



Paweł ANDRUSZKIEWICZ

Politechnika Szczecińska, Zakład Wysokich Napięć i Elektrotechnologii

Wpływ zawartości wilgoci na charakterystyki zespolonej przenikalności elektrycznej w polimerowych materiałach izolacyjnych

Streszczenie: Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu zawilgocenia materiałów polimerowych na ich zespoloną przenikalność elektryczną. Może to być użyteczne w diagnostyce izolacji urządzeń wysokiego napięcia w czasie eksploatacji, bez potrzeby demontażu danego urządzenia. Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że ocena zawartości wody w materiale tą metodą jest możliwa.

Abstract: (*Influence of water content on complex dielectric constant characteristics in polymeric insulation materials*). The aim of this work is to check the influence of water content on complex dielectric constant in polymeric material. This can be useful in diagnostic insulation of high voltage electrical equipment during service without need of disassembling a particular device. The analysis of the obtained results leads to a conclusion that estimation of water content in material is possible using this method.

Słowa kluczowe: przenikalność elektryczna, zawartość wody, polipropylen, polimetakrylan metylu, polistyren.
Key words: dielectric permittivity, water content.

Wstęp

Niniejsza praca ma na celu sprawdzenie możliwości diagnostyki zawartości wody w polimerowym materiale izolacyjnym za pomocą analizy charakterystyk zespolonej przenikalności dielektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych w zakresie częstotliwości 20 Hz÷1 MHz. Metodę pomiarową wybrano w taki sposób, aby mogła ona być powtórzona w warunkach polowych, co jest wymagane w zastosowaniach praktycznych. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że możliwe jest oszacowanie ilości wody w próbkach materiału, za pomocą standardowego mostka pomiarowego RLC i stalowych elektrod. W tym celu wyniki pomiarów muszą być poddane prostej obróbce matematycznej. Praktyczne wykorzystanie opracowywanej metody do diagnostyki rzeczywistych układów izolacyjnych wymaga wykonania serii pomiarów wzorcowych dla danego rodzaju urządzenia, które będą służyć do wyskalowania metody.

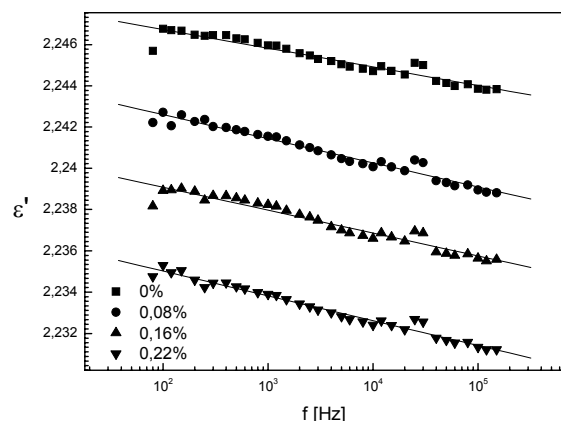
Metodyka badań

Do badań użyto próbek dostępnych w sprzedaży polimerów takich jak polipropylen (PP), polistyren (PS) i polimetakrylan metylu (PMMA). Wykorzystano próbki w kształcie kwadratów o boku około 220 mm i grubości 2 mm. Do pomiarów pojemności i współczynnika strat dielektrycznych wykorzystano mostek RLC HP4284A oraz płaskich, kwadratowych elektrod o boku 200 mm bez pierścienia ochronnego. Następnie znając pojemność geometryczną elektrod wyznaczono charakterystyki zespolonej przenikalności dielektrycznej, które były aproksymowane równaniami Debye'a. Ze względu na to, że w warunkach polowych może to być trudne lub wręcz niemożliwe, zrezygnowano z wprowadzenia korekcji miernika w użytym układzie pomiarowym. Zaowocowało to trudnościami pomiarowymi takimi jak niemożność wykonania pomiarów pojemności i współczynnika strat dielektrycznych na końcach badanego przedziału częstotliwości. W celu zawilgocenia próbki przechowywano w komorze klimatycznej w temperaturze 40°C i względnej wilgotności 90%. Po wyjęciu z komory próbki wycierano ze skroplonej na powierzchni wody, a następnie ważono na wadze elektronicznej o dokładności 0,001g. Ze względu na nieznaną początkową zawartość wody w próbkach

spowodowaną procesem produkcji, przechowywania i transportu, możliwe było tylko określenie względnej zmiany masy pod wpływem oddziaływania wilgoci, czyli pośrednio względnej zmiany zawartości wody w stosunku do stanu początkowego. Niektóre z badanych materiałów mają znikomą nasiąkliwość rzędu dziesiątych części procenta, a proces zawilgacania jest na tyle szybki, że utrudnia to wyraźne wyodrębnienie wielu znacząco różniących się między sobą stanów zawilgocenia próbki.

Polipropylen

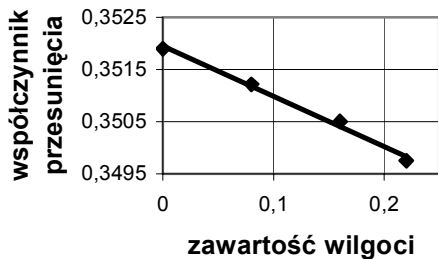
Pomiar współczynnika strat dielektrycznych był niemożliwy ze względu na to, że osiągał on wartości leżące poniżej możliwości pomiarowych użytej aparatury. Uniemożliwiło to wyznaczenie urojonej części zespolonej przenikalności dielektrycznej, więc analiza wyników skupia się na części rzeczywistej. Jak widać na rysunku 1 polipropylen zachowuje się w badanym przedziale częstotliwości zgodnie z prawem ułamkowej potęgi zaproponowanym przez Jonschera [2].



Rys. 1. Charakterystyki części rzeczywistej zespolonej przenikalności dielektrycznej dla różnej zawartości wody w próbkach PP

W skali logarytmicznej charakterystyki są w przybliżeniu liniami prostymi, których położenie zależy od zawartości

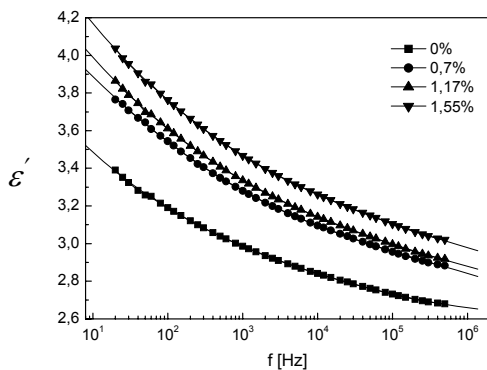
wilgoci. Zaskakujące jest to, że w badanym zakresie częstotliwości wraz ze wzrostem zawartości wilgoci przenikalność elektryczna materiału maleje. Dla większości materiałów występuje tendencja przeciwna. Aby uzyskać bezpośredni wskaźnik zawartości wody w próbkach zastosowano regresję liniową w logarytmicznym układzie współrzędnych. Liniową zależność współczynnika przesunięcia od zawartości wody przedstawia rysunek 2.



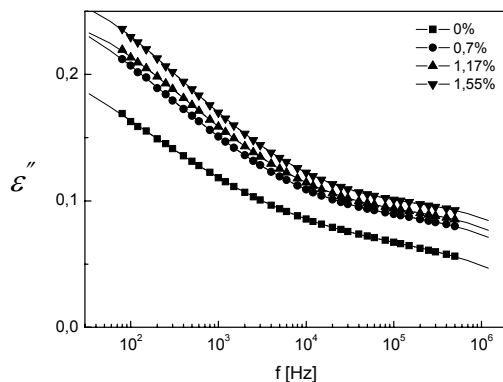
Rys. 2. Zależność wartości współczynnika przesunięcia liniowej regresji od zawartości wody w próbce dla PP

Polimetakrylan metylu

Część rzeczywista i urojona zespolonej przenikalności dielektrycznej są pokazane na rysunkach 3 i 4.



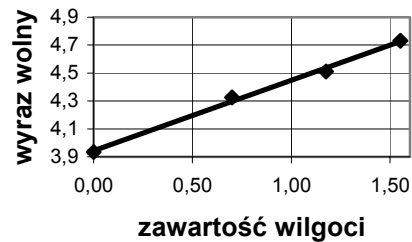
Rys. 3. Charakterystyki części rzeczywistej zespolonej przenikalności dielektrycznej dla różnej zawartości wody w próbkach PMMA



Rys. 4. Charakterystyki części urojonej zespolonej przenikalności dielektrycznej dla różnej zawartości wody w próbkach PMMA

Ich kształt pozwala przypuszczać, że w materiale w badanym przedziale częstotliwości występują dwie struktury relaksacyjne o szerokich rozkładach stałych czasowych. Aproksymacja wyników równaniami Debye'a była niemożliwa ze względu na brak w uzyskanych charakterystykach punktów charakterystycznych takich jak ekstrema i punkty przegięcia. Podobnie jak w przypadku polipropylenu zmiana zawartości wilgoci w próbkach

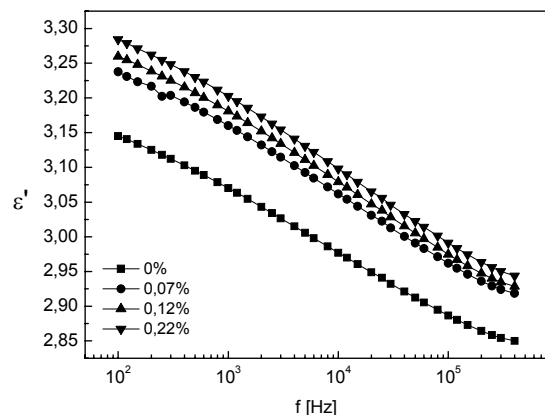
wpływa na przesunięcie charakterystyk względem osi Y, ale ich kształty są zbliżone. W celu uzyskania wskaźnika związanego bezpośrednio z przesunięciem zastosowano regresję wielomianową czwartego stopnia we współrzędnych logarytmicznych dla części rzeczywistej. Rysunek 5 przedstawia liniową zależność wyrazu wolnego wielomianu od zawartości wody w próbce.



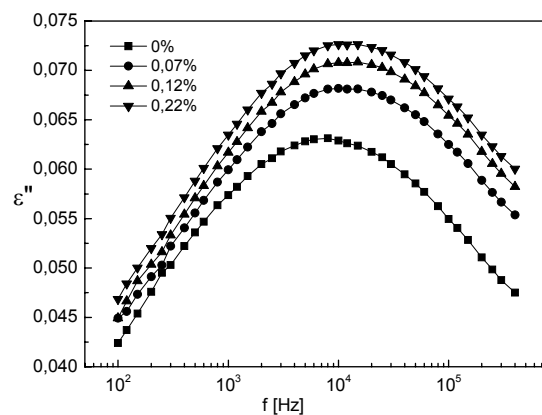
Rys. 5. Zależność wartości wyrazu wolnego wielomianu od zawartości wody w próbce dla PMMA

Polistyren

Rysunki 6 i 7 przedstawiają część rzeczywistą i urojoną zespolonej przenikalności elektrycznej. Widoczna jest pojedyncza struktura relaksacyjna o szerokim, symetrycznym rozkładzie czasów relaksacji. Obecność maksimum stratności i punktu przegięcia na charakterystyce przenikalności dielektrycznej umożliwiają dokładną aproksymację za pomocą funkcji Cole-Cole.



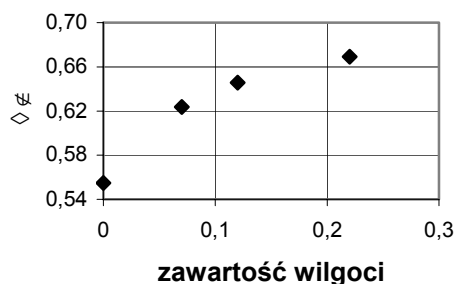
Rys. 6. Charakterystyki części rzeczywistej zespolonej przenikalności dielektrycznej dla różnej zawartości wody w próbkach PS



Rys. 7. Charakterystyki części urojonej zespolonej przenikalności dielektrycznej dla różnej zawartości wody w próbkach PS

Parametrem, który najlepiej odzwierciedla zawartość wody w próbkach jest w tym przypadku polaryzowalność

próbki, $\Delta\epsilon$. Zależność wydaje się być nieliniowa, ale jej charakter trudno określić ze względu na małą liczbę wyników.



Rys. 8. Wartość parametru $\Delta\epsilon$ funkcji Cole-Cole'a w zależności od zawartości wody w próbkach PS

Wnioski

Mimo bardzo małej chłonności wody badanych materiałów, występują wyraźne zmiany charakterystyk zespolonej przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych spowodowane zmianą zawartości wody. Dla wszystkich badanych materiałów kształt charakterystyk pozostaje w przybliżeniu niezmienny, a występuje jedynie ich przesunięcie. Dla polipropylenu wystąpiły trudności z pomiarami współczynnika strat dielektrycznych spowodowane niewystarczającą czułością przyrządu pomiarowego, co wymusiło ograniczenie analizy do przenikalności elektrycznej. Mimo to poprzez regresję liniową w logarytmicznym układzie współrzędnych uzyskano parametr, który dobrze odzwierciedla zawartość wody w materiale. Podobną metodę analizy wykorzystano dla polimataakrylanu metylu. Co prawda uzyskano część rzeczywistą i urojoną zespolonej przenikalności elektrycznej, ale analiza fizyczna za pomocą teorii Debye'a była niemożliwa ze względu na brak, w badanym zakresie

częstotliwości, punktów charakterystycznych. W przypadku polistyrenu możliwe było zastosowanie modelu Cole-Cole.

Podsumowując można stwierdzić, że możliwa jest ocena zawartości wody w materiałach polimerowych za pomocą pomiarów zespolonej przenikalności dielektrycznej. Dla poszczególnych materiałów należy zastosować różne metody oceny wyników zależne od parametrów materiału i możliwości posiadanej aparatury pomiarowej. W celu zastosowania tej metody do oceny zawartości wilgoci w przypadku występowania innych narażeń starzeniowych należy sprawdzić ich wpływ na charakterystyki zespolonej przenikalności elektrycznej.

LITERATURA

- [1] Havriliak, S. Jr., Havriliak S. J., Dielectric and Mechanical Relaxation in Materials, *Hanser Publishers*, New York, (1997)
- [2] Jonscher A. K., The Universal Dielectric Response and its Physical Significance, *IEEE Transaction on Electrical Insulation*, Vol. 27, No. 3, June (1992), 407-423
- [3] Jonscher A. K., The Universal Dielectric Response Part I, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 6, No. 2, March/April (1990), 16-22
- [4] Jonscher A. K., The Universal Dielectric Response: Part II, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 6, No. 3, May/June (1990), 24-28
- [5] Jonscher A. K., The Universal Dielectric Response: Part III, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 6, No. 4, July/August (1990), 19-24
- [6] Neimanis R., On Estimation of Moisture Content in Mass Impregnated Distribution Cables, *Royal Institute of Technology Department of Electrical Engineering*, Stockholm, (2001)
- [7] Chełkowski A., Fizyka dielektryków, *PWN*, Warszawa, (1979)

Autor: mgr inż. Paweł Andruszkiewicz, Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: andrut@ps.pl