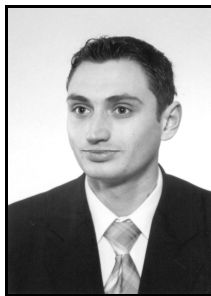


Jarosław SZYMAŃSKI, Andrzej GRACZKOWSKI, Hanna MOŚCICKA-GRZESIAK
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

Interpretacja spektrum napięcia powrotnego obiektów o dużej niejednorodności zawilgocenia

Mgr inż. Jarosław SZYMAŃSKI

Doktorant na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Autor ponad 20 publikacji z zakresu diagnostyki układów izolacyjnych transformatorów energetycznych.



e-mail: jaroslawszymanski@wp.pl

Dr inż. Andrzej GRACZKOWSKI

Adiunkt na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej, Pracownik Instytutu Elektroenergetyki. Autor ponad 60 publikacji z zakresu materiałoznawstwa elektrotechnicznego, diagnostyki wysokonapięciowych urządzeń elektroenergetycznych, spektroskopii dielektrycznej, rozkładu pola elektrycznego przy napięciu stałym w kablu.



e-mail: andrzej.graczkowski@put.poznan.pl

Prof. dr hab. inż. Hanna MOŚCICKA-GRZESIAK

Profesor zwyczajny na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Wieloletni kierownik Zakładu Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych. Autorka ponad 150 publikacji z zakresu badań materiałowych, badań i diagnostyki wysokonapięciowych układów izolacyjnych. Promotor dwudziestu prac doktorskich. Członek IEEE, Komitetu Elektrotechniki PAN oraz koordynator i kierownik międzynarodowych i krajowych projektów badawczych.



e-mail: hanna.moscicka@put.poznan.pl

Streszczenie

W ciągu ostatnich lat pojawiły się opinie, że wynik oceny zawilgocenia otrzymany przy użyciu metody RVM jest często zawyżony w stosunku do wyników uzyskanych przy wykorzystaniu pozostałych metod. Autorzy sugerują, że jedną z przyczyn rozbieżności wyników oceny zawilgocenia, może być niejednorodność zawilgocenia izolacji. Wykonano badania oraz analizę spektrum napięcia powrotnego rozbudowanego laboratoryjnego modelu izolacji niejednorodnie zawilgoconej. Otrzymane wyniki odniesiono do wyników badań transformatorów energetycznych pracujących w polskim systemie energetycznym.

Słowa kluczowe: spektrum napięcia powrotnego, niejednorodność zawilgocenia izolacji.

Interpretation of recovery voltage spectrum of object of considerable moisture inhomogeneity

Abstract

There is a considerable amount of controversy concerning proper results interpretation, particularly in reference to the RVM method. There is opinion that results of moisture content evaluation obtained using RVM methods are relatively higher than results obtained using another methods. Authors suggest that one of the reasons of result differences can be moisture inhomogeneity of insulation. Authors investigated and analysed the recovery voltage spectrum of a complex laboratory model of inhomogeneity insulation. The results of this research are presented in this paper. The results were also referred to the results of dielectric response investigations of the power transformers. The recovery voltage spectra of this unit's insulation were a non typical. The interpretation of the dielectric response in those cases was very difficult.

Keywords: recovery voltage spectrum, moisture inhomogeneity of insulation.

1. Wstęp

Bardzo duża populacja jednostek pracuje w polskim systemie ponad 30 lat, co oznacza że przekroczyła wiek, który odpowiada okresowi ich życia technicznego. Względy ekonomiczne skłaniają

jednak do jak najdłuższego eksploataowania tak kosztownych urządzeń, dlatego transformatory te nadal z powodzeniem są wykorzystywane w systemie energetycznym. Z punktu widzenia racjonalnego zarządzania majątkiem sieciowym wycofanie z systemu dużych, bardzo drogich transformatorów energetycznych i ich złomowanie powinno nastąpić jedynie w oparciu o stan techniczny, a nie wiek transformatora, dlatego coraz większą uwagę przywiązuje się do poprawnej diagnostyki ich układu izolacyjnego.

Jednym z poważniejszych problemów eksploatacyjnych transformatorów jest zawilgocenie układu izolacyjnego. Wysoki poziom zawilgocenia, szczególnie w warunkach podwyższonej temperatury pracy, może prowadzić do degradacji izolacji celulozowej i awarii jednostki spowodowanej wystąpieniem zjawiska gwałtownego wydzielenia się pary wodnej (z ang. *bubble effect*) [1-3].

W ciągu ostatnich lat nastąpił wzrost zainteresowania metodami diagnostycznymi, służącymi do oceny poziomu zawilgocenia izolacji papierowo-olejowej. Oprócz tradycyjnych metod fizykochemicznych pojawiły się nowe metody - polaryzacyjne, oparte na analizie tzw. odpowiedzi dielektrycznej [4-6].

Najstarszą i najbardziej rozpowszechnioną, spośród polaryzacyjnych metod oceny zawilgocenia izolacji papierowo-olejowej, jest metoda oparta na analizie spektrum napięcia powrotnego (RVM). Metoda ta polega na wyznaczeniu spektrum polaryzacyjnego badanej izolacji, przy określonej temperaturze. Podstawowym parametrem spektrum napięcia powrotnego jest tak zwana dominująca stała czasowa, określana jako czas ładowania, przy którym występuje maksimum spektrum. W standardowym programie, w analizie spektrum napięcia powrotnego, wartość dominującej stałej czasowej w danej temperaturze powiązано z zawilgoceniem izolacji celulozowej [7].

Na przełomie ostatnich kilku lat pojawił się szereg kontrowersji dotyczących poprawności interpretacji spektrum napięcia powrotnego oraz wyznaczania zawilgocenia przy wykorzystaniu tej metody. Spotyka się opinie, że metoda RVM daje zwykle wynik zawyżony w stosunku do rzeczywistego zawilgocenia lub do wyniku oceny zawilgocenia otrzymanego przy wykorzystaniu pozostałych metod. W spektrum polaryzacyjnym badanej izolacji często pojawia się kilka maksimów, co może sprawiać trudności interpretacyjne.

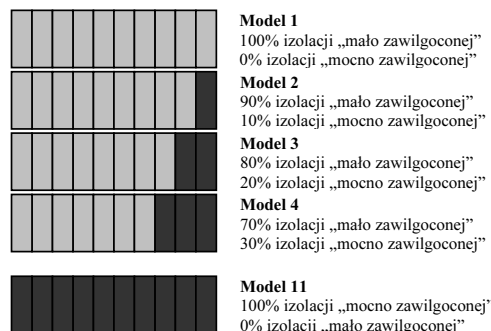
Jedną z przyczyn trudności interpretacyjnych może być rozkład zawilgocenia, występujący w rzeczywistym układzie izolacyjnym transformatora energetycznego na skutek wielu ściśle ze sobą powiązanych procesów.

2. Badania spektrum napięcia powrotnego laboratoryjnego modelu izolacji o znacznym stopniu niejednorodności zawilgocenia

Laboratoryjny model izolacji niejednorodnie zawilgoconej

Zamodelowanie niejednorodnie zawilgoconej izolacji wymagało stworzenia w warunkach laboratoryjnych złożonego obiektu

o zróżnicowanym w przestrzeni stopniu zawilgożenia. Przyjęto, że izolacja niejednorodnie zawilgożona składa się z połączonych obszarów o różnym poziomie zawilgożenia. Obiekt, przedstawiony na rysunku 1, składający się z dziesięciu elementów, pozwalał na zapewnienie stosunku ilościowego izolacji mniej zawilgożonej do bardziej zawilgożonej zmieniającego się od 10/0, poprzez 9/1, 8/2, 7/3 aż do 0/10.



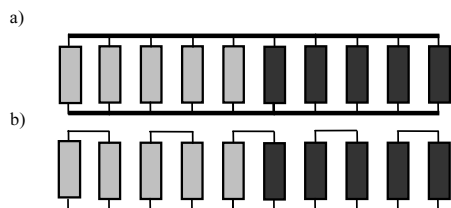
Rys. 1. Schematy blokowe złożonych obiektów badań o różnym zawilgożeniu części składowych

Fig. 1. Block diagram of complex test objects consist of component parts of different moisture content

Poszczególnymi elementami składowymi złożonych obiektów badań były zaprojektowane i wykonane związki z elektrodami z folii aluminiowej oraz z izolacją z papieru nawojowego. Wykonano 20 identycznych związek, charakteryzujących się jednakową pojemnością geometryczną.

W celu uzyskania znacznej różnicy zawilgożenia związki umieszczone w dwóch kontenerach, zalane olejem (łącznie 10 sztuk), poddano procesowi suszenia w warunkach próżni. W końcowym etapie wszystkie związki zamknięte w szczelnych kontenerach poddano długotrwałemu procesowi kondycjonowania w celu zapewnienia stanu równowagi termodynamicznej. Uzyskano w ten sposób dwie grupy związek po 10 sztuk znacznie różniące się poziomem zawilgożenia. Grupę związek suszonych przyjęto nazywać izolacją „mało zawilgożoną”, natomiast grupę niesuszonych związek, charakteryzującą się znacznym poziomem zawilgożenia, izolacją „mocno zawilgożoną”.

Rozpatrując układ izolacyjny transformatora można stwierdzić, że niejednorodność zawilgożenia może wystąpić zarówno wzdłuż jak i w poprzek izolacji, a co za tym idzie, z elektrycznego punktu widzenia, obszary o różnym zawilgożeniu mogą być połączone równolegle, bądź szeregowo (rys. 2). Postanowiono oddzielnie przeanalizować zawilgożenie w układzie symulującym niejednorodność zawilgożenia występującą w kierunku osiowym i promieniowym.

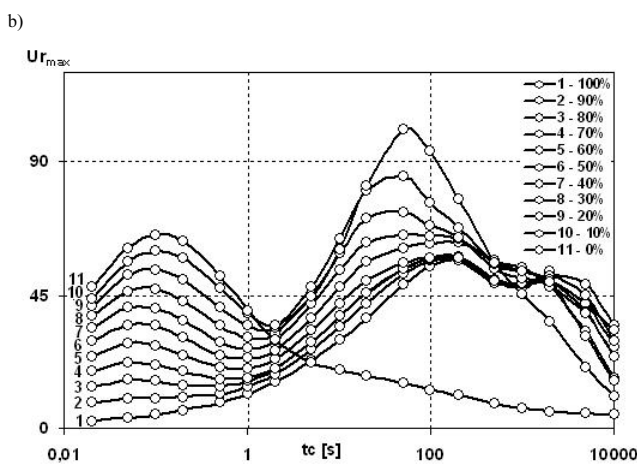
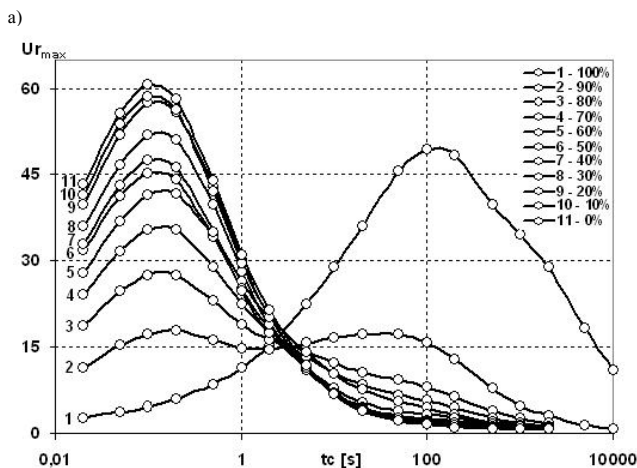


Rys. 2. Przykładowy model izolacji papierowo-olejowej niejednorodnie zawilgożonej w kierunku osiowym (a); w kierunku promieniowym (b)
Fig. 2. Example model of oil-paper insulation of moisture inhomogeneity in axial direction (a); in radial direction (b)

Pomiary odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie czasu wykonano przy użyciu miernika napięcia powrotnego RVM typu 5462. Analizę uzyskanych wyników wykonano przy użyciu standardowego programu *RVM Data Analysis*.

Wyniki badań i ich interpretacja

Na rysunku 3a przedstawiono rodzinę charakterystyk spektrum napięcia powrotnego modelu izolacji o znacznym stopniu niejednorodności zawilgożenia w kierunku osiowym, przy różnym procentowym udziale izolacji „mało zawilgożonej” w modelu.



Rys. 3. Spektra polaryzacyjne modelu izolacji niejednorodnie zawilgożonej w kierunku promieniowym (a); w kierunku osiowym (b), przy różnym procentowym udziale izolacji „mało zawilgożonej” w modelu

Fig. 3. Polarization spectra of insulation model of moisture inhomogeneity in axial direction (a); in radial direction (b), for different percentage of dry insulation in model

Spektrum polaryzacyjne modelu izolacji jednorodnej „mało zawilgożonej” (10 związek „mało zawilgożonych” połączonych równolegle), podobnie jak spektrum izolacji jednorodnej „mocno zawilgożonej” (10 związek „mocno zawilgożonych” połączonych równolegle) posiada jedno maksimum. Dla izolacji „mało zawilgożonej” wartość stałej czasowej wynosi ponad 100 sekund, podczas gdy dla izolacji „mocno zawilgożonej” jedynie 0,1 sekundy. W przypadku modelu, w którym procentowy udział izolacji „mało zawilgożonej” wynosił 90%, natomiast izolacji „mocno zawilgożonej” jedynie 10% w spektrum napięcia powrotnego pojawiły się dwa maksima. Czas wystąpienia pierwszego z maksimów pokrywa się z dominującą stałą czasową spektrum napięcia powrotnego modelu izolacji o gorszych parametrach. Czas ładowania, przy którym w spektrum występuje drugie maksimum jest mniejszy od stałej czasowej modelu izolacji „mało zawilgożonej”. W spektrum polaryzacyjnym modeli, w których procentowy udział izolacji „mocno zawilgożonej” wynosił od 20% do 90% można zaobserwować już tylko jedno maksimum. Czas jego wystąpienia odpowiada dominującej stałej czasowej modelu izolacji „mocno zawilgożonej”. Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, że zwiększanie w modelu procentowego udziału izolacji „mocno

zawilgoconej” powoduje jedynie zwiększenie wartości maksymalnej napięcia powrotnego, natomiast nie powoduje zmiany dominującej stałej czasowej układu. Oznacza to, że nawet przy niewielkim – dziesięcioprocentowym udziale izolacji o złych parametrach, wartość zawilgocenia modelu izolacji, wyznaczona przy pomocy standardowej analizy spektrum polaryzacyjnego wskazuje lokalną, maksymalną wartość wilgoci w papierze.

Na rysunku 3b przedstawiono widma polaryzacyjne modelu izolacji niejednorodnie zawilgoconej w kierunku promieniowym, przy różnym procentowym udziale izolacji „mało zawilgoconej” w modelu. Spektrum napięcia powrotnego modelu izolacji jednorodnej, zawierającej 10 „mało zawilgoconych” zwińek połączonych szeregowo, podobnie jak spektrum obiektu składającego się z 10 „mocno zawilgoconych” zwińek połączonych szeregowo, posiada jedno maksimum. Spektrum polaryzacyjne modelu zawierającego 90% izolacji „mało zawilgoconej” i 10% izolacji „mocno zawilgoconej” posiada, podobnie jak modele izolacji jednorodnej, jedno maksimum. Czas jego wystąpienia odpowiada dominującej stałej czasowej modelu jednorodnej „mało zawilgoconej” izolacji. W przypadku modeli o jakościowo różnej izolacji części składowych, w których zawartość izolacji „mocno zawilgoconej” jest równa lub większa od 20%, w spektrum polaryzacyjnym szeregowo połączonych zwińek można zaobserwować pojawienie się dwóch maksimów. Czas wystąpienia pierwszego z maksimów odpowiada dominującej stałej czasowej modelu jednorodnej „mocno zawilgoconej” izolacji i nie zależy od procentowego udziału izolacji o złych parametrach. Drugie ekstremum występuje przy dłuższych czasach ładowania, a czas jego wystąpienia zmienia się wraz ze zmianą stosunku objętości izolacji dobrej do złej. Warto zwrócić uwagę, że zmiana stosunku objętości izolacji o różnych parametrach wpływa na wartość maksymalną charakterystyki spektrum polaryzacyjnego. Wzrost procentowego udziału izolacji o gorszych parametrach w modelu powoduje zwiększenie wartości maksymalnej napięcia powrotnego.

3. Ocena zawilgocenia izolacji wybranych transformatorów energetycznych w świetle badań modelowych

3.1. Obiekty badań i metodyka badań

W okresie od 01.02.2003 do 31.01.2006 zespół Politechniki Poznańskiej realizował międzynarodowy projekt badawczy „Reliable diagnostics of HV transformer insulation for safety assurance of power transmission system”, akronim *REDIATOO*L. Jednym z efektów prac wykonanych w ramach projektu jest obszerna baza danych zawierająca kompleksowo zebrane informacje o badanych jednostkach, wyniki pomiarów i analizę odpowiedzi dielektrycznej (*FDS*, *RVM*) oraz analizę fizykochemiczną pobranych próbek oleju, pozwalające na wnioskowanie o stanie izolacji każdej przebadanej jednostki. W późniejszym czasie baza ta została powiększona o wyniki badań realizowanych na potrzeby polskiego operatora [8].

W przypadku kilku badanych jednostek, opisanych w bazie danych, ocena stopnia zawilgocenia ich izolacji jest bardzo trudna. Istnieje znaczna rozbieżność w wynikach oceny stopnia zawilgocenia izolacji otrzymywanych przy użyciu różnych metod. Krzywe odpowiedzi dielektrycznej w tych przypadkach odbiegają od charakterystyk wzorcowych, a ich analiza sprawia wiele trudności.

Spśród obszernej bazy danych wybrano i przeanalizowano wyniki pomiarów odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie czasu i częstotliwości izolacji przykładowych jednostek oraz wyniki analizy fizykochemicznej pobranych próbek oleju. Odpowiedź dielektryczną w postaci spektrum polaryzacyjnego jednostki odniesiono do wyników badań przeprowadzonych na modelach laboratoryjnych izolacji, przedstawionych w artykule.

W celu określenia poziomu zawilgocenia izolacji stałej badanych jednostek wyznaczono ich odpowiedź dielektryczną w dziedzinie częstotliwości (przy użyciu systemu pomiarowego *IDA 200*) oraz w dziedzinie czasu (przy użyciu miernika napięcia

powrotnego typu *RVM 5462*). Dodatkowo, w celu wyznaczenia zawilgocenia izolacji przy użyciu pośredniej metody Karla Fischera, z kadzi transformatora pobrano próbki oleju. Próbki te zostały poddane analizie fizykochemicznej w Laboratorium Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych Politechniki Poznańskiej.

3.2. Wyniki badań i ich interpretacja

Pierwszym analizowanym przypadkiem jest autotransformator AT-1 wyprodukowany w 1970 roku o poziomach napięcia znamionowego 230/120/10,5 kV.

Analiza fizykochemiczna pobranych próbek oleju wykazała różny poziom zawilgocenia w zależności od miejsca pobrania danej próbki oleju. W tabeli 1 zebrano wyniki pomiaru temperatury i zawilgocenia oleju. W tablicy tej umieszczono również wyniki oceny zawilgocenia izolacji stałej przy wykorzystaniu metody pośredniej Karla Fischera, dokonanej w oparciu o krzywe równowagi termodynamicznej różnych badaczy.

Analizując wyniki pomiaru temperatury oraz zawilgocenia oleju pobranego z różnych miejsc autotransformatora można spodziewać się wystąpienia niejednorodności zawilgocenia izolacji wewnątrz autotransformatora. Olej pobrany z górnej części jednostki wykazuje największą zawartość wody. Analizując wyniki oceny zawilgocenia izolacji stałej, przy użyciu fizykochemicznych metod pośrednich, można stwierdzić, że w dolnych partiach izolacja papierowa jest bardziej zawilgocona w stosunku do pozostałych obszarów izolacji.

Tab. 1. Wyniki oceny zawilgocenia izolacji autotransformatora AT-1 [8]

Tab. 1. Results of moisture content evaluation of autotransformer AT-1 insulation [8]

Miejsce pobrania próbki	Dół	Środek	Góra
Temperatura [°C]	22,5	30,8	33,8
Zawartość wody [ppm]	14,1	13,8	15,7
Zawilgocenie izolacji stałej wyznaczone przy wykorzystaniu krzywych równowagi [%]			
Krzywe Oommenna	4,3	3,5	3,6
Krzywe Griffina	>5	4,7	4,7
IEEE std 62-1995	1,7	1,3	1,2

Wyniki oceny zawilgocenia izolacji stałej oparte na krzywych równowagi termodynamicznej różnych badaczy znacznie od siebie odbiegają. Stan równowagi termodynamicznej pomiędzy zawartością wody w papierze i w oleju zachodzi w bardzo długim czasie, w niezmiennych warunkach temperaturowych. W pracujących w różnych warunkach jednostkach stan ten nie zostaje osiągnięty. Trudno zatem dokonać jednoznacznej i pewnej oceny zawilgocenia izolacji stałej jednostki opierając się na wynikach pomiaru zawartości wody w oleju i krzywych równowagi.

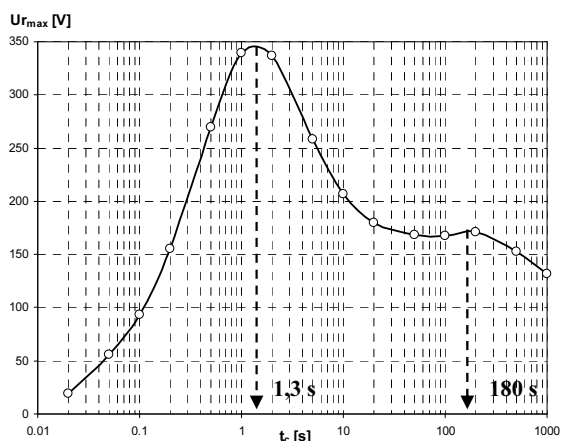
Raport z badań stanu izolacji wyżej wymienionej jednostki, znajdujący się w bazie danych, zawiera również charakterystyki odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie częstotliwości (*FDS*) i czasu (*RVM*) oraz wyniki oceny zawilgocenia izolacji badanej jednostki przy wykorzystaniu tych metod.

W przypadku metody *FDS* do analizy odpowiedzi dielektrycznej użyto programu *MODS*. Analiza odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego tej jednostki wykazała zawilgocenie izolacji stałej jednostki na poziomie 2,5%. Należy jednak wspomnieć, że stopień dopasowania krzywych wzorcowych, zastosowanych w programie *MODS*, do odpowiedzi badanej izolacji był niewielki.

Na rysunku 4 przedstawiono spektrum napięcia powrotnego izolacji badanego autotransformatora. Do określenia zawilgocenia izolacji tej jednostki przy pomocy metody *RVM* wykorzystano program *RVM Data Analysis*.

W spektrum napięcia powrotnego badanej izolacji eksponują się dwa maksima. W wyniku analizy spektrum dwuekstremalnego dokonanej przy pomocy programu *RVM Data Analysis* otrzymano dwa poziomy zawilgocenia. Pierwsze maksimum występuje przy

czasie ładowania 1,3 sekundy, co odpowiada zawilgoceniu izolacji na poziomie 3,4%, natomiast drugie maksimum występuje przy czasie ładowania równym 180 sekund, co z kolei odpowiada zawilgoceniu izolacji na poziomie 1,2%. Pierwsze ekstremum charakteryzuje się zdecydowanie większą wartością napięcia. Rozpatrując przedstawione spektrum polaryzacyjne, posiadające dwa maksima, można przypuszczać, że badana izolacja ma charakter niejednorodny i składa się z obszarów znacznie różniących się poziomem zawilgocenia. Z analizy fizykochemicznej oleju oraz rozkładu temperatury można wnioskować o możliwości wystąpienia nierównomierności zawilgocenia izolacji w kierunku osiowym.



Rys. 4. Spektrum polaryzacyjne izolacji autotransformatora AT-1, 160 MVA [8]
Fig. 4. Polarization spectrum of autotransformer's insulation AT-1, 160 MVA [8]

Odnosząc uzyskane wyniki do wyników badań przeprowadzonych na modelach laboratoryjnych można przypuszczać, że badany obiekt zawiera pewną objętość izolacji o zdecydowanie gorszych jakościowo parametrach. W takim przypadku czas wystąpienia pierwszego maksimum określa wartość maksymalną zawilgocenia występującego lokalnie, wynoszącą 3,4%.

Średnia arytmetyczna dwóch wartości zawilgocenia (wyznaczonych ze spektrum napięcia powrotnego), wynosząca 2,3%, jest bardzo bliska uśrednionemu zawilgoceniu wyznaczonemu z wykorzystaniem metody *FDS*, równemu 2,5%.

Kolejnym analizowanym przypadkiem jest autotransformator AT-2 wyprodukowany w 1967 roku. Wyniki analizy fizykochemicznej pobranych z jednostki próbek oleju oraz wyniki oceny zawilgocenia izolacji stałej, dokonanej przy wykorzystaniu krzywych równowagi termodynamicznej różnych badaczy przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki oceny zawilgocenia izolacji autotransformatora AT-2 [8]
Tab. 2. Results of moisture content evaluation of autotransformer AT-2 insulation

Miejsce pobrania próbki	Środek	Góra
Temperatura [°C]	22	22
Zawartość wody [ppm]	14,3	12,8
Zawilgocenie izolacji stałej wyznaczone przy wykorzystaniu krzywych równowagi [%]		
Krzywe Oomenna	4,9	4,6
Krzywe Griffina	>5	>5
IEEE std 62-1995	2,2	1,9

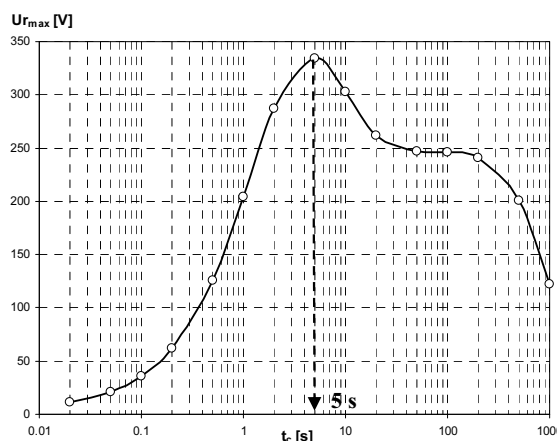
Można zauważyć, że wyniki oceny zawilgocenia izolacji stałej oparte na krzywych równowagi termodynamicznej różnych badaczy znacznie się różnią. Wynika to z faktu braku stanu równowagi termodynamicznej pomiędzy izolacją celulozową a olejem.

Analiza odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie częstotliwości układu izolacyjnego, wykonana przy użyciu programu *MODS*,

wykazała zawilgocenie izolacji stałej jednostki na poziomie 2,5%. Krzywe odpowiedzi dielektrycznej badanej izolacji odbiegały jednak od krzywych wykorzystanych w programie wzorców.

Na rysunku 5 przedstawiono spektrum polaryzacyjne jednostki AT-2. Analizę spektrum napięcia powrotnego badanej izolacji wykonano przy wykorzystaniu programu *RVM Data Analysis*.

Spektrum napięcia powrotnego badanej izolacji posiada jedno maksimum. Czas jego wystąpienia równy 5 sekund odpowiada zawilgoceniu izolacji na poziomie 3,4%. Kształt charakterystyki spektrum *RV* oraz wyniki pomiarów zawartości wody w próbkach oleju mogą wskazywać na możliwość wystąpienia niejednorodności zawilgocenia izolacji w kierunku osiowym. Charakterystyka spektrum *RV* badanej jednostki, w zakresie czasu ładowania od 30 do 200 sekund jest spłaszczona. W takim przypadku można przypuszczać, że w wymienionym zakresie czasu ładowania znajduje się ekstremum związane z izolacją o lepszych parametrach. Ekstremum to nie zdołało się wyeksponować. W przypadku badań laboratoryjnych sytuacja taka miała miejsce dla modelu izolacji niejednorodnie zawilgoconej w kierunku osiowym, przy udziale izolacji „mocno zawilgoconej” w modelu powyżej 10%.



Rys. 5. Spektrum polaryzacyjne izolacji autotransformatora AT-2, 160 MVA [8]
Fig. 5. Polarization spectrum of autotransformer's insulation AT-2, 160 MVA [8]

Analizując przedstawioną krzywą napięcia powrotnego można sądzić, że w izolacji występują obszary o znacznym zawilgoceniu – 3,4% oraz obszary izolacji o zawilgoceniu znacznie mniejszym, których stała czasowa wynosi około 100 sekund, co odpowiada zawilgoceniu izolacji na poziomie 1,5%.

Średnia arytmetyczna dwóch wartości zawilgocenia wynosi 2,45% i jest prawie równa średniemu zawilgoceniu wyznaczonemu przy użyciu metody *FDS* (2,5%), podobnie jak to było w przypadku poprzednio analizowanego transformatora.

Warto wspomnieć, że na badanym autotransformatorze zaobserwowano wystąpienie zjawiska „bubble effect”, co może potwierdzać wysoki poziom zawilgocenia izolacji tej jednostki. Jednostka ta została odstawią i zeżłomowana.

4. Wnioski

Niejednorodność zawilgocenia występująca w rzeczywistych układach izolacyjnych ma istotny wpływ na kształt charakterystyk odpowiedzi dielektrycznej, a co za tym idzie na wynik oceny zawilgocenia izolacji przy wykorzystaniu metod polaryzacyjnych.

Interpretacja odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie czasu (*RVM*) w postaci spektrum napięcia powrotnego, oparta na wyznaczeniu dominującej stałej czasowej, w warunkach znacznej niejednorodności zawilgocenia, pozwala na określenie maksymalnej wartości zawilgocenia izolacji występującego lokalnie, co ma duże znaczenie praktyczne. W takim przypadku wynik oceny zawilgocenia uzyskany przy wykorzystaniu metody *RVM* będzie

wyższy w stosunku do wyniku otrzymanego przy wykorzystaniu metody *FDS*, która wskazuje wartość średnią zawilgożenia.

Zgromadzona baza danych zawierająca wyniki pomiarów spektrum napięcia powrotnego modelu izolacji niejednorodnie zawilgoconej pozwala na lepszą interpretację wyników w sytuacjach skomplikowanych i uważanych za kontrowersyjne.

Odwolanie wyników badań laboratoryjnych do wyników badań wybranych transformatorów energetycznych, których charakterystyki odpowiedzi dielektrycznej były nietypowe i sprawiały trudności interpretacyjne oraz znalezienie analogii między charakterystykami opisującymi rzeczywiste obiekty oraz modele laboratoryjne o niejednorodnie zawilgoconej izolacji, pozwoliło na właściwą interpretację odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie czasu.

5. Literatura

- [1] Moser H.P., Dahinden V.: *Transformerboard II*, H. Weidmann AG, Rapperswil, 1987
- [2] Oommen T.V., Lindgren S.R.: *Bubble Evolution from Transformer Overload*, Transmission and Distribution Conference and Exposition, Atlanta, 2001, Vol. 1, s. 137-142
- [3] Moraña H., Mościcka-Grzesiak H., Gielniak J., Neumann S.R., Przybyłek P., Walczak K., Sikorski W., Siodła K., Staniek P.: *Bubble*

effect – powstawanie i monitorowanie, *Przegląd Elektrotechniczny - Konferencje*, Rok 4, 1'2006, s. 166-169

- [4] Gubanski S.M., Boss P., Csépes G., Der Hauhanessian V., Filipini J., Guinic P., Gäfvert U., Karius V., Lapworth J., Urbani G., Werelius P., Zaengl W.: *Dielectric Response Methods for Diagnostics of Power Transformers*, IEEE Electrical Insulation Magazine, May/June 2003 – Vol. 19, No. 3, s. 12-18
- [5] Malewski R.: *Przegląd metod diagnostycznych transformatorów mocy*, International Conference on Power Transformers Transformer 03, Pieczyńska 18 – 21 maja 2003, s. 51-64
- [6] Gäfvert U., Adeen L., Tapper M., Ghasemi P., Jönsson B.: *Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain Applied to Diagnostics of Power Transformer*, 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, June 21 – 26, 2006 Xi'an Jiatong University, Xi'an, China
- [7] Csépes G., Hámos I., Brooks R., Volker K.: *Practical Foundations of the RVM (Recovery Voltage Method for Oil/Paper Insulation Diagnosis)*, 1998 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Atlanta, 1998, vol. 1, s. 345-355
- [8] Final technical report of REDIATOOl Project for period 01/02/2003 - 31/01/2006

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

XL MKM

40. Międzyuczelniana Konferencja Metrologów

W dniach 14 – 17 września br. w Świnoujściu odbyła się 40. Międzyuczelniana Konferencja Metrologów – impreza zainicjowana w 1966 r. przez prof. A. Metala, kierownika Katedry Miernictwa Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej (WE PS) jako spotkanie metrologów z katedr miernictwa elektrycznego i elektronicznego. Postanowiono wówczas organizować kolejne spotkania pod nazwą *Międzyuczelniana Narada Metrologów*. Podczas drugiej MNM, zorganizowanej przez prof. E. Romera w 1967 r. w Gliwicach i trzeciej – przez prof. A. Jellonka w 1968 r. w Karpaczu, ukształtowała się formuła MNM jako miejsca prezentacji prac naukowych młodszych uczonych przy licznych udziałach samodzielnych pracowników naukowych – osób, których głosy w dyskusjach powinny przyczynić się do doskonalenia warsztatu naukowego młodszych kolegów. Grono pracowników samodzielnych utworzyło tzw. Konwent Seniorów, który podczas każdej imprezy dyskutuje o jej kształcie. W wyniku dyskusji zapoczątkowanej przez doc. Z. Warszę podczas X MNM w Mrzeżynie, w 1975 r., wyraz *Narada* w nazwie imprezy od XIII jej edycji w Kielcach-Radomiu zastąpiono wyrazem *Konferencja*. Kolejne imprezy, z coraz szerszym udziałem metrologów innych branż, szczególnie mechaników, organizowały różne ośrodki metrologiczne: Gliwice, Wrocław, Zielona Góra, Warszawa, Kraków, Łódź, Gdańsk-Gdynia, Poznań, Lublin, Częstochowa, Białystok, Opole, Rzeszów. Tradycją stało się, że Konferencje o numerach podzielnych przez 10 organizuje zespół metrologów WE PS. Liczba uczestników Konferencji przez wiele lat przekraczała 100 (w XXX uczestniczyło 135 osób). Ostatnio, w wyniku niepokojącego zmniejszania się liczby „młodych” metrologów, liczba ta zmalała do ok. 60.

W XL MKM uczestniczyło 58 metrologów (17 profesorów, wśród nich kilku członków KMIA PAN), którzy wygłosili 39 referatów. W tej liczbie są tzw. referaty zaproszone (prof. S. Tumański – PW, prof. J. Jakubiec – PŚI, dr M. Urbański – PW i mgr D. Sochocka – GUM). Tematyka Konferencji (szczególnie

szerokie uwzględnienie pomiarów biomedycznych oraz nowoczesnych technik informatycznych) oraz dobre przygotowanie referatów zyskały wysoką ocenę Konwentu Seniorów. Wyrazem uznania jest też propozycja opublikowania rozszerzonych wersji prac w Kwartalniku PAN M&MS, skierowana do trzech autorów referatów przez obecnego na Konferencji redaktora Kwartalnika, prof. R. Zielonko.



Uczestnicy XL MKM

Konwent Seniorów XL MKM przyjął ofertę prof. L. Śwędrowskiego zorganizowania XLI MKM przez Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej i wybrał Komitet Naukowy XLI MKM.

Opracowanie: Stefan Kubisa