy należą impulsy zarejestrowane w trakcie pomiarów zrealizowanych dla jednej konfiguracji czujników EA. Rozkłady amplitudowe obliczone dla toru pomiarowego K3 mają cechy podobne do tych, jakie wykazują rozkłady obliczone dla toru pomiarowego K2. Z tego zestawienia wynika, że stosowana metoda badawcza rozróżnia impulsy EA propagujące się po drogach o różnej długości.



Rys.5. Rozkłady amplitudowe impulsów EA zarejestrowanych w torze pomiarowym K1 dla konfiguracji A i B

W tabeli 2 podane są wartości średnie deskryptorów EA oraz wartości współczynnika korelacji najgorzej dopasowanej prostej aproksymującej rozkłady amplitudowe obliczone dla impulsów EA zarejestrowanych w trakcie pomiarów przeprowadzonych dla jednej konfiguracji czujników EA. Widoczne jest dobre dopasowanie prostych aproksymujących i fragmentów rozkładów amplitudowych.

Analiza wartości dowolnego z deskryptorów EA zestawiona z odległościami jakie przebył zarejestrowany sygnał EA (przyjmowane jest założenie, że sygnał EA jest wygenerowany w zamodelowanym źródle WNZ) pokazuje istnienie zależności: dłuższa droga propagacji sygnału EA powoduje zwiększenie wartości obliczonego deskryptora.

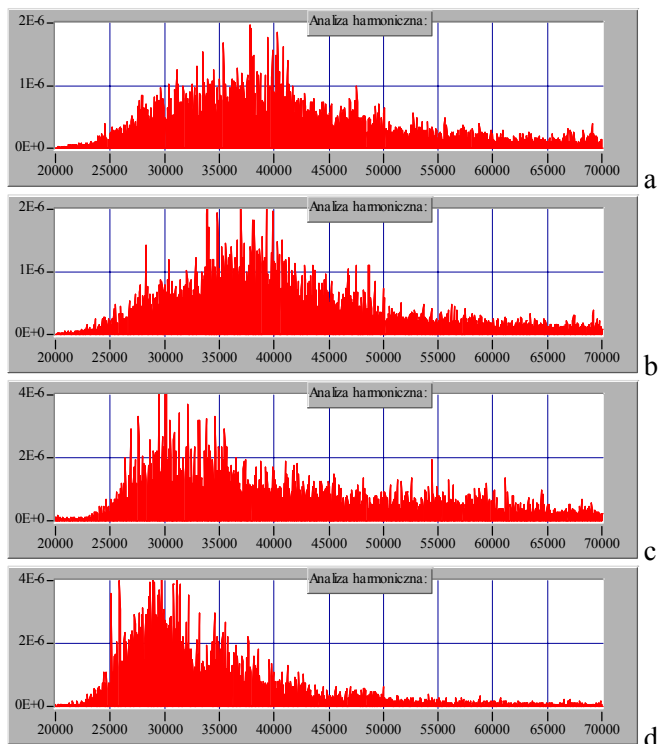


Rys. 6. Rozkłady amplitudowe impulsów EA zarejestrowanych w torze pomiarowym K2 dla konfiguracji A i B

Tabela 2. Obliczone wartości deskryptorów EA wraz ze współczynnikami korelacji dla prostych aproksymujących rozkłady

czujnik/ konfig.	źródło- czujnik d [cm]	ADP [j.u.]	r_{ADP}	ADC [j.u.]	r_{ADC}	ADNC [j.u.]	r_{ADNC}
R6#1/A	45	2,83	0,99	3,30	0,98	3,81	0,99
R6#1/B	45	2,92	0,98	3,56	0,99	3,98	0,99
R6#2/A	54	2,79	0,99	3,32	0,99	3,69	0,99
R6#2/B	75	5,06	0,99	5,37	0,99	5,73	0,99
R6#3/A	75	4,09	0,99	4,62	0,97	5,29	0,98
R6#3/B	54	1,89	1,00	2,38	0,99	2,80	1,00

Istnienie takiej zależności umożliwia lokalizację źródła WNZ podobną do metody triangulacji, z tym że czasy dojścia należy zastąpić wartościami deskryptora EA obliczonego na podstawie rozkładu amplitudowego zarejestrowanych w danym punkcie pomiarowym impulsów EA. Ilościowe wartości powinny być ustalane indywidualnie dla każdego czujnika EA (toru pomiarowego).



Rys.7. Widma gęstości energii dla impulsów EA zarejestrowanych w następujących sytuacjach pomiarowych: a – tor pomiarowy #1, konfiguracja A, b - #1, B, c - #2, A, d - #2, B

Rozkład amplitudowy i obliczony na jego podstawie deskryptor EA opisują sygnał zarejestrowany w danym punkcie pomiarowym. W analizowanych przypadkach w zarejestrowanym sygnale zawarte są informacje o źródle WNZ oraz o zmianie sygnału na drodze propagacji. Ponieważ z założenia mamy do czynienia z jednym źródłem sygnału EA, zatem analizujemy w praktyce jeden proces deformacyjny. Zmiany własności rozkładów amplitudowych oraz zmiany wartości deskryptorów EA opisują udział ośrodka – oleju, w którym rozchodzi się sygnał EA. Należy się spodziewać istnienia tłumienia fal EA zależnego od częstotliwości sygnału EA [8]. Różne tłumienie fal EA posiadających różne częstotliwości jest odpowiedzialne za zmiany własności rozkładów amplitudowych. Na rysunku 7 pokazane są charakterystyki częstotliwościowe (widma gęstości energii [9]) sygnałów EA zarejestrowanych czujnikami EA R6#1 i R6#2 dla różnych konfiguracji:

- niezmiennione położenie czujnika R6#1, powodujące rejestrację sygnałów EA propagujących się wzdłuż identycznej drogi dla obu konfiguracji, jest widoczne jako występowanie niezmiennionego pasma przenoszenia na rysunkach 7a i 7b,
- zmiana położenia czujnika R6#2, powodująca rejestrację sygnałów EA propagujących się wzdłuż drogi o różnej długości, daje zmieniające się pasmo częstotliwości dla zarejestrowanego sygnału EA (rysunki 7c i 7d); sygnał EA

pokonujący dłuższą drogę zawiera mniej składowych harmonicznych w zakresie wyższych częstotliwościach.

Widma przedstawione na rysunkach 7 dotyczą całych torów pomiarowych i zawierają charakterystyki częstotliwościowe wszystkich elementów i oddziaływań tworzących końcową postać zarejestrowanych sygnałów EA. Zagadnienie tłumienia fal EA generowanych przez źródła WNZ propagujących się w oleju będzie przedmiotem odrębnych badań.

Podsumowanie i wnioski

Praca opiera się na analizie własności rozkładów amplitudowych sygnałów EA zarejestrowanych w różnych odległościach od generującego go źródła WNZ.

Rozkłady amplitudowe stanowią podstawę do obliczania deskryptorów EA o akronimach ADP, ADC i ADNC. Dla każdego toru pomiarowego, obliczone deskryptory EA przyjmują wartości, które nie zależą od krotności instalowania czujnika EA.

W analizowanych w pracy sytuacjach pomiarowych, kiedy zamodelowane źródło WNZ generuje sygnały EA i sygnały te są detektowane przez czujniki EA umieszczone w różnych odległościach od źródła, zmiany wartości deskryptora EA dla sygnałów EA rejestrowanych w ramach jednego toru pomiarowego opisują wpływ długości drogi propagacji na wartość deskryptora EA. Znalaziona korelacja: sygnałowi EA generowanemu przez zamodelowane źródło WNZ propagującemu się na większą odległość odpowiada deskryptor EA o większej wartości, stanowi bazę do lokalizacji źródła WNZ. Taka lokalizacja wymaga wyskalowania dla każdego toru pomiarowego związku wartość deskryptora – długość drogi propagacji sygnału EA a następnie zastosowania triangulacji .

Praca została wykonana w ramach grantu KBN 4 T10C 035 22 „Badania WNZ w układach izolacyjnych kalibrowaną metodą EA”

LITERATURA

- [1] Grabec I., Sachse B., Automatic modeling of physical phenomena: application to to ultrasonics data, *Journal of Applied Physics*, 69 (1991), 6233-6244
- [2] Grabec I., Kosel T., Muzic P., Location of continuous AE sources by sensory neural networks, *Ultrasonics*, 36(1998), 525-530
- [3] Grabec I.; Application of correlation techniques for localization of AE sources; *Ultrasonics*, 16(1978), 111-115
- [4] Skubis J., Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych, *IPPT PAN*, Warszawa 1993
- [5] Witos F., Gacek Z., Siwy E., Kaźmierczak H., Analiza sygnałów EA generowanych przez zamodelowane źródła WNZ, *EUI 2001*, (ISBN 83-908210-2-8), 459-465
- [6] Witos F., Gacek Z., Opiłski A., The new AE descriptors for modelled sources of partial discharges, *Archives of Acoustics*, 27(2002), 65-77
- [7] Witos F., Gacek Z., Evaluation of PD within stator windings of generator on the ground of AE method, *INSUCON 2002*, 320-325
- [8] Płowiec R., Lepkość i sprężystość cieczy określana za pomocą ultradźwiękowych fal ścinania, *Państwowe Wydawnictwo Naukowe*, Warszawa 1990, (ISBN 83-01-09426-5)
- [9] Boczar T., Widma EA generowanej przez WNZ w izolacji olejowej, *Politechnika Opolska*, 2000, (ISBN 1429-6063)

Autorzy: dr inż. Franciszek Witos, Politechnika Śląska, Instytut Fizyki, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, fwitos@wp.pl, prof. dr hab. inż. Zbigniew Gacek, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, gacekz@zeus.polsl.gliwice.pl