

Paweł ZHUKOWSKI¹, **Jan SUBOCZ**², **Marek SZROT**³, **Tomasz N. KOŁTUNOWICZ**¹,
Miroslav GUTTEN⁴, **Milan SEBOK**⁴

¹ POLITECHNIKA LUBELSKA, KATEDRA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH I TECHNIKI WYSOKICH NAPIĘĆ, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin

² ZACHODNIOPOMORSKI UNIwersYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE, KATEDRA ELEKTROTECHNOLOGII I DIAGNOSTYKI,

ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

³ ENERGO-COMPLEX Sp. z o.o., ul. Lotników 9, 41-949 Piekary Śląskie

⁴ ZILINSKI UNIwersYTET W ZILINIE, KATEDRA MIERNICTWA I ELEKTROTECHNIKI STOSOWANEJ, ul. Univerzitna 1, 010 26 Zilina, Słowacja

Oszacowanie zawartości wilgoci w impregnowanym olejem izolacyjnym przespianiu na podstawie pomiarów konduktywności stałoprądowej

Dr hab. Paweł ZHUKOWSKI

Z wykształcenia fizyk ciała stałego. Habilitacja w 1992 roku na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Kierownik Katedry Urządzeń Elektrycznych i TWN Politechniki Lubelskiej. Zainteresowania naukowe: inżynieria materiałowa- szczególnie techniki jonowe w półprzewodnikach i nanomateriałach, materiały izolacyjne, urządzenia elektryczne.



e-mail: pawel@elektron.pol.lublin.pl

Prof. dr hab. inż. Jan SUBOCZ

Autor ponad 170 prac z zakresu elektrotechnologii, fizyki procesów relaksacyjnych w dielektrykach oraz diagnostyki urządzeń elektrycznych. Członek Komisji Nauk Elektrycznych o/Poznań PAN, PKME, SEP, IEEE. PKWSE/CIGRE.



e-mail: jan.subocz@zut.edu.pl

Dr inż. Marek SZROT

Autor ponad 40 prac naukowych z zakresu eksploatacji i diagnostyki transformatorów. Członek CIGRE.



e-mail: marek.szrot@energo-complex.pl

Dr inż. Tomasz Norbert KOŁTUNOWICZ

Urodził się w 1979 roku. Adiunkt w Katedrze Urządzeń Elektrycznych i TWN Politechniki Lubelskiej. Zajmuje się badaniami wpływu procesów technologicznych na właściwości elektryczne nanokompozytów i półprzewodników wytwarzanych technikami jonowymi.



e-mail: t.koltunowicz@pollub.pl

Dr hab. inż. Miroslav GUTTEN

Urodził się 1972 roku. Doktorat z elektroenergetyki obronił w 2002 roku, habilitację w 2008 roku. Obecnie profesor Uniwersytetu Zilińskiego. Główne zajęcia: działalność pedagogiczna, działalność naukowa - e-learning, nowe metody nauczania; diagnostyka i pomiary urządzeń elektrycznych (głównie transformatory); pomiary w elektrotechnice.



e-mail: miroslav.gutten@fel.uniza.sk

Dr inż. Milan SEBOK

Urodzony w 1960 roku. Doktorat z elektrotechniki teoretycznej obronił w 2007. Główne zajęcia: działalność pedagogiczna, działalność naukowa - e-learning, nowe metody nauczania; diagnostyka i pomiary urządzeń elektrycznych; pomiary w elektrotechnice.



e-mail: milan.sebok@fel.uniza.sk

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań zależności stałoprądowej konduktywności zawilgoconego impregnowanego olejem izolacyjnym przespianiu elektrotechnicznego od stopnia zawilgożenia i temperatury próbek. Ustalono, że przewodność odbywa się na drodze tunelowania elektronów pomiędzy studniami potencjału wytworzonymi przez molekuly wody umieszczone w strukturze celulozy. Opracowano nowy sposób określenia zawartości wilgoci w impregnowanym olejem izolacyjnym przespianiu elektrotechnicznym na podstawie pomiarów konduktywności stałoprądowej i temperatury izolacji.

Słowa kluczowe: przespian elektrotechniczny; zawartość wilgoci; konduktywność stałoprądowa; studnie potencjału; skokowa wymiana elektronów, temperatura izolacji.

The assessment of moisture content in pressboard impregnated with transformer oil on the base of DC conductivity measurements

Abstract

The paper presents measurements of time dependencies of current intensity in pressboard impregnated with transformer oil at various moisture content.

The measurements were taken at the electric field intensity equal to 10 V/m. Values of the DC conductivity for various moisture content at the measurement temperature 297 K and 318 K were estimated on the base of the current intensity values after longer periods of the current flow. Analysis of the dependency of the DC conductivity on the distance between water molecules, related to moisture content, led to the conclusion that the conductivity of moist pressboard impregnated with insulating oil was based on electrons tunneling between the closest water molecules – the so called hopping conductivity. On the base of the hopping conductivity formula, obtained from approximation of the experimental results, there was calculated a nomogram containing dependencies of the DC conductivity on the moisture content for the temperatures from 278 K to 348 K, with a 5 K step, which is the range of power transformer operation temperatures. The nomogram is the base of the new way of assessing the moisture content in electrotechnical pressboard impregnated with insulating oil, which allows estimation of moisture contents with measurements of DC conductivity and insulation temperature.

Keywords: pressboard, moisture content, DC conductivity, potential wells, hopping electron exchange, insulation temperature.

1. Wstęp

Celem danej pracy było zbadanie przewodności stałoprądowej zawilgoconego przespianu, impregnowanego olejem transformato-

rowym. Materiał ten jest szeroko stosowany do wytwarzania izolacji transformatorów energetycznych w postaci warstwowego układu papierowo-olejowego. Na izolację zwojową z reguły stosuje się papier elektrotechniczny, a przekładki i izolację międzyzwojową wykonuje się z preszpanu. Całość wraz z rdzeniem zanurzona jest w cieczy izolująco-chłodzącej, którą najczęściej jest mineralny olej transformatorowy. Jakość papierowo-olejowej izolacji w dużej mierze określa się z punktu widzenia zawartości wilgoci w celulozie. Bowiern, generalnie rzecz ujmując, w istotny sposób obniża ona niezawodność transformatorów, a w szeregu przypadkach może spowodować awarię oraz duże straty ekonomiczne.

Należy zaznaczyć, że większość wody, znajdującej się w transformatorze energetycznym, skupiona jest w papierze i preszpanie, gdzie jej stężenie jest ponad 1000 razy większe, niż w oleju transformatorowym [1]. Według obowiązującego w USA standardu przyjmuje się, że podwojenie zawilgocenia izolacji stałej powoduje dwukrotne obniżenie czasu jej życia, przy czym dla zawilgocenia większego niż 2,5% następuje przyspieszenie procesu degradacji celulozy [2].

W związku z powyższym istnieje potrzeba stosowania nieniszczących ekspresowych metod kontroli zawartości wilgoci w izolacji papierowo-olejowej. Jest to szczególnie istotne w państwach Europy, gdzie duży odsetek transformatorów znajduje się w eksploatacji dłużej niż założony przez projektantów czas pracy. Obecnie w tym celu stosowane są metody elektryczne, które opierają się na analizie procesów relaksacyjnych. Można je podzielić na dwie podstawowe grupy – metody wykorzystujące pomiary w dziedzinie czasu, wśród których można wymienić metody RVM (*return voltage measurement*) [3-5] i PDC (*polarization, depolarization current*) [6-8] oraz w dziedzinie częstotliwości - FDS (*frequency dielectric spectroscopy*) [5, 9, 10]. Oczywiście jest, że analiza wyników uzyskanych za pomocą metod elektrycznych powinna opierać się na zjawiskach fizycznych, które, po pierwsze, rzeczywiście zachodzą w zawilgoczonej celulozie, a po drugie są wystarczająco czułe na zmiany ilości wody.

W pracach [11-13] wykazano, że powszechnie stosowane obecnie metody RVM oraz FDS mają swoje ograniczenia i często są zawodne, zwłaszcza w przypadkach oznaczania zawilgocenia starszych transformatorów. Przyczyną tego efektu jest m.in. duży wpływ procesów nieliniowych oraz stosowanie do analizy procesów relaksacyjnych izolacji papierowo-olejowej uproszczonych modeli zjawisk [14].

W materiałach półprzewodnikowych znane są mechanizmy hoppingowego przewodnictwa elektrycznego, polegającego na przeskokach (tunelowaniu) elektronów pomiędzy sąsiednimi studniami potencjałów. Oparte na tym mechanizmie modele z dużą dokładnością opisują temperaturowe zależności przewodnictwa stałoprądowego [15], zmiennoprądowego [16-18] oraz relaksacji dielektrycznej materiałów.

Biorąc pod uwagę morfologiczną budowę celulozy, w impregnowanym zawilgoczonej preszpanie izolacji papierowo-olejowej mogą występować warunki do hoppingowej wymiany elektronów. Umieszczone w strukturze celulozy molekuly wody z punktu widzenia mechaniki kwantowej powinny tworzyć studnie potencjałów. Drugim warunkiem skokowej wymiany elektronów jest odpowiednie nakładanie się funkcji falowych elektronów, zlokalizowanych w sąsiednich studniach potencjału, co określane jest promieniem lokalizacji przeskakującego elektronu walencyjnego oraz odległością pomiędzy studniami.

Kierując się tymi przesłankami poniżej przedstawiono próbę zastosowania mechanizmu hoppingu elektronów do opisu stałoprądowego przewodnictwa impregnowanego olejem preszpanu o pewnej zawartości wilgoci. Bowiern wyjaśnienie procesu przewodnictwa oraz jego związków z molekulami wody może być teoretyczną podstawą opracowania nowej metody szacowania zawilgocenia izolacji papierowo-olejowej.

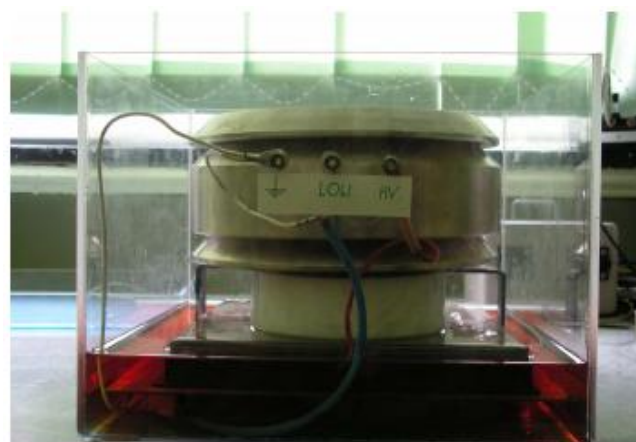
2. Obiekt badań i metoda pomiarów konduktywności stałoprądowej

W badaniach wpływu zawartości wilgoci na mechanizm przewodzenia stałoprądowego celulozy, impregnowanej olejem izolacyjnym, zastosowano preszpan elektrotechniczny typu T IV produkcji firmy Weidmann. Próbkę o wymiarach 215×215 mm² o grubości 1 lub 2 mm suszono w komorze próżniowej w temperaturze 353 K do ustalenia się ich masy. Po tym metodą KFT wyznaczono resztkową zawartość wilgoci we wszystkich próbkach. Zawierała się ona w granicach $x = 0,55 \pm 0,6\%$ wag. Kolejnym etapem było nasycanie próbek wilgocią zawartą w powietrzu atmosferycznym. Proces ten przebiegał w temperaturze pokojowej $T = 295$ K, przy względnej wilgotności powietrza w granicach $\zeta = 65 \div 75\%$. Jednocześnie kontrolowano wagę próbek, aż do osiągnięcia zakładanego nasycenia wilgocią. Następnie wszystkie próbki impregnowano olejem izolacyjnym w komorze klimatycznej przez 72 godziny w temperaturze $T = 348$ K przy wilgotności względnej powietrza $\zeta = 15\%$. W tym procesie następowało również wyrównanie rozkładu wilgoci w objętości preszpanu. Dla odwzorowania realnych warunków pracy izolacji papierowo-olejowej do impregnacji zastosowano eksploatowany, wirowany olej Nytro-Taurus firmy Nynas. Jego właściwości podano w tabeli 1. W procesie impregnacji masa oleju nie przewyższała dziesięciokrotnej masy preszpanu.

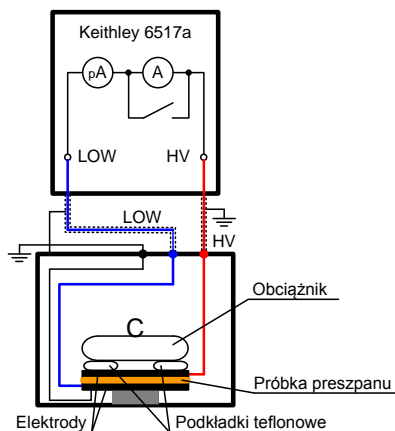
Tab. 1. Właściwości oleju izolacyjnego użytego do impregnacji próbek
Tab. 1. Properties of insulating oil used for samples impregnation

Lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość	Metoda
1	Napięcie przebicia	[kV]	> 60	IEC 60156
2	Rezystywność przy 90°C	[Ω m]	$5 \cdot 10^{11}$	IEC 60247
3	Zawilgocenie	[ppm]	17	IEC 60814
4	Tangens δ	-	0,0041	IEC 60247
5	Liczba kwasowa	[mgKOH/g]	0,03	ASTM D974

Trzyelektrodowy układ elektrod z próbką (rys. 1) umieszczono w kąpeli olejowej w komorze klimatycznej o temperaturze stabilizowanej z dokładnością $\pm 0,1$ K i podłączono do układu pomiarowego przedstawionego na rysunku 2.



Rys. 1. Widok układu elektrod pomiarowych
Fig. 1. View of the measurement electrodes



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

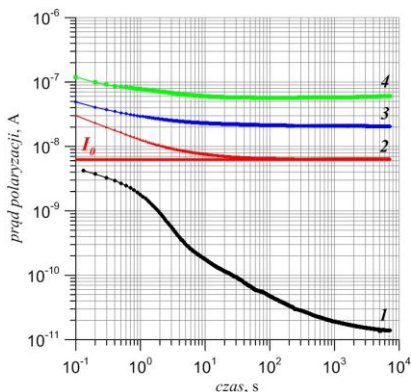
Fig. 2. Schematic diagram of the measurement setup

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zależności czasowe natężenia prądu, płynącego przez impregnowany olejem transformatorowym preszpan, zmierzone w temperaturze 318 K dla różnych zawartości wilgoci. Podobne zależności uzyskano dla temperatury 297 K. Badania przeprowadzono przy natężeniu pola elektrycznego $E = 10$ kV/m. Konduktywność próbek wyznaczano ze wzoru:

$$\sigma = \frac{i_0}{SE}, \quad (1)$$

gdzie: i_0 – ustalona wartość natężenia prądu, E – natężenie pola elektrycznego, S – pole powierzchni elektrody pomiarowej.

Sposób wyznaczenia wartości i_0 pokazano na rysunku 3 dla jednej z charakterystyk prądu polaryzacyjnego.

Rys. 3. Charakterystyki PDC impregnowanego olejem preszpanu dla różnych zawartości wilgoci: 1 – 1,8% wag., 2 – 3,2% wag., 3 – 4,0% wag., 4 – 5,1% wag. Temperatura pomiaru $T=318$ KFig. 3. PDC characteristics of the oil impregnated pressboard with different moisture content: 1 – 1.8% weight, 2 – 3.2% weight, 3 – 4.0% weight, 4 – 5.1% weight. Measurement temperature $T=318$ K

3. Analiza wyników pomiarów konduktywności stałoprądowej

Jak wykazano w pracy [19], w przypadku tunelowania elektronów pomiędzy najbliższymi położonymi studniami potencjału występuje bardzo silna (eksponencjalna) zależność konduktywności od koncentracji studni potencjałów N_0 . Wzór na konduktywność można zapisać w tym przypadku w postaci [20]:

$$\sigma(X) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\beta r}{R_0} - \frac{\Delta E}{kT}\right), \quad (2)$$

gdzie: r – średnia odległość pomiędzy studniami potencjału; R_0 – promień lokalizacji funkcji falowej elektronu walencyjnego; β – współczynnik liczbowy, wartość którego $\beta \approx 2$, ΔE – energia aktywacji, k – stała Boltzmann.

Wartości β i R_0 wpływają na szybkość spadania funkcji falowej elektronu walencyjnego według zależności:

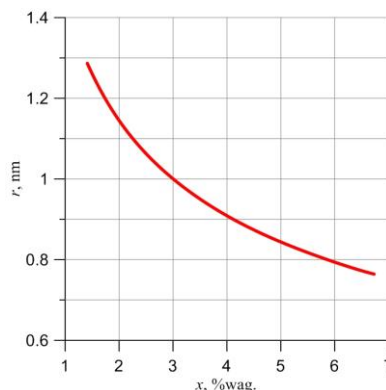
$$\Psi \sim \exp\left(-\frac{\beta r}{R_0}\right). \quad (3)$$

Zakładając, że studniami potencjału pomiędzy którymi odbywają się przeskoki elektronów w preszpanie są rozmieszczone w sposób losowy molekuly wody, średnia odległość pomiędzy nimi r jest związana z koncentracją molekuł wody N_0 i można ją przedstawić w postaci:

$$r \cong N_0^{-\frac{1}{3}} = \left(\frac{X \cdot \rho}{100 \cdot u \cdot M_{H_2O}}\right)^{-\frac{1}{3}}, \quad (4)$$

gdzie: $\rho \approx 1000$ kg·m⁻³ – gęstość masy preszpanu; $M_{H_2O} = 18$ – masa molekularna wody; $u = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg – atomowa jednostka masy; X – zawartość wilgoci, % wag.

Ze wzoru (4) można obliczyć średnie odległości pomiędzy molekułami wody dla różnych zawartości x . Na rysunku 4 przedstawiono wyniki tych obliczeń w postaci zależności odległości pomiędzy molekułami wody od zawartości wilgoci X w preszpanie.

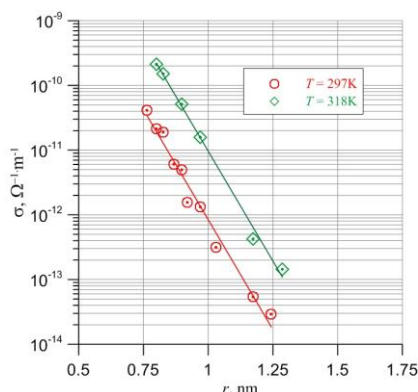
Rys. 4. Obliczona ze wzoru (4) zależność odległości r pomiędzy molekułami wody w preszpanie od stopnia zawilgocenia X Fig. 4. Dependency of the distance between water molecules r on the water content X in pressboard calculated from Eq. (4)

Obserwacja zmian funkcji (2) względem odległości r jest warunkiem dostatecznym do stwierdzenia występowania w badanej próbce przewodności hoppingowej [19]. Pozwala ona również na określenie, po uwzględnieniu doświadczalnie zmierzonych wartości σ_0 , promienia lokalizacji R_0 . Weryfikacja tej zależności polega na wykreśleniu przebiegu doświadczalnie zmierzonych wartości we współrzędnych $\{\log \sigma, r\}$:

$$\log \sigma (T = \text{const}) \propto -\frac{\beta}{R_0} \left(\frac{X \cdot \rho}{100 \cdot u \cdot M_{H_2O}}\right)^{-\frac{1}{3}} = -\frac{\beta r}{R_0}. \quad (5)$$

Jak widać ze wzoru (5), w przypadku występowania eksponencjalnej funkcji typu (2), jej zmiany we współrzędnych $\{\log \sigma, r\}$ powinny być malejącą funkcją liniową. Tak więc jej liniowa aproksymacja pozwala na wyznaczenie wartości współczynnika $\frac{\beta}{R_0}$, który wchodzi do wzoru na szybkość spadania funkcji falowej elektronu walencyjnego (3).

Na rysunku 5 przedstawiono we współrzędnych $\{\log\sigma, r\}$ doświadczalne zmierzone wartości przewodnictwa dla temperatury 297 K i 318 K oraz wyniki ich aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów.



Rys. 5. Zależność kondukcyjności stałoprądowej od średniej odległości pomiędzy molekułami wody r dla temperatur pomiarowych 297 K i 318 K
Fig. 5. Dependency of the DC conductivity on the distance between water molecules r for temperatures 297 K and 318 K

Jak widać z rysunku 5, zależności te są malejącymi funkcjami liniowymi o jednakowym, w granicach błędu, nachyleniu odpowiednio $\frac{\beta}{R_0} = 15,666$ oraz $\frac{\beta}{R_0} = 15,635$ dla temperatury 297 K i 318 K. Współczynniki determinacji wynoszą odpowiednio 0,979 i 0,994. Zatem wzory opisujące zmiany przewodnictwa stałoprądowego w zależności od średniej odległości pomiędzy molekułami wody r dla temperatury $T_1 = 297$ K i $T_2 = 318$ K mają odpowiednio postać:

$$\log \sigma(T_1) = -15,666r - 12,137, \quad (6)$$

oraz

$$\log \sigma(T_2) = -15,635r - 9,732. \quad (7)$$

Wyznaczona ze wzorów (6) i (7) wartość promienia lokalizacji elektronu walencyjnego wynosi ok. $R_0 = 0,128$ nm. Uwzględniając wpływ temperatury na wartość przewodnictwa ze wzoru (2) można wyznaczyć zależność na energię aktywacji w postaci:

$$\Delta E = \frac{k \ln \frac{\sigma(T_2)}{\sigma(T_1)}}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}. \quad (8)$$

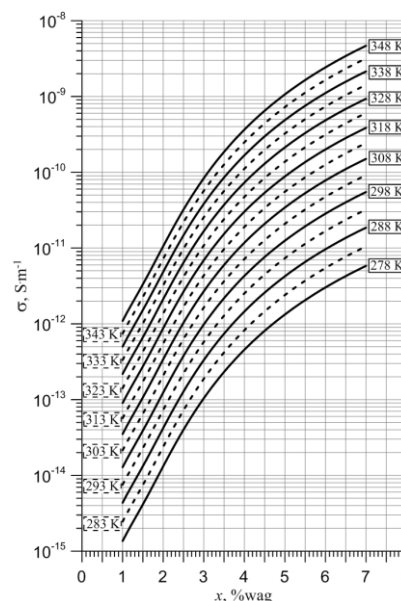
Podstawiając do wzoru (8) obliczone ze wzorów (6) i (7) wartości $\sigma(T_1)$ oraz $\sigma(T_2)$, wyznaczono wartość energii aktywacji $\Delta E \approx (0,850 \pm 0,0783)$ eV.

Wyżej wykonana analiza wyników doświadczalnych, przedstawionych na rysunku 5, jednoznacznie potwierdza słuszność przyjętego założenia o przewodzeniu zawilgoconego impregnowanego olejem izolacyjnym preszpanu na drodze tunelowania elektronów pomiędzy najbliższymi położonymi molekułami wody (mechanizm hoppingowy).

4. Nowy sposób wyznaczenia zawilgocenia izolacji papierowo – olejowej

Stosując wartości σ_0 , $\frac{\beta}{R_0}$ oraz ΔE , uzyskane z aproksymacji doświadczalnie zmierzonych zmian kondukcyjności, za pomocą

wzoru (2) obliczono zależności $\sigma(X)$ dla temperatury w przedziale 278 ÷ 348 K z krokiem 5 K, to znaczy w zakresie roboczej temperatury izolacji transformatorów energetycznych. Uzyskany nomogram przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zależności kondukcyjności stałoprądowej impregnowanego olejem preszpanu od zawartości wody dla różnej temperatury
Fig. 6. Dependencies of the DC conductivity on the moisture content for oil impregnated pressboard at different temperatures

5. Podsumowanie

Opracowano nowy sposób określenia zawilgocenia izolacji stałej transformatorów energetycznych, który polega na pomiarach stałoprądowej kondukcyjności izolacji transformatora oraz jej temperatury, a następnie na podstawie uzyskanych wartości oszacowaniu zawilgocenia izolacji stałej na podstawie opracowanego w pracy nomogramu. Szacunki wartości niepewności pomiarowej zawilgocenia wykazały, że nie przekracza ona 15% od wartości zawilgocenia.

6. Literatura

- [1] Oommen T.V.: Moisture Equilibrium in Paper Oil Systems. Proceedings of the 16th Electrical/Electronics Insulation Conference. Chicago, October 3-6, 1983.
- [2] Facilites Instructions, Standards and Techniques. Vol. 3-31, Transformer Diagnostics. US Department of The Interior Bureau of Reclamation, 2003.
- [3] Csepes G., Hamos I., Brooks R., Karius V.: Practical foundations of the RVM (recovery voltage method for oil/paper insulation diagnosis). In Proc. Ann. Rep. Conf. Elect. Insulation Dielectric Phenomena, vol. 1, Atlanta, USA, 1998, p. 345-355.
- [4] Saha T.: Review of Time-Domain Polarization Measurements for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers. IEEE Trans. on Power Delivery, 18 No. 4, 2003, p. 1293-1300.
- [5] Zaengl W.S.: Applications of Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain for HV Power Equipment, IEEE Electrical Insul. Magazine, 19 No. 6, 2003, p. 9-22.
- [6] Leibfried T., Kachler A.J.: Insulation Diagnostics on Power Transformers using the Polarisation and Depolarisation Current (PDC) Analysis. Proc. of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA USA, April 7-10, 2002, p. 170-173.
- [7] Subocz J.: Eksploatacyjne pomiary PDC w izolacji transformatorów. Przegląd Elektrotechniczny, Konferencje, 81 nr 1k, 2005, s. 261-264.
- [8] Saha T.K., Purkait P.: Investigation of Polarization and Depolarization Current Measurements for the Assessment of Oil-paper Insulation of

- Aged Transformers. IEEE Trans. on Dielect. Electr. Insulation, 11 No. 1, 2004, p. 144-154.
- [9] Blennow J., and all.: Field Experiences With Measurements of Dielectric Response in Frequency Domain for Power Transformer Diagnostics. IEEE Trans. Pow. Deliv., 21, 2006, p. 681-688.
- [10] Kumar A.R., Kumar C.H.S., Rajan J.S., Singh K.P.: Characteristics of paper oil insulation by PDC/FDS method. International Conference on Power and Energy Systems (ICPS), Chennai, China, 22-24 December 2011.
- [11] Szrot M., Subocz J.: Diagnostyka zawilgocenia transformatorów z zastosowaniem pomiaru „RVM+PDC”. Pomiary Automatyka Kontrola, 54 nr 11, 2008, s. 777-779.
- [12] Szrot M., Subocz J.: Szacowanie zawilgocenia izolacji papierowo-olejowej o zaawansowanym procesie starzenia. Przegląd Elektrotechniczny, 86 nr 11b, 2010, s. 170-173.
- [13] Subocz J.: Procesy dielektryczne w preszpanie o dużym zawilgoceniu. Przegląd Elektrotechniczny, 86 nr 11b, 2010, s. 146-149.
- [14] Subocz J.: Przewodnictwo i relaksacja dielektryczna warstwowych układów izolacyjnych. Wydawnictwo ZUT, Szczecin, 2012.
- [15] Mott N.F., Davis E.A.: Electron Processes in Non-Crystalline Materials. Clarendon Press. Oxford, 1979.
- [16] Żukowski P., Kołtunowicz T., Partyka J., Węgierek P., Komarov F.F., Mironov A.M., Butkiewith N., Freik D.: Dielectric Properties and Model of Hopping Conductivity of GaAs Irradiated by H+ Ions, Vacuum, 81, 2007, p. 1137-1140.
- [17] Żukowski P., Kołtunowicz T., Partyka J., Węgierek P., Kolasik M., Larkin A.V., Fedotova J.A., Fedotov A.K., Komarov F.F., Vlasukova L.A.: Model przewodności skokowej i jego weryfikacja dla nanostruktur wytwarzanych technikami jonowymi. Przegląd Elektrotechniczny, 84 No 3, 2008, p. 247-249.
- [18] Zhukowski P., Kołtunowicz T.N., Fedotova J.A., Larkin A.V.: An effect of annealing on electric properties of nanocomposites (CoFeZr)_x(Al₂O₃)_{1-x} produced by magnetron sputtering in the atmosphere of argon and oxygen beyond the percolation threshold. Przegląd Elektrotechniczny, 86 No 7, (2010), p. 157-159.
- [19] Shklovsky B.I., Efros A.L.: Electronic properties of doped semiconductors. Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [20] Ravich Yu.I., Nemov S.A.: Hopping conduction via strongly localized impurity states of indium in PbTe and its solid solutions. Semiconductors, 36 No 1, 2002, p. 1-20.

otrzymano / received: 26.11.2012

przyjęto do druku / accepted: 02.01.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczane:

- spis treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.

Tadeusz SKUBIS

Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK

Nowy dział „Niepewność wyników pomiarów” na stronie internetowej Wydawnictwa PAK

Upriejmie informuję, że na stronie internetowej Wydawnictwa PAK (WWW.pak.info.pl) został utworzony dział „Niepewność wyników pomiarów”. Na p.o. redaktora działu został powołany dr inż. Paweł Fotowicz.

Dr P. Fotowicz jest ekspertem w zakresie problematyki niepewności, autorem szeregu wartościowych publikacji w czasopiśmie krajowych i zagranicznych. Prezentował swoje prace na licznych konferencjach i warsztatach szkoleniowych.

W dziale „Niepewność wyników pomiarów”, obok dostępu do aktualnych wybranych opracowań dotyczących niepewności jest możliwość zadawania „Pytań do eksperta”. Pytania powinny być konkretne i szczegółowo sprecyzowane.

Pytania i odpowiedzi o istotnym znaczeniu dla szerszego grona metrologów będą archiwizowane i dostępne dla użytkowników strony internetowej Wydawnictwa PAK. Zapraszam do odwiedzania działu „Niepewność wyników pomiarów” i do udziału w jego rozwoju.

Tadeusz SKUBIS

Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK