

Paweł Andruszkiewicz<sup>1</sup>, Marian Michalczuk<sup>1</sup>

## MODELE DIELEKTRYKÓW W ULTRANISKICH CZĘSTOTLIWOŚCIACH

**Streszczenie:** Ze względu na czasochłonność spektroskopii dielektrycznej w ultraniskich częstotliwościach postanowiono zbadać możliwość stosowania zamiennie pomiarów w dziedzinie częstotliwości na mniej czasochłonne pomiary w dziedzinie czasu. Aby ich wyniki można było ze sobą porównać, należy przekształcić zależności czasowe prądów polaryzacji, dla uzyskania zależności impedancji zespolonej od częstotliwości. W tym celu zastosowano przekształcenie Laplace'a. Porównanie wyników uzyskanych z bezpośrednich pomiarów impedancji z wynikami uzyskanymi z przekształcenia zależności prądowo-czasowych poddaje w wątpliwość możliwość stosowania takiej metody.

**Słowa kluczowe:** spektroskopia dielektryczna, pomiar  $\text{tg}\delta$  i  $\epsilon$ , modele dielektryków

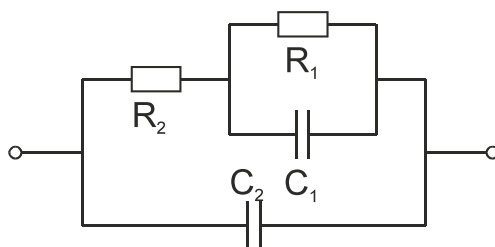
### 1. Wstęp

Spektroskopia dielektryczna w ultraniskich częstotliwościach jest ostatnio coraz częściej stosowana w diagnostyce izolacji urządzeń elektroenergetycznych. W układach papierowo-olejowych można w ten sposób ocenić zawartość wilgoci oraz stopień zesterzenia celulozy. Dla innych rodzajów izolacji stałej wpływ poszczególnych czynników na charakterystyki częstotliwościowe nie jest jeszcze dobrze poznany, ale dotychczasowe doświadczenia w tej dziedzinie różnych jednostek badawczych rokują przydatność spektroskopii ULF w diagnostyce takich układów. Ze względu na czasochłonność pomiarów w ULF ciekawą alternatywą mogą być stosowane zamiennie pomiary prądów polaryzacji. Aby umożliwić porównanie wyników uzyskanych tymi metodami należy wyniki pomiarów dokonanych w dziedzinie czasu przekształcić, aby uzyskać zależności w dziedzinie częstotliwości. Jedną z metod jest aproksymacja przebiegu prądu polaryzacji zależnościami matematycznymi, a następnie zastosowanie transformaty Laplace'a, która jest w elektrotechnice powszechnie używana do analizy stanów nieustalonych. Zastosowanie takiej metody może potencjalnie wielokrotnie skrócić czas pomiaru, ponieważ z przekształcenia pojedynczego prądu polaryzacji uzyskuje się całe widmo częstotliwości w zakresie ograniczonym czasem pomiaru i częstotliwością próbkowania.

<sup>1</sup> Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki

## 2. Badany model

W celu praktycznego sprawdzenia możliwości stosowania zaproponowanego przejścia z pomiarów w dziedzinie czasu na dziedzinę częstotliwości zbadano model izolacji o schemacie zastępczym jak na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat badanego modelu dielektryka

Kondensator C2 odwzorowuje pojemność geometryczną układu izolacyjnego, R<sub>2</sub> i C<sub>1</sub> odpowiadają za polaryzację makroskopową, a R<sub>1</sub> odpowiada za przewodnictwo jonowe. C<sub>1</sub>=1 μF, C<sub>2</sub>=1,5 nF i R<sub>2</sub>=10 MΩ są elementami idealnymi, natomiast jako R<sub>1</sub> zastosowano układ złożony z elektrody miedzianej, nieutwardzonej żywicy epoksydowej i elektrody grafitowej o średniej rezystancji w badanym przedziale częstotliwości wynoszącej 669 MΩ. Tak zbudowany element wykazuje przewodnictwo jonowe zależne od kierunku przepływu prądu i umożliwia obserwację zjawisk przyelektrodowych zależnie od materiału, z którego są zbudowane. Przedstawiony model odzwierciedla pod względem jakościowym parametry izolacji pręta generatora synchronicznego o budowie przedstawionej na Rys. 2.

## 3. Badanie korelacji zależności w dziedzinie czasu częstotliwości.

Dokonano pomiarów impedancji zespolonej w częstotliwościach od 10 Hz do 0.0003 Hz przy napięciu o wartości skutecznej 20V. Pomiarów prądów polaryzacji zostały wykonane dla napięć +28 V oraz -28 V z częstotliwością próbkowania 1 Hz. Następnie zależności prądowo-czasowe zostały zaaprosymowane następującą funkcją:

$$I(t) = A1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + A2 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} + Y0 \quad (1)$$

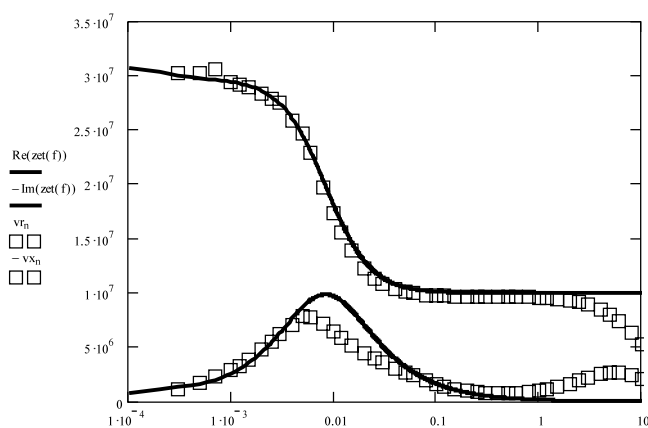


Rys. 2. Budowa pręta uzwojenia generatora synchronicznego

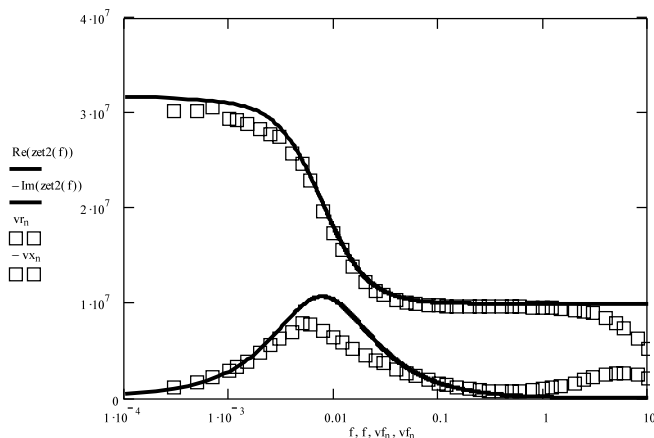
Następnie zastosowano transformatę Laplace’a uzyskując impedancję zespoloną w postaci:

$$Z(f) = \frac{U}{\frac{A1 \cdot j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{\left(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \frac{1}{t1}\right)} + \frac{A2 \cdot j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{\left(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \frac{1}{t2}\right)} + Y0} \quad (2)$$

Na Rys. 3 i 4 przedstawiono zależności części rzeczywistej i urojonej impedancji zespolonej od częstotliwości, uzyskanej z przekształcenia prądu polaryzacji przy napięciu +28V i -28V względem elektrody miedzianej. Dla porównania podano wyniki pomiarów w dziedzinie częstotliwości.

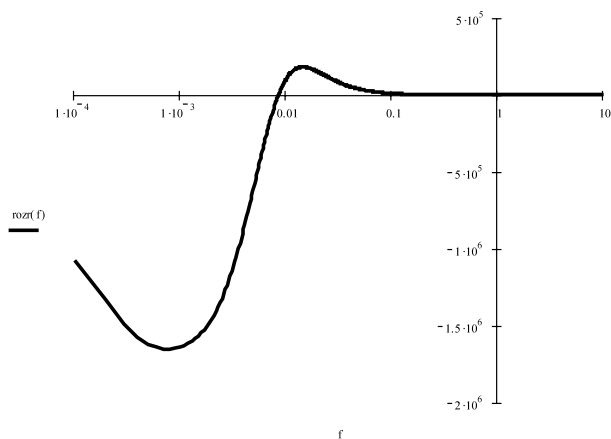


Rys. 3. Zależności  $Z'$  i  $Z''$  od  $f$ , uzyskane z przekształcenia Laplace’a prądu polaryzacji przy napięciu +28V (linie ciągłe) i pomierzone bezpośrednio (punkty)

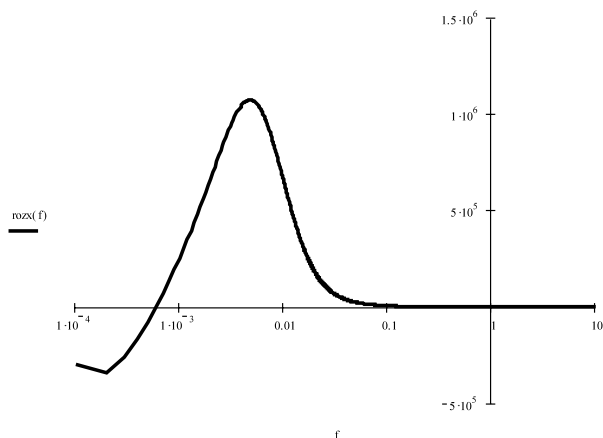


Rys. 4. Zależności  $Z'$  i  $Z''$  od  $f$  uzyskane z przekształcenia Laplace’a prądu polaryzacji przy napięciu -28V (linie ciągłe) i pomierzone bezpośrednio (punkty)

Rozbieżności powyżej 1Hz wynikają z pojemności geometrycznej układu. Kondensator C2, który ją odwzorowuje przy pomiarze prądu polaryzacji ładuje się w bardzo krótkim czasie (w przypadku idealnym w impulsie Dirac'a) i jej wpływ nie może być zmierzony. Dla obu napięć polaryzacji widoczne jest przesunięcie się maksimum  $Z''$  w stronę wyższych częstotliwości względem wartości zmierzonych bezpośrednio. Dla  $Z'$  różnice pojawiają się w najniższych częstotliwościach. W celu łatwiejszego porównania wyników uzyskanych dla napięć o przeciwnej polaryzacji na Rys. 5 i 6 pokazano różnice  $Z'(+28V)-Z'(-28V)$  i  $Z''(+28V)-Z''(-28V)$  w zależności od częstotliwości. Maksymalne różnice w przebiegach  $Z'$  występują dla 0,001Hz, a dla  $Z''$  dla 0,01Hz i są one tysiąckrotnie większe od uzyskanych powyżej 1Hz. Świadczy to o dużym wpływie polaryzacji napięcia na wyniki pomiarów.



Rys. 5. Zależność  $Z'(+28V)-Z'(-28V)$  od  $f$



Rys. 6. Zależność  $Z''(+28V)-Z''(-28V)$  od  $f$

#### 4. Podsumowanie

Wyniki pomiarów impedancji zespolonej wykonane w dziedzinie częstotliwości nie mogą być bezpośrednio porównywane z wynikami uzyskanymi z przekształcenia pomiarów prądów polaryzacji. Dotyczy to zwłaszcza układów izolacyjnych, które swoją budową wymuszają pomiar w niesymetrycznym układzie elektrod. Jest to spowodowane różną impedancją układu w zależności od kierunku przepływu prądu. Drugim przeciwwskazaniem jest duże przewodnictwo jonowe układu. Może ono występować w nietwardzonej izolacji z żywic epoksydowych i polimerach z pewnymi rodzajami wypełniaczy.

#### Literatura

- [1] **Władysław Bogusz, Franciszek Krok:** *Elektrolicy state*, WNT, Warszawa 1995
- [2] **Maciej Krakowski:** *Elektrotechnika Teoretyczna*, PWN, Warszawa, 1995
- [3] **Stephen Havriliak, Jr. / Stephen James Havriliak:** *Dielectric and Mechanical Relaxation in Materials*, Hanser Publishers, New York, 1997
- [4] **Enis Tuncer:** *Dielectric Properties of Composite Structures and Filled Polymeric Composite Materials*, Department of Electric Power Engineering Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2000
- [5] **Robert Neimanis:** *On Estimation of Moisture Content in Mass Impregnated Distribution Cables*, Royal Institute of Technology Department of Electrical Engineering, Stockholm, 2001
- [6] **Sung Han Lee, Gweon Heo, Keu Hong Kim, Jae Shi Choi:** *The Electrical Properties of Magnetite-Loaded Polyethylene Composites*, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 34, p 2537-2545, 1987

#### DIELECTRIC MODELS FOR ULTRA-LOW FREQUENCIES

Since the dielectric spectroscopy in ultra-low frequencies appears to be remarkably time-consuming method, the research works have been concentrated on investigations whether the frequency related measurements could be replaced with alternative less time-consuming measurements on time basis. To provide a necessary platform for result comparison and analysis the time relationships of polarization currents had to be appropriately converted to produce the complex impedance as a function of time. To achieve the above the Laplace's function was applied. The results of comparison between the impedance readouts from empirical measurements and the same parameter values calculated using the conversion method for current-time relations did not confirm the hypothesis assumed. Thus, the application of the method described has been estimated controversial.