

Tomasz BOCZAR, Sebastian BORUCKI, Andrzej CICHON
POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

Zastosowanie klasyfikatora neuronowego w systemie eksperckim oceny stanu układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych

Dr hab. inż. Tomasz BOCZAR

Prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 130 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: t.boczar@po.opole.pl

Dr inż. Sebastian BORUCKI

Asystent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 30 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: s.borucki@po.opole.pl

Dr inż. Andrzej CICHON

Asystent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 30 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: a.cichon@po.opole.pl

Streszczenie

Tematyka artykułu dotyczy oceny możliwości wykorzystania jednokierunkowej sieci neuronowej w systemie eksperckim diagnostyki stanu układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych. W artykule przedstawiono teoretyczne i praktyczne możliwości budowy systemu ekspertowego, bazującego na metodzie emisji akustycznej, wspomagającego diagnostykę układów izolacyjnych transformatorów dużej mocy. Zamieszczone w pracy wyniki przedstawiają skuteczność rozpoznawania badanych form WNZ (defektów izolacji), uzyskaną przy zastosowaniu klasyfikatora neuronowego, jak również ocenę możliwości jego zastosowania jako mechanizmu wnioskującego komputerowego systemu diagnostycznego.

Słowa kluczowe: wyladowania niepełne, sieci neuronowe, system ekspercki, układ izolacyjny, transformator elektroenergetyczny.

The Application of a Neural Classifier in an Expert System for the Evaluation of the Condition of Power Transformer Insulation System

Abstract

The subject matter of the paper refers to the evaluation of the application possibilities of a single-direction neural network in the expert system of the diagnostics of the insulation system condition. The paper presents theoretical and practical possibilities of building an expert system based on the acoustic emission method, assisting the diagnostics of insulation systems of high power transformers. The results presented in this paper show the recognition effectiveness of the PD forms under study (insulation defects), obtained by using a neural classifier as well as the evaluation of its application possibilities as an inferring mechanism of a computer diagnostic system.

Keywords: partial discharge, artificial neural network, expert's system, paper-oil insulation, power transformer.

1. Wstęp

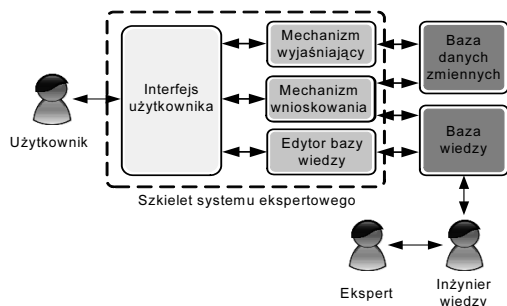
Zminimalizowanie często wysokich nakładów pieniężnych ponoszonych podczas awarii obiektów energetycznych, jak również kosztów związanych z niedostarczoną mocą oraz kar wynikających z niedotrzymania warunków umów, można osiągnąć przede wszystkim poprzez skuteczną i wykonywaną systematycznie diagnostykę urządzeń elektroenergetycznych o strategicznym znaczeniu. Konsekwencją tak prowadzonych działań jest więc dynamiczny rozwój metod diagnostycznych, które pozwalają na zwiększenie niezawodności pracy urządzeń oraz znaczne wydłużenie czasu ich eksploatacji. Obiektami elektroenergetycznymi o dużym znaczeniu dla systemu przesyłowo – dystrybucyjnego są transformatory mocy, których koszt inwestycyjny w stosunku do sumarycznej wartości elementów służących do przesyłu i rozdziału energii elektrycznej stanowi około 20 %. Awaryjne wyłączenie jednostki transformatorowej może spowodować znaczne straty ekonomiczne, które w ekstremalnych warunkach mogą przekroczyć kilkukrotnie wartość nowego urządzenia. Uzasadnia to zatem prowadzenie szerokich badań diagnostycznych, których zakres powinien być skorelowany z technicznym i ekonomicznym znaczeniem mierzonego obiektu elektroenergetycznego [1-2].

Jednym ze wskaźników pozwalających na określenie „czasu życia” transformatora elektroenergetycznego jest detekcja i ocena intensywności rozwijających się w jego izolacji wyladowań niepełnych (WNZ). Nowoczesne techniki monitoringu w coraz szerszym zakresie wykorzystują do oceny WNZ metodę emisji akustycznej (EA), która w znacznym stopniu łączy w sobie cechy metody chromatografii gazowej oraz metody elektrycznej. W związku z dynamicznym rozwojem wykorzystywanej aparatury diagnostycznej i postępem technologicznym, jednym z głównych problemów dotyczących rozwoju oraz zastosowania tej metody, nie jest obecnie poprawne wykonanie pomiarów, lecz przede wszystkim prawidłowa analiza i interpretacja uzyskanych wyników. Podjęta w artykule tematyka dotyczy analizy zarejestrowanych sygnałów EA oraz określenia możliwości wykorzystania jednokierunkowej sieci neuronowej jako głównego elementu systemu eksperckiego, mającego na celu wspomaganie diagnostyki papierowo – olejowych układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych dużych mocy.

1.1. Model systemu eksperckiego

Systemy diagnostyczne to obecnie jedno z najbardziej popularnych zastosowań skomputeryzowanych systemów eksperckich. System ekspercki (SE) to program lub zestaw programów komputerowych, wspomagający korzystanie ze zbiorów zgromadzonej wiedzy, ułatwiający podejmowanie decyzji oraz wykonywanie

zadań o podłożu intelektualnym. Oznacza to, że system tego typu powinien pozwolić na wykonywanie powierzonych mu zadań tak dobrze, jak człowiek będący ekspertem w danej dziedzinie. Podstawowa idea SE polega na przeniesieniu wiedzy ludzkiego eksperta do programu komputerowego, wyposażonego w bazę wiedzy, konkretne reguły postępowania oraz interfejs pozwalający na komunikację z użytkownikiem [3-4]. Poglądowy schemat blokowy SE przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu eksperckiego
Fig. 1. Block diagram of the expert system

Najważniejszym elementem SE jest tzw. mechanizm wnioskowania. Jego zadaniem jest wyciąganie wniosków z przesłanek oraz pytań wprowadzanych przez użytkownika i generowanie odpowiedzi będących rozwiązaniem zadanego problemu. Drugim pod względem znaczenia składnikiem systemu jest baza wiedzy. To w niej zawarta jest wyekstrahowana od ludzkich ekspertów wiedza dotycząca danej dziedziny i na tej podstawie podejmowana jest decyzja. Dzięki wbudowanemu edytorowi bazy wiedzy możliwe jest modyfikowanie wiedzy zawartej w systemie. Poprzez wbudowany moduł wyjaśniający użytkownik SE ma możliwość uzyskania informacji, dlaczego system udzielił takiej, a nie innej odpowiedzi lub dlaczego system zadał użytkownikowi określone zapytanie. Ostatnim elementem SE jest baza danych zmiennych, w której przechowywane są wnioski uzyskane przez system podczas jego działania. Baza ta umożliwi odtworzenie sposobu wnioskowania systemu i przedstawienie go użytkownikowi za pomocą mechanizmu wyjaśniającego. Najważniejszą zaletą SE jest to, że cała zgromadzona w systemie wiedza może być wykorzystywana wielokrotnie przez wielu użytkowników i stanowi model ekspertyzy, normalnie posiadanej tylko przez wysokiej klasy specjalistów danej dziedziny.

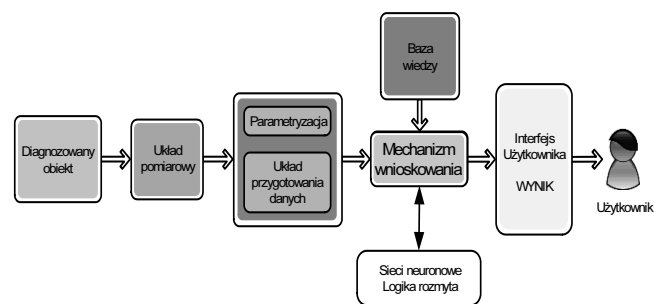
2. Możliwość wykorzystania metody emisji akustycznej w systemach eksperckich oceny układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych

Prace związane z doskonaleniem metody EA w zastosowaniu do oceny stanu układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych od kilkudziesięciu lat. Aktualnie realizowane w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej badania związane są z określeniem możliwości oraz wskazaniem zakresu jednoznacznej identyfikacji form WNZ i powiązaniem ich z danym typem uszkodzeń izolacji papierowo – olejowej transformatorów elektroenergetycznych. Celem prowadzonych prac jest budowa skomputeryzowanego systemu eksperckiego, opartego na metodzie EA, umożliwiającego diagnostykę izolacji transformatorów elektroenergetycznych pracujących w warunkach przemysłowych. Zaimplementowanie takiego systemu stworzyłoby możliwość wdrożenia opracowywanej metody dla potrzeb około 250 transformatorów dużej mocy pracujących w krajowym systemie elektroenergetycznym. Długoletnie doświadczenie praktyczne oraz zdobyta wiedza teoretyczna pracowników Katedry Wysokich Napięć, związane z pracami nad rejestracją, przetwarzaniem i analizą sygnałów EA generowanej

w układach modelujących podstawowe formy WNZ, stanowią podstawę do utworzenia skatalogowanych wzorców porównawczych tzw. „odcisków palców” (ang. *fingerprints*) dla każdej z badanych form WNZ. Stąd, poprzez rejestrację sygnałów EA pochodzącej od wyładowań elektrycznych na rzeczywistych obiektach energetycznych i porównaniu ich z sygnałami EA generowanej przez podstawowe formy WNZ, możliwe jest dokonanie wstępnej oceny stopnia uszkodzenia układu izolacyjnego, jak również wykonanie szacunkowej prognozy bezawaryjnej pracy badanego urządzenia. Skatalogowane wzorce sygnałów EA stanowią zatem podstawę bazy wiedzy przyszłego systemu eksperckiego. W bazie tej znajdują się parametry sygnałów EA, dzięki którym podstawowe formy WNZ są jednoznacznie określone i zdefiniowane. Do deskryptorów tych można m.in. zaliczyć:

- widmo amplitudowe i widmową gęstość mocy obliczoną przy zastosowaniu szybkiej transformaty Fouriera (FFT – ang. *Fast Fourier Transform*),
- wyniki analizy sygnału EA przy wykorzystaniu krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT – ang. *Short Time Fourier Transform*),
- wyniki analizy przy zastosowaniu ciągłej transformaty falkowej (CWT – ang. *Continous Wavelet Transform*),
- wyniki analizy dekompozycji falkowej wykonanej za pomocą dyskretnej transformaty falkowej (DWT – ang. *Discret Wavelet Transform*),
- wartości deskryptorów wyznaczonych w dziedzinie czasu, częstotliwości i czasowo-częstotliwościowej,
- rezultaty analizy korelacyjnej czasowej i częstotliwościowej,
- wartości parametrów statystyk opisowych sygnałów EA.

Proces budowy skutecznie działającego systemu eksperckiego to kilkuletnie, a czasami kilkudziesięcioletnie przedsięwzięcie inżyniersko – naukowo – badawcze. Zgromadzone w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej wyniki prac nad doskonaleniem akustycznej metody pomiaru WNZ stwarzają jednak teoretyczną i praktyczną możliwość utworzenia takiego systemu diagnostycznego opartego na metodzie EA. Na rys. 2 przedstawiono jedno z możliwych rozwiązań komputerowego systemu eksperckiego, który posłużyłby do identyfikacji podstawowych form WNZ występujących w układach izolacyjnych rzeczywistych obiektów elektroenergetycznych.



Rys. 2. Schemat blokowy SE opartego na metodzie EA umożliwiającego ocenę stopnia zesterzenia układu izolacyjnego transformatorów elektroenergetycznych

Fig. 2. Block diagram of the ES based on the AE method making it possible to assess the aging degree of the power transformer insulation system

Działanie systemu powinno opierać się na analizie wyników otrzymywanych bezpośrednio na obiekcie diagnostowanym. Sygnały EA rejestrowane za pomocą układu pomiarowego poddawane byłyby analizie i obróbcie cyfrowej w celu wyznaczenia deskryptorów je charakteryzujących. Obliczone parametry przekazywane byłyby do SE, gdzie na podstawie utworzonej bazy danych, zawierającej „odciski palców” podstawowych form WNZ, dokonywany byłby proces identyfikacji oraz klasyfikacji rejestrowanych sygnałów i w konsekwencji ocena stopnia zesterzenia

badanej izolacji papierowo - olejowej. Jako element wnioskowania można wykorzystać sieci neuronowe lub logikę rozmytą. Po przeprowadzeniu przez SE procesu wnioskowania, na ekranie monitora, użytkownik uzyskiwałby informacje dotyczące rodzaju występujących w izolacji WNZ, a co za tym idzie o stopniu degradacji tej izolacji [5].

3. Ocena możliwości wykorzystania sieci neuronowej jako elementu wnioskującego systemu eksperckiego

Do rozpoznawania defektów układu izolacyjnego na podstawie analizy sygnałów EA generowanej przez przyjęte w badaniach formy WNZ, autorzy artykułu zaproponowali wykorzystanie klasyfikatora neuronowego, który stanowiła jednokierunkowa, wielowarstwowa sieć neuronowa (SSN). Do implementacji, uczenia i testowania SSN wykorzystano środowisko programowe Matlab. Zastosowana struktura to sieć typu Feed-Forward Backpropagation Network, w której każdy z neuronów posiadał sigmoidalną funkcję aktywacji. Przyjęta w badaniach struktura posiadała trzy warstwy: warstwę wejściową, jedną warstwę ukrytą oraz warstwę wyjściową. Proces uczenia zastosowanej sieci przeprowadzono w oparciu o uczenie nadzorowane, wobec czego część z zarejestrowanych plików pomiarowych zawierających informacje o sygnałach EA od WNZ traktowano jako wektory ciągu uczącego (CU), natomiast pozostałą część jako wektory ciągu testowego (CT). Jako parametry CU i CT podczas uczenia i testowania SSN zaproponowano wyniki analizy częstotliwościowej oraz czasowo - częstotliwościowej zarejestrowanych sygnałów EA generowanej przez podstawowe formy WNZ [6-7]. Proces korekcji poszczególnych wag neuronów wchodzących w skład sieci oparto na jednej z odmian strategii wstecznej propagacji - algorytm Resilient Backpropagation, opisany zależnością (1):

$$w_{ij}^{(k)}(n+1) = w_{ij}^{(k)}(n) - \eta_{ij}^{(k)}(n) \operatorname{sgn}(\nabla_{ij}^{(k)}(n)), \quad (1)$$

gdzie:

$\eta_{ij}^{(k)}$ - indywidualny współczynnik uczenia dla każdej wagi,
 $\nabla_{ij}^{(k)}(n)$ - składowa gradientu funkcji błędu.

W celu usystematyzowania nazewnictwa wprowadzono pojęcie „klasy”, które określa konkretną, podstawową formę WNZ - zamodelowany defekt układu izolacyjnego (w sumie zamodelowano 8 różnych defektów) [6].

Pierwszym parametrem służącym do budowy wektorów uczących SSN, opisującym każdy z zarejestrowanych od przyjętych klas sygnałów EA, było wykorzystanie wyników analizy częstotliwościowej - widma gęstości mocy (PSD). Z przedstawionej w tabeli 1 procentowej wartości skuteczności wynika, że wybór parametru analizy częstotliwościowej zarejestrowanych sygnałów EA generowanej przez badane formy WNZ w postaci 128 punktów uśredniających PSD pozwala na uzyskanie satysfakcjonujących rezultatów rozpoznawania zadanych defektów układu izolacyjnego. Przyjęcie sieci neuronowej o 45 neuronach w warstwie ukrytej zapewnienia otrzymywanie całkowitej skuteczności rozpoznawania powyżej 90 % (dla 8 klas), przy RCU = 10, a przez to każdej z klas na poziomie bliskim 99 %.

Drugim parametrem służącym do budowy wektorów uczących i testujących SSN, było wykorzystanie wyników analizy czasowo - częstotliwościowej z użyciem krótkoczasowego przekształcenia Fouriera (STFT). W tabeli 2 zestawiono uzyskane skuteczności rozpoznawania każdej z rozważanych klas. Z analizy przedstawionej poniżej procentowej skuteczności wynika, że parametryzacja czasowo - częstotliwościowa STFT zarejestrowanych sygnałów EA, wykonana dla szerokości okna czasowego $dT = 0,4$ ms, pozwala na uzyskanie satysfakcjonujących rezultatów rozpoznawania przez sieć zadanych defektów papierowo - olejowego układu izolacyjnego. Przyjęcie architektury o 45 neu-

ronach ukrytych oraz treningu SSN rozmiarem RCU = 20 pozwala na osiągnięcie całkowitej skuteczności rozpoznawania na poziomie 95 %, co jest wynikiem wysoce satysfakcjonującym z diagnostycznego punktu widzenia.

Tab. 1. Wartości skuteczności rozpoznawania przez SSN badanych form WNZ dla parametrów analizy częstotliwościowej

Tab. 1. Values of the recognition effectiveness of PDs by an ANN for the frequency analysis parameters

Klasa RCU	Klasa 1, %	Klasa 2, %	Klasa 3, %	Klasa 4, %	Klasa 5, %	Klasa 6, %	Klasa 7, %	Klasa 8, %	Skuteczność Całkowita, %
1	97,5	99,6	94,4	88,6	93,6	95,8	91,3	98,5	59,3
10	99,3	99,4	99,3	98,6	99,3	99,3	96,6	98,6	90,4
20	99,7	98,9	99,7	99,2	99,5	99,2	98,1	99,7	94,0
30	99,8	99,1	100,0	99,3	97,5	98,0	99,8	99,3	92,8
40	99,2	98,5	99,6	99,6	98,5	99,6	99,8	98,9	93,6
50	98,0	99,7	100,0	100,0	99,7	99,7	99,0	98,2	94,4
60	99,4	100,0	100,0	100,0	98,7	99,0	100,0	99,7	96,8
70	100,0	99,1	99,6	100,0	99,6	99,6	99,6	99,1	96,6
80	99,3	99,3	100,0	100,0	98,7	99,3	100,0	99,3	96,1
90	98,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	97,2

Tab. 2. Wartości skuteczności rozpoznawania przez SSN badanych form WNZ dla parametrów analizy czasowo - częstotliwościowej

Tab. 2. Values of the recognition effectiveness of PDs by an ANN for the time - frequency analysis parameters

Klasa RCU	Klasa 1, %	Klasa 2, %	Klasa 3, %	Klasa 4, %	Klasa 5, %	Klasa 6, %	Klasa 7, %	Klasa 8, %	Skuteczność całkowita, %
1	95,5	93,8	96,0	97,7	92,1	92,1	93,2	91,8	52,1
10	99,6	98,2	99,9	99,4	99,4	95,5	95,0	99,9	86,9
20	99,7	98,9	100,0	99,4	99,7	99,2	99,4	99,7	95,9
30	100,0	99,1	100,0	99,6	98,8	99,3	99,1	99,5	95,3
40	99,8	99,4	99,9	99,2	99,8	99,4	98,9	99,4	95,7
50	99,7	99,2	100,0	99,5	99,0	100,0	99,0	99,0	95,4
60	99,7	100,0	100,0	99,7	100,0	99,7	99,0	100,0	98,1
70	100,0	99,5	99,8	99,6	100,0	99,6	99,6	99,6	97,5
80	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,3	99,3	100,0	98,6
90	100,0	99,9	100,0	98,6	100,0	100,0	98,2	99,6	96,3

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że poprawna identyfikacja defektów układu izolacyjnego możliwa jest jedynie na podstawie wyuczenia SSN wynikami analizy częstotliwościowej oraz czasowo - częstotliwościowej. Przyjęcie jednokierunkowej architektury sieci neuronowej z 45 -ma neuronami ukrytymi i uczeniem klasyfikatora neuronowego parametrami analizy częstotliwościowej oraz czasowo - częstotliwościowej pozwala na uzyskanie zadowalających skuteczności rozpoznawania każdej z ośmiu klas. Niestety czas przetwarzania przez SSN parametrów czasowo - częstotliwościowych jest prawie trzykrotnie dłuższy niż przy zastosowaniu parametryzacji częstotliwościowej dla tej samej konfiguracji sieci, ale uzyskana w tym przypadku skuteczność charakteryzuje się nieco wyższą wartością (nawet o około 2 %). Wobec tego, jeżeli podczas pomiarów diagnostycznych wymagany jest od SSN relatywnie krótki czas rozpoznawania uszkodzeń układu izolacyjnego, co związane jest z pogorszeniem procentowej skuteczności, należy wykorzystać podczas uczenia neuronowego narzędzia rozpoznawczego parametrów częstotliwościowych zarejestrowanych sygnałów EA. Jeżeli jednak bardziej istotna jest wartość otrzymywanej skuteczności, a czas potrzebny na przetworzenie przez SSN wprowadzonych danych ma niższy priorytet, jako parametry sygnałów EA reprezentujących każdą z klas należy wykorzystać wyniki analizy czasowo - częstotliwościowej.

4. Podsumowanie

Analizując dotychczasowy stan wiedzy oraz wyniki prowadzonych badań, można stwierdzić, że istnieją realne możliwości zaimplementowania komputerowego systemu ekspertowego wykorzystującego metodę EA do oceny układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych. Jednakże tego typu przedsięwzięcie wymagałoby istotnych nakładów finansowych związanych przede wszystkim z koniecznością wykonania wielokrotnych pomiarów w warunkach przemysłowych na różnego typu urządzeniach elektroenergetycznych pracujących w polskim systemie energetycznym. Uzyskane rezultaty związane z zastosowaniem SSN do efektywnego identyfikowania form WNZ na podstawie wskaźników analizy częstotliwościowej i czasowo-częstotliwościowej sygnałów EA wykazały, że istnieje potencjalna możliwość wykorzystania zaproponowanego klasyfikatora neuronowego podczas budowy skomputeryzowanego SE, opartego na metodzie EA, umożliwiającą diagnostykę izolacji pracujących w warunkach przemysłowych transformatorów elektroenergetycznych. Przyjęta architektura sieci neuronowej mogłaby stanowić zatem jeden z najważniejszych elementów tworzonego w przyszłości SE, a mianowicie jego mechanizm wnioskujący. Zadaniem zaprezentowanej w pracy SSN byłoby więc ciągłe porównywanie mierzonych oraz właściwie sparametryzowanych sygnałów EA ze zgromadzonymi w bazie wiedzy wskaźnikami wzorcowymi podstawowych form WNZ. Wszystkie operacje wykonywane byłyby w czasie rzeczywistym (on - line) podczas normalnej eksploatacji jednostki transformatorowej. Na podstawie otrzymywanych z mechanizmu wnioskującego rezultatów, wynikających z korelacji między mierzonymi w sposób ciągły sygnałami EA, a umieszczonymi w bazie danych sygnałami modelowymi, następowałaby detekcja, jak również identyfikacja zagrożeń układu izolacyjnego przez występujące i rozwijające się w nim wyladowania elektryczne. Perspektywa zaimplementowania takiego systemu pozwoliłaby na wdrożenie do przemysłu kolejnego narzędzia dia-

gnostycznego pracującego on – line, służącego do monitorowania stanu izolacji transformatorów dużej mocy.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr R01 006 01 oraz nr N511 019 31/3638.

5. Literatura

- [1] T. Bengtsson, K. Hakan, B. Jonssn: „Transformer PD Diagnosis Using AE Technique”, 10th Int. Symp. On High Vol. Eng. , Montreal, Quebec, Canada, 1997, pp. 73 – 79.
- [2] E. Grossman, K. Feser: „Online Pd-Monitoring on Transformers Using AE Techniques”, Int. Conf. APTADM’2001, Wrocław, 2001, pp. 264 – 268.
- [3] Z. Bubnicki: „Wstęp do systemów ekspertowych”, PWN, Warszawa, 1990.
- [4] J. Mulawka: „Systemy ekspertowe”, WNT, Warszawa, 1996.
- [5] S. Borucki, T. Boczar, A. Cichoń, M. Lorenc, D. Zmarzły: „The possibilities of using the acoustic emission method in expert systems for the evaluation of insulation systems of power transformers”, Journal de Physique IV Proceedings, „35th Winter School on Wave and Quantum Acoustics”, November 2006, ISSN: 1155-4339, pp. 51 – 56.
- [6] S. Borucki, T. Boczar: „Skuteczność rozpoznawania przez SSN podstawowych form WNZ przy wykorzystaniu wyników analizy czasowo - częstotliwościowej sygnałów EA”, Przegląd Elektrotechniczny – konferencje 1’2006, VIII Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć, Poznań – Będlewo, 8 – 10 maja 2006, str. 41 - 44.
- [7] S. Borucki, T. Boczar, A. Cichoń: „The application of the resilient backpropagation algorithm and power spectrum density for recognizing the acoustic emission signals generated by basic partial discharge forms using artificial neuron networks”, Quarterly Archive of Acoustics, Vol. 31, No. 4, Warszawa 2006, pp. 335 – 342.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

WYDAWNICTWO POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA



specjalizuje się w wydawaniu czasopisma i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 022 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 032 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl