

Paweł FRĄCZPOLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI**Założenia systemu eksperckiego pomiaru wylądowań niezupełnych przy zastosowaniu metody spektrofotometrii optycznej**

Dr inż. Paweł FRĄCZ

Adiunkt 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: p.fracz@po.opole.pl

Streszczenie

Tematyka niniejszego artykułu dotyczy doskonalenia praktycznych zastosowań metody spektrofotometrii optycznej w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych, wykonywanej podczas ich normalnej pracy w warunkach przemysłowych. W artykule przedstawiono możliwości rozpoznawania podstawowych form wylądowań elektrycznych na podstawie wyników analizy widm optycznych emitowanego podczas ich występowania promieniowania elektromagnetycznego. W szczególności w celach porównawczych zestawiono wartości wybranych deskryptorów tj. wartości średniej (tabela 1) i maksymalnej (tabela 2) intensywności promieniowania optycznego emitowanego przez wybrane formy wylądowań elektrycznych zupełnych i niezupełnych, jakie mogą występować w powietrzu i oleju izolacyjnym. Wartości zostały wyznaczone dla trzech wybranych pasm długości fal promieniowania tj. UV (ultrafioletowego) / VIS (widzialnego) / NIR (bliskiej podczerwieni). Ponadto w artykule scharakteryzowano koncepcję systemu diagnostycznego oceny wylądowań niezupełnych opartego na wynikach uzyskiwanych przy zastosowaniu metody spektrofotometrii optycznej. Zaproponowany system oparty jest na zastąpieniu spektrofotometru czujnikiem składającym się z trzech detektorów promieniowania optycznego, czułych na fale w zakresach UV, VIS i NIR. Schemat blokowy systemu przedstawiono na rys. 1. W podsumowaniu scharakteryzowano zakres realizowanych obecnie prac naukowo-badawczych w Instytucie Elektroenergetyki związanych z praktyczną implementacją zaproponowanego systemu.

Słowa kluczowe: metoda spektrofotometrii optycznej, wylądowania elektryczne, wylądowania niezupełne, wysoko-napięciowe systemy izolacyjne.

Assumptions for the expert system of partial discharge measurements using the optical spectrophotometry method**Abstract**

This paper deals with the development of practical applications of the optical spectrophotometry method to diagnostics of high-voltage insulation systems of power appliances performed during their regular operation under industrial conditions. There are presented the possibilities for recognition of basic electrical discharge forms based on the analysis of optical spectra emitted during the appearance of electromagnetic radiation. For the purpose of comparison the values of selected descriptors are given. They are the mean values (Table 1) and the maximum (Table 2) optical radiation intensity emitted by selected forms of partial and disruptive electrical discharges which can occur in air and insulation oil. The values are determined for three selected bands of radiation wave lengths, i.e. UV (ultraviolet) / VIS (visible) / NIR (near infrared). Moreover, the concept of a diagnostic system for assessment of partial discharges based on the results obtained by using the optical spectrophotometry method is presented in this paper. The system proposed is based on replacement of a spectrometer with a sensor consisting of three optical radiation detectors, sensitive to waves in UV, VIS and NIR ranges. The block diagram of the

system is shown in Fig. 1. In the concluding remarks there is characterized the research work conducted in the Institute of Power Engineering aimed at practical implementation of the system proposed.

Keywords: optical spectrophotometry method, electrical discharge, partial discharge, high-voltage insulation systems.

1. Wprowadzenie

Powstawaniu i rozwojowi wylądowań niezupełnych (WZN), jakie mogą występować w izolacji urządzeń elektroenergetycznych towarzyszy szereg zjawisk fizycznych, do których można zaliczyć: występowanie impulsu prądowego i emisję fali elektromagnetycznej, chemiczne przemiany izolacji, udarowe odkształcenie sprężyste i towarzyszącą mu generację fali akustycznej, emisję promieniowania świetlnego, lokalny wzrost temperatury w obszarze wylądowania oraz zmiany ciśnienia gazu w kanale wylądowania. W zależności od rozwiązań technicznych układów izolacyjnych, rodzaju zastosowanego dielektryka, typu wylądowania elektrycznego, poszczególne efekty mogą występować z różnym nasileniem i intensywnością. Na podstawie zjawisk towarzyszących generacji WZN opracowano szereg metod diagnostycznych umożliwiających ich: detekcję, pomiar i lokalizację. Każda z metod oceny wylądowań ma swoją specyficzną instrumentalizację oraz metodykę wykonywania pomiarów, przetwarzania uzyskanych danych i analizy uzyskiwanych wyników. W ostatnim czasie, wraz z postępem technologicznym w zakresie wykorzystania aparatury pomiarowej oraz narzędzi obliczeniowych, coraz większe znaczenie praktyczne nabierają badania nieniszczące. Umożliwiają one wykonanie oceny stanu diagnozowanej izolacji podczas normalnej pracy urządzeń elektroenergetycznych w warunkach przemysłowych bez konieczności ich wyłączenia z eksploatacji. Do metod nieinwazyjnych można zaliczyć metodę spektrofotometrii optycznej. Podstawą detekcji, pomiaru i analizy w metodzie optycznej diagnostyki spektralnej jest przeprowadzenie oceny widma promieniowania elektromagnetycznego, tj. oceny intensywności fal o ściśle określonych długościach lub występujących w pewnych charakterystycznych dla badanego zjawiska zakresach długości fal. Następnie należy zidentyfikować linie spektralne, tj. przypisać im skończone wartości długości fali, oznaczyć rodzaj przejścia oraz opisać go za pomocą wyselekcjonowanych deskryptorów.

Na podstawie doniesień literaturowych, wyników prac naukowo-badawczych pracowników Instytutu Elektroenergetyki politechniki Opolskiej prezentowanych w cyklu prac [1-11] oraz rezultatów przedstawionych w rozprawie doktorskiej autora artykułu zatytułowanej „Optyczne i akustyczne widma wylądowań elektrycznych” uzasadniają przyjęcie tezy, że przy zachowaniu odpowiedniego reżimu metrologicznego metoda spektrofotometrii optycznej umożliwia nie tylko precyzyjną detekcję promieniowania emitowanego przez wylądowania elektryczne oraz szeroko rozumianą analizę jego składu widmowego z uwzględnieniem zależności czasowych, ale także lokalizację przestrzenną obszarów generacji wylądowań o charakterze zupełnym oraz niezupełnym. Przeprowadzone dotychczas prace naukowo-badawcze potwierdzają stosunkowo dużą czułość tej metody, ujawniającą się przy zmianach parametrów konstrukcyjno-technicznych iskierników modelujących WZN, parametrów fizykochemicznych oleju elektroizolacyjnego i warunków metrologicznych. Dzięki temu staje się możliwe badanie szeregu zjawisk niedostępnych dla metod stosowanych dotychczas.

2. Możliwości rozpoznawania form wyładowań elektrycznych na podstawie wyników analizy widm optycznych

Na podstawie wyników przeprowadzonych prac naukowo-badawczych, które były prezentowane m. in. w pracach [1-11], wykazano, że przy wykorzystaniu metody spektrofotometrii optycznej można stosunkowo precyzyjnie określić strukturę widm promieniowania optycznego emitowanych przez podstawowe formy wyładowań elektrycznych o charakterze zupełnym i niezupełnym, które modelowano w warunkach laboratoryjnych, w oleju izolacyjnym i w powietrzu. W oparciu o uzyskane rezultaty stwierdzono, że przy ściśle określonych warunkach pomiarowych istnieje możliwość rozpoznawania podstawowych form WNZ, jakie mogą występować w wysokonapięciowych, papierowo-olejowych układach izolacyjnych na podstawie wyników analizy intensywności (wartości: średnia, skuteczna i maksymalna) promieniowania optycznego w wybranych przedziałach częstotliwości (dla wyselekcjonowanych długości fal elektromagnetycznych) oraz kształtów obliczonych widm. Jednakże dotyczy to ściśle określonych warunków, w jakich wykonywane są pomiary oraz przypadku występowania wyładowań jednoźródłowych, jednokrotnych i jednego typu. Wskazano zakres i ograniczenia metody spektrofotometrii optycznej jak również określono wpływ szeregu parametrów, jakie mogą wpływać na uzyskiwane wyniki pomiarowe.

Do wstępnej oceny ogólnych własności promieniowania można wykorzystać uśrednioną oraz maksymalną wartość widma optycznego, które wyznaczono w trzech charakterystycznych przedziałach: ultrafioletowym (UV), widzialnym (VIS) oraz w zakresie bliskiej podczerwieni (NIR).

W tabeli 1 przedstawiono porównanie wartości średnich, natomiast w tabeli 2 wartości maksymalnych intensywności widma w poszczególnych przedziałach długości fal promieniowania optycznego wyznaczonych oddzielnie dla wybranych form wyładowań elektrycznych o charakterze zupełnym i niezupełnym. Ich wartości wyrażone w jednostkach względnych, mają charakter szacunkowy i względny, ponieważ parametry drogi propagacji promieniowania optycznego mogą zmieniać się w zależności od odległości między obszarem generacji wyładowań i miejscem zainstalowania detektora optycznego.

Szczegółowa analiza porównawcza grupy wyselekcjonowanych deskryptorów, których wartości mogą być wykorzystane, jako kryteria porównawcze do rozpoznawania podstawowych form WNZ zostały przedstawione w pracach [1-11].

Tab. 1. Zestawienie porównawcze wartości średniej intensywności promieniowania optycznego określonych w dobranych przedziałach widma optycznego dla różnych form wyładowań elektrycznych

Tab. 1. Comparative list of the optical radiation intensity mean value determined in particular bands of the optical spectrum for various forms of electrical discharges

Forma wyładowania elektrycznego	Zakresy długości fal		
	Nadfiolet UV	Promieniowanie widzialne VIS	Bliska podczerwień NIR
	(270-380) nm	(380-780) nm	(780-1700) nm
WNZ w układzie ostrze-ostrze w powietrzu	500-700	<100	<100
Wyładowania zupełne w układzie ostrze-ostrze w powietrzu	600-1000	800-900	<100
Wyładowania powierzchniowe ślizgowe w powietrzu	<50	1000-1200	100-200
Wyładowania powierzchniowe ślizgowe w oleju	50-100	2500-3000	500-1000

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 1 można sformułować następujące wnioski:

- WNZ są źródłem promieniowania głównie w zakresie ultrafioletu, dlatego ten przedział spektralny może być wykorzystany do ich rozpoznawania,
- wyładowania zupełne emitują promieniowanie ultrafioletowe oraz w zakresie widzialnym (o charakterze ciągłym) o zbliżonej wartości średniej,
- wyładowania powierzchniowe w powietrzu mają znacznie większą intensywność promieniowania w przedziale widzialnym niż w zakresie ultrafioletu, ponadto wyładowania te mają charakter impulsowy, co może zostać wykorzystane w systemie rozpoznawania podstawowych form wyładowań elektrycznych,
- widma optyczne wyładowań powierzchniowych w oleju charakteryzują się podobnymi wartościami intensywności do widm optycznych wyładowań powierzchniowych w powietrzu. Cechą odróżniającą jest względnie większa wartość intensywności promieniowania podczerwonego.

Należy podkreślić, że w przypadku gdy wyznaczone widma optyczne mają charakter liniowy, to wartość średnia nie oddaje w pełni intensywności promieniowania. W tym przypadku wartość maksymalna może stanowić parametr uzupełniający, uwypuklający atomową emisję promieniowania głównie w zakresie nadfioletu (tabela 2).

Ogólne możliwości rozróżnienia form wyładowań są podobne jak w przypadku wartości uśrednionej intensywności widma optycznego, tzn. charakterystyczne dla wyładowań w układzie ostrze-ostrze w powietrzu jest występowanie promieniowania ultrafioletowego. WNZ nie generują promieniowania widzialnego i podczerwonego. Wyładowania powierzchniowe ślizgowe, charakteryzują się głównie promieniowaniem widzialnym. W przypadku wyładowań ślizgowych w oleju promieniowanie ciepłe ma znaczną intensywność.

Tab. 2. Zestawienie porównawcze wartości maksymalnej intensywności promieniowania optycznego określonych dobranych przedziałach widma optycznego dla różnych form wyładowań elektrycznych

Tab. 2. Comparative list of the maximum optical radiation intensity maximum value determined in particular bands of the optical spectrum for various forms of electrical discharges

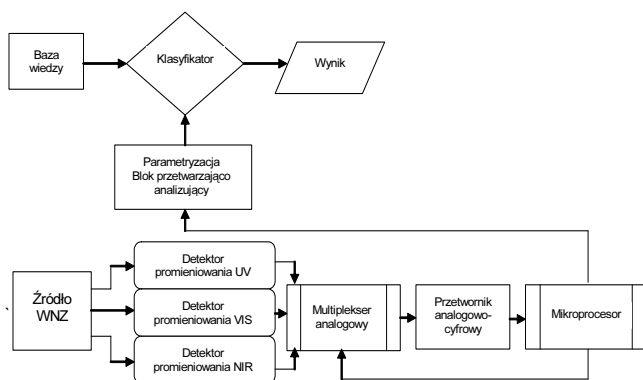
Forma wyładowania elektrycznego	Zakresy długości fal		
	Nadfiolet UV	Promieniowanie widzialne VIS	Bliska podczerwień NIR
	(270-380) nm	(380-780) nm	(780-1700) nm
WNZ w układzie ostrze-ostrze w powietrzu	4000	1000	1000
Wyładowania zupełne w układzie ostrze-ostrze w powietrzu	2700	1200	80
Wyładowania powierzchniowe ślizgowe w powietrzu	30	1800	400
Wyładowania powierzchniowe ślizgowe w oleju	100	4000	2000

Reasumując, na podstawie analizy widm optycznych można stwierdzić, że dla różnych form wyładowań elektrycznych zmienia się zakres długości fal, w którym generowane jest promieniowanie. Dlatego widma optyczne, a w szczególności wyselekcjonowane deskryptory je charakteryzujące, można wykorzystać do rozpoznawania podstawowych form WNZ.

3. Koncepcja systemu diagnostycznego oceny WNZ opartego na metodzie spektrofotometrii optycznej

Wykonując pomiary w warunkach laboratoryjnych dokonano ogólnej oceny zarejestrowanych sygnałów optycznych emitowanych przez modelowane w powietrzu oraz w oleju transformatorowym podstawowe formy wyładowań elektrycznych. Ponadto określono deskryptory charakteryzujące generowane sygnały

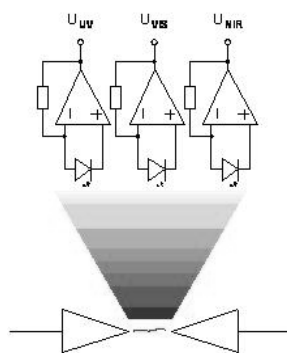
optyczne, które mogą być wykorzystane do klasyfikacji i w konsekwencji do rozpoznawania badanych form wyładowań elektrycznych. Należy jednak mieć na uwadze, że wykorzystywany podczas badań laboratoryjnych spektrofotometr, który umożliwia dokładną rejestrację emitowanych sygnałów optycznych, jest urządzeniem stosunkowo drogie, a przede wszystkim bardzo wrażliwym na uszkodzenia typu mechanicznego. Stąd na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzonych prac naukowo-badawczych zaproponowano koncepcję systemu diagnostycznego, w którym zastosowano zamiast spektrofotometru trzy detektory promieniowania optycznego, czułe na fale w zakresach ultrafioletu (UV), widzialnym (VIS) i bliskiej podczerwieni (NIR). Schemat blokowy zaproponowanego systemu diagnostycznego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu diagnostycznego oceny WNZ mierzonych metodą spektrofotometrii optycznej

Fig. 1. Block diagram of the diagnostic system for assessing PD measured by the optical spectrophotometry method

Zaproponowane detektory przetwarzają promieniowanie optyczne na proporcjonalny sygnał elektryczny. Jako detektory mogą zostać wykorzystane fotodiody współpracujące z przetwornikiem prądowo-napięciowym. Schemat ideowy takiego układu przedstawiono na rys. 2.

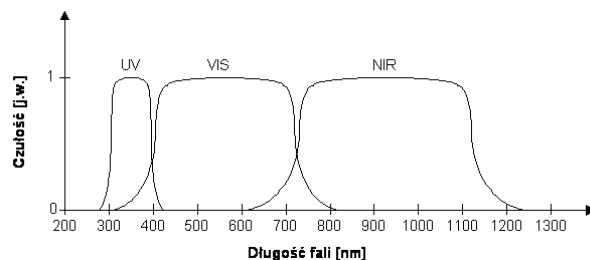


Rys. 2. Schemat ideowy bloku detektorów w trzech pasmach długości promieniowania UV/VIS/NIR

Fig. 2. Schematic diagram of the detector block in three bands of radiation lengths UV/VIS/NIR

Czułość detektorów powinna być tak dobrana, aby pokrywać wymagany zakres długości fal z możliwie płaską charakterystyką w całym rozpatrywanym przedziale przetwarzania (rys. 3). Układ wzmacniający tj. przetwornik prądowo-napięciowy powinien mieć możliwość kontroli rejestrowanego pasma częstotliwościowego. Dla szerszego pasma (krótszy czas całkowania) można obserwować dynamikę zmian widma optycznego, co jest korzystne np. w odniesieniu do wyładowań ślizgowych. Natomiast

przy zastosowaniu dłuższego czasu całkowania sygnał optyczny jest uśredniony, ale znacznie zmniejsza się niepewność pomiaru.



Rys. 3. Zależność czułości względnej fotodiody w zaproponowanym systemie diagnostycznym w trzech pasmach długości promieniowania UV/VIS/NIR

Fig. 3. Relative sensitivity of photodiodes in the diagnostic system proposed in three bands of radiation lengths UV/VIS/NIR

Na wyjściu zastosowanych detektorów otrzymywany jest sygnał napięciowy reprezentujący intensywność promieniowania optycznego w przyjętych pasmach. Sygnał ten może być przetwarzany na postać cyfrową z użyciem niezależnych przetworników analogowo-cyfrowych. W celu redukcji kosztów, ale przy zwiększonej niepewności i zmniejszonej szybkości reakcji można wykorzystać multiplexer analogowy sterowany przez mikroprocesor.

Bardzo istotnym zagadnieniem z punktu widzenia możliwości praktycznych implementacji zaproponowanego systemu diagnostycznego będzie przeprowadzenie jego kalibracji. Ważnym problemem jest również praktyczne sprawdzenie wpływu zmian parametrów i długości drogi propagacji fali elektromagnetycznej na wyniki diagnostyki uzyskiwane przez czujnik wykorzystujący trzy zaproponowane detektory promieniowania nazywanych dalej detektorem UV, VIS, NIR. W praktyce można zrealizować przy wykorzystaniu spektrofotometru oraz iskierników modelujących podstawowe formy WNZ. Podczas wykonywania pomiarów porównawczych detektor UV, VIS, NIR oraz czujnik spektrofotometru zostaną umieszczone w układzie pozycjonowania światłowodu. Na podstawie wyników analizy zarejestrowanych sygnałów optycznych emitowanych w układach modelujących podstawowe formy WNZ będzie możliwe dostrojenie – kalibracja detektorów UV, VIS, NIR i określenie ich charakterystyk np.: czułości w zależności od długości oraz parametrów drogi propagacji emitowanego promieniowania.

Zarejestrowane za pomocą zaproponowanego układu pomiarowego sygnały optyczne zostaną poddane przetwarzaniu cyfrowemu w celu parametryzacji uzyskanych wyników. Następnie odpowiednio wyselekcjonowane parametry, reprezentujące zarejestrowane sygnały optyczne, przekazywane będą do klasyfikatora, gdzie następowaloby ich porównywanie z odpowiednimi deskryptorami zawartymi w utworzonej bazie danych, zawierającej tzw. „odciski palców” reprezentujących dla podstawowe formy WNZ. W ten sposób dokonywany byłby proces identyfikacji i klasyfikacji rejestrowanych WNZ oraz w rezultacie możliwa byłaby ocena stanu mierzonej izolacji. Jako algorytm klasyfikacji można wykorzystać technikę rozmytą, fraktale lub sztywne reguły rozróżniania. Innym sposobem może być wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej. W procesie uczenia lub tworzenia bazy wiedzy, wektory parametrów (ciąg uczący) powinien zostać zapamiętany w pamięci systemu diagnostycznego. Po przeprowadzeniu przez blok klasyfikatora procesu wnioskowania diagnostyk uzyskałby podstawowe informacje o rodzaju występujących w izolacji WNZ, o powiązania ich z danym typem defektu i w konsekwencji o stopniu degradacji mierzonej izolacji, to z kolei umożliwiłoby oszacowanie czasu dalszej bezawaryjnej pracy badanego urządzenia. Do wizualizacji uzyskanych wyników pomiarowych w systemie on-line zostanie wykorzystany wskaźnik formy WNZ albo wyświetlacz informujący o ekspertyzie diagnostycznej. Dodatkowo urządzenie może zostać sprzężone z systemem alarmowym informującym o zagrożeniu. W celu gromadzenia

danych system zostanie sprzęgnięty z pamięcią masową aby dokonywać analizy długotrwałych zmian widma optycznego.

4. Podsumowanie

Zbudowanie sprawnie działającego systemu diagnostycznego umożliwiającego ocenę WNZ, jakie mogą występować w izolacji urządzeń elektroenergetycznych przy wykorzystaniu metody spektrofotometrii optycznej, to kilkuletnie przedsięwzięcie inżyniersko – naukowo – badawcze. Jego praktyczne wdrożenie wymaga wiedzy i doświadczenia o charakterze interdyscyplinarnym m. in. z zakresu: techniki wysokich napięć, materiałoznawstwa elektrycznego, metrologii wyładowań elektrycznych, teorii, przetwarzania i analizy sygnałów, metodologii i instrumentalizacji metody spektrofotometrii optycznej, narzędzi sztucznej inteligencji oraz zabezpieczeń urządzeń elektroenergetycznych.

Ponadto, należy zwrócić uwagę, że w czasie pomiarów wykonywanych podczas normalnej eksploatacji układów izolacyjnych może wystąpić szereg dodatkowych problemów, które nie występują podczas badań w warunkach laboratoryjnych np. generacji przez wyładowania elektryczne promieniowania optycznego może towarzyszyć emisja światła pochodzącego zarówno ze źródeł sztucznych jak również naturalnych, dodatkowo o zmiennej w czasie intensywności i barwie. Pojawienie się takiego światła w znaczny sposób może ograniczyć stosowalność zaproponowanego systemu diagnostycznego.

Obecnie w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej prowadzone są przez pracowników Katedry Wysokich Napięć prace naukowo-badawcze i eksperymentalne zmierzające do praktycznego wykonania zaproponowanego systemu diagnostycznego.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr 0304/R/2/T02/06/01.

5. Literatura

[1] Boczar T., Frącz P. : „Application Possibilities of the Optical Spectrophotometry Method in Insulation System Diagnostics of Power Appliances”, Proceedings 35 th International Conference, Defektoscopy 2005, 8-10.11.2005, Znojmo, Czech Republic, pp. 25-32.

[2] Boczar T., Frącz P. : „Comparative Analysis of Optical and Acoustic Emission Signals Generated by Partial Discharges”, IV International Conference New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation, NEET 2005, Zakopane, 21-24.06.2005, pp. 227-229.

[3] Boczar T., Frącz P.: „Comparison of the measurement results of electrical discharges registered by the acoustic emission and optical spectrophotometry methods”, Physics and Chemistry of Solid State, Vol. 7, No 3, 2006, Iwano-Frankivsk, Ukraina, pp. 564-571.

[4] Boczar T., Lorenc M. : „The Application of the Spectrophotometry Method for the Measurements of Electrical Discharges”, 9th European Conference on Non-Destructive Testing, Berlin, 25-29.09.2006, Conference Proceedings BB 103-CD.

[5] Boczar T., Zmarzły D. : „Optical Spectral Diagnostics of Electrical Discharges in Oil”, IEEE International Conference on Dielectric Liquids ICDL 2005, Coimbra, Portugal, 26.06-01.07 2005, pp. 99-101.

[6] Boczar T., Zmarzły D.: „Optical Spectra of Surface Discharges in Oil”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, June issue Vol.13, No. 3, 2006, pp. 632-639.

[7] Boczar T., Frącz P., Zmarzły D. : „Analiza widma optycznego generowanego przez wyładowania elektryczne w oleju izolacyjnym”, Konferencja Naukowo-Techniczna, Transformatory w Eksploatacji, Sieniawa, 23-25.04.2003, str. 187-194.

[8] Boczar T., Frącz P., Zmarzły D.: „Analysis of the Light Radiation Spectra Emitted by Electrical Discharges in Insulation Oil”, Physics and Chemistry of Solid State, No 4, Vol. 4, 2003 Iwano-Frankivsk, Ukraina.

[9] Boczar T., Frącz P., Zmarzły D.: „Optical Spectra of Electrical Discharges Generated in Insulation Oil”, III International Symposium New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation, NEET'03, Zakopane, 13-16.05. 2003, pp. 37-39.

[10] Boczar T., Frącz P., Zmarzły D.: „Możliwości zastosowania spektrofotometrii optycznej w diagnostyce układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych”, Wiadomości Elektrotechniczne, 10. 2007.

[11] Boczar T., Frącz P., Zmarzły D.: „Widma optyczne wyładowań elektrycznych”, Zeszyt Specjalny Przeglądu Elektrotechnicznego, VII Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć IW 2004, Poznań, str. 19-22.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

**Zapraszamy do publikacji artykułów naukowych
w czasopiśmie PAK**

**WYDAWNICTWO POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
ul. Świętokrzyska 14A, pok. 530, 00-050 Warszawa,
tel./fax: 022 827 25 40**

**Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,
tel./fax: 032 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl**