

Teodor SERWICKI¹, Józef KUŚMIERZ¹, Michał WYPORKIEWICZ², Jerzy AUGUSTYN¹

¹ POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, KATEDRA ELEKTROTECHNIKI I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

² ŚWIĘTOKRZYSKIE CENTRUM ONKOLOGII

ul. Artwińskiego 3, 25-734 Kielce

Konduktometr z dwucewkowym przetwornikiem indukcyjnościowym z wykorzystaniem platformy kontrolno-pomiarowej PXI

Mgr inż. Teodor SERWICKI

Ukończył studia na Politechnice Świętokrzyskiej ze specjalnością Komputerowe Systemy Pomiarowe w 2010 roku. Obecnie jest doktorantem w Katedrze Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych na Wydziale Elektrotechniki Politechniki Świętokrzyskiej. Głównymi zainteresowaniami autora są konduktometria, cyfrowe przetwarzanie sygnałów oraz programowanie systemów wbudowanych.



e-mail: t.serwicki@tu.kielce.pl

Dr hab. inż. Józef KUŚMIERZ

Ukończył studia ze specjalnością Metrologia Elektryczna w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej w 1972 roku. Stopień doktora uzyskał w 1981 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Stopień doktora habilitowanego uzyskał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w 2008 roku. Autor kilkudziesięciu publikacji z zakresu bezstykowych pomiarów konduktywności elektrycznej materiałów oraz współautor kilku patentów.



e-mail: kuśmierz@tu.kielce.pl

Mgr inż. Michał WYPORKIEWICZ

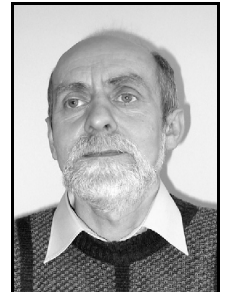
Ukończył studia na Politechnice Świętokrzyskiej na Wydziale Elektrotechniki o specjalności Komputerowe Systemy Pomiarowe. Obecnie od roku 2005 zatrudniony na stanowisku Inspektora Ochrony Radiologicznej w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej Świętokrzyskiego Centrum Onkologii.



e-mail: wyporkiewicz@interia.pl

Dr hab. inż. Jerzy AUGUSTYN

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w 1978 r. Na tym samym Wydziale w roku 1988 uzyskał stopień doktora nauk technicznych, a w roku 2008 – doktora habilitowanego. Profesor w Katedrze Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej. Główne zainteresowania naukowe: pomiary impedancji, algorytmy przetwarzania danych pomiarowych, propagacja niepewności w systemach pomiarowych.



e-mail: j.augustyn@tu.kielce.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono konduktometr, który został zbudowany w oparciu o modułową platformę kontrolno-pomiarową PXI. Prezentowany konduktometr umożliwia bezstykowy pomiar konduktywności elektrycznej materiałów przewodzących w kształcie walców. Do bezstykowego pomiaru konduktywności wykorzystano dwucewkowy przetwornik indukcyjnościowy. Uzyskane wyniki pomiarów konduktywności zostały porównane z wynikami otrzymanymi za pomocą metod stykowych do wyznaczenia konduktywności elektrycznej materiałów przewodzących.

Słowa kluczowe: bezstykowy pomiar konduktywności, przetwornik indukcyjnościowy.

A conductivity meter with double-coil inductive transducer using the PXI platform for measurement and control

Abstract

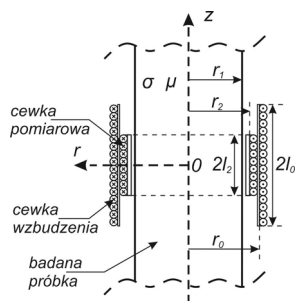
This paper presents a conductivity meter which was built on the basis of the modular PXI platform. The presented measurement device allows a contactless measurement of the electrical conductivity of cylindrical shapes samples. For the contactless measurement of the electrical conductivity there was used an inductive double-coil transducer [1, 2]. The presented conductivity meter is characterized by ease of use and short measurement time in comparison with commonly used methods for determining the electrical conductivity. The specialized personnel is not required to measure the electrical conductivity because there are no adverse physicochemical and thermoelectric phenomena produced at the interface between the tested material and the electrode as it was in the case of the four-wire resistance measure method (contact methods). The obtained conductivity measurement results are compared with those from other measuring methods for determining the electrical conductivity of conductive materials.

Keywords: contactless measurement of electrical conductivity, inductive transducer.

1. Wstęp

Konduktywność elektryczna jest jedną z dwóch wielkości obok przenikalności elektrycznej na podstawie, której określa się właściwości elektryczne materiałów. Jest ona wielkością określającą dany materiał pod względem przewodnictwa prądu elektrycznego i nie jest bezpośrednio mierzalna przy pomocy dostępnych metod pomiarowych. Wyróżnia się w zasadzie dwie podstawowe grupy metod pomiarowych umożliwiających wyznaczenie wartości tej wielkości, a mianowicie są to metody stykowe oraz bezstykowe. W metodach stykowych konduktywność badanych materiałów określa się pośrednio na podstawie pomiarów rezystancji odpowiednio przygotowanych próbek i ich wymiarów geometrycznych najczęściej za pomocą metod cztero zaciskowych – mostkiem Thomsona, czy Wheatstone'a. Wartości mierzonych rezystancji zawierają się w przedziale od 10^{-2} do 10^{-5} Ω . Dokładne pomiary mniejszych rezystancji stwarzają duże trudności niezależnie od zastosowanej metody. Inną trudnością stosowania tych metod są ograniczone możliwości ich zautomatyzowania ze względu na konieczność przytwierdzania elektrod do badanych próbek.

Prezentowany w niniejszym artykule konduktometr jest pozbawiony wyżej wymienionych wad, ponieważ pomiary odbywają się w sposób bezstykowy. Do bezstykowego pomiaru konduktywności wykorzystano dwucewkowy przetwornik indukcyjnościowy o schemacie jak na rysunku 1 [1]. Zasadę bezstykowego pomiaru konduktywności elektrycznej materiałów przewodzących przetwornikami indukcyjnościowymi szczegółowo przedstawiono w pracach [2, 3, 4] w których również podano zależność, na podstawie której jest wyznaczana konduktywność. Mierzoną wielkością wyjściową jest stosunek napięcia U_2 na zaciskach cewki pomiarowej, wewnątrz której znajduje się badana próbka, do napięcia U_{20} na tych samych zaciskach cewki bez tej próbki ($\Psi = U_{20}/U_2$) [2]. W metodzie bezstykowej za pomocą przetworników indukcyjnościowych, pomiar konduktywności również odbywa się w sposób pośredni, jednak niewątpliwą zaletą tej metody jest możliwość pełnego zautomatyzowania procesu pomiarowego.



Rys. 1. Struktura geometryczna dwucewkowego przetwornika indukcyjnościowego

Fig. 1. Geometric structure of the double-coil inductive transducer

Wyznaczenie wartości konduktywności za pomocą omawianego konduktometru wymaga wprowadzenia dodatkowo wartości średnicy próbki, dzięki czemu pomiar może być wykonany szybko i nie potrzeba do tego specjalnego przeszkolenia. Pomiar konduktywności można wykonać dla materiałów nieferromagnetycznych w postaci walcowych próbek niezależnie od ich średnicy.

2. Konduktometr z wykorzystaniem modułowej platformy PXI

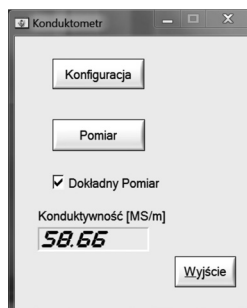
Przedstawiony poniżej konduktometr do bezstykowego pomiaru konduktywności elektrycznej został zbudowany w oparciu o modułową platformę akwizycji danych i sterowania NI PXIe-1062Q. Wykorzystanie zalet zaawansowanej technologii modułowych platform PXI (PCI eXtension for Instrumentation) oraz wysokiej klasy modułów pomiarowych firmy National Instruments umożliwiło w łatwy sposób skonstruowanie precyzyjnego systemu pomiarowego. Na zdjęciu (rys. 2) zamieszczono stanowisko pomiarowe do pomiaru konduktywności elektrycznej wraz z jego schematem blokowym.



Rys. 2. Konduktometr wykorzystujący modułową platformę PXI oraz jego schemat blokowy

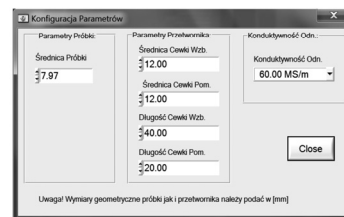
Fig. 2. The conductivity meter using the modular PXI platform and its block diagram

W celu skonstruowania konduktometru wykorzystano moduł cyfrowego multimetru NI PXI-4071, który został użyty do pomiaru napięć U_2 i U_{20} na zaciskach cewki pomiarowej przetwornika oraz moduł generatora arbitralnego NI PXI-5404 - do wytworzenia sygnału sinusoidalnego, zasilającego cewkę wzbudzenia przetwornika. Do bezstykowego pomiaru konduktywności zastosowano dwucewkowy przetwornik indukcyjnościowy w wersji przelotowej wykonany według rys.1. W skład systemu wchodzi układ kontroli prądu cewki wzbudzenia I_w , który zapewnia przepływ tego prądu o ustalonej wartości, niezależnie od impedancji wejściowej przetwornika w czasie wykonywania pomiaru. Bowiem koniecznym warunkiem jest, aby prąd wzbudzenia I_w miał taką samą wartość podczas pomiaru napięcia U_2 na zaciskach pomiarowych w obecności badanej próbki we wnętrzu przetwornika, jak również podczas pomiaru napięcia U_{20} na tych samych zaciskach cewki, przy braku próbki [2, 3]. Konfigurację, sterowanie pracą i prezentację wyników pomiarów konduktywności konduktometru przeprowadza się za pomocą wirtualnego przyrządu pomiarowego utworzonego w środowisku programistycznym LabWindows CVI. Stanowi on graficzny interfejs użytkownika (rys. 3).



Rys. 3. Panel wirtualnego przyrządu pomiarowego do bezstykowego pomiaru konduktywności

Fig. 3. Panel of the virtual measuring instrument for contactless conductivity measurement



Wartość częstotliwości zasilania cewki wzbudzenia, dla której przetwornik posiada największą czułość jest ustalana programowo, według algorytmu do wyznaczania konduktywności [3], natomiast wymiary geometryczne próbki są wprowadzane przed wykonaniem pomiaru.

3. Przeprowadzenie pomiarów oraz otrzymane wyniki

Aby przeprowadzić pomiary konduktywności za pomocą niniejszego konduktometru należy uprzednio go skonfigurować do prawidłowego jego działania. Aby to osiągnąć, należy w oknie (rys. 3) wprowadzić parametry związane z wymiarami geometrycznymi aktualnie użytego dwucewkowego przetwornika indukcyjnościowego oraz badanej próbki. Należy również określić konduktywność odniesienia materiału, która w tym przypadku stanowi najbliższą wartość konduktywności badanej próbki. Określenie tej wartości zapewnia wykonanie pomiaru z najmniejszą niepewnością pomiaru. Po wprowadzeniu parametrów przetwornika i badanej próbki, system jest gotowy do przeprowadzenia pomiaru konduktywności. Należy wspomnieć, że podczas wprowadzenia parametrów przetwornika i badanej próbki, optymalna częstotliwość pracy systemu jest dobierana automatycznie na podstawie kryterium maksymalnej czułości według odpowiedniego algorytmu [3]. Istnieje również drugi sposób przeprowadzenia pomiaru konduktywności, który zapewnia dokładniejszy pomiar. Aby to osiągnąć, należy włączyć opcję dokładniejszego pomiaru na głównym interfejsie użytkownika. Wówczas wymagane jest przeprowadzenie pomiaru wstępnego, którego celem jest ustalenie optymalnych warunków pracy konduktometru (częstotliwości pracy) zanim zostanie przeprowadzony właściwy pomiar. Zatem powyższa procedura wymaga od użytkownika przeprowadzenia dwukrotnego pomiaru, jednak pozwala ona wykonać pomiar konduktywności z mniejszą niepewnością pomiarową (tab. 1).

W celu ujawnienia właściwości metrologicznych zrealizowanego systemu pomiarowego przeprowadzono pomiary konduktywności dla próbek w postaci walcowych prętów miedzianych i aluminiowych. Pomiary wykonano 20-krotnie i jako wynik podano średnią arytmetyczną wraz z odchyleniem standardowym, które zostały przedstawione w tabeli 1.

Uzyskane wyniki pomiarów za pomocą konduktometru, zostały porównane z wynikami otrzymanymi za pomocą metod czteroprzewodowych. Do pomiarów wykorzystano mostek impedancji HM8118 oraz moduł multimetru cyfrowego DMM NI PXI-4071, natomiast badane próbki były wykonane z tych samych materiałów co w pomiarach bezstykowych. Pomiary w obu przypadkach zostały przeprowadzone przy prądzie stałym. Uśrednione wyniki pomiarów wraz z ich niepewnością przedstawiono w tabeli 1. Maksymalna względna różnica między wynikami uzyskanymi dla jednej i drugiej metody nie przekraczała 1%, co potwierdza dużą dokładność skonstruowanego konduktometru.

Tab. 1. Zestawienie uzyskanych wyników pomiarów dla obu metod pomiarowych
 Tab. 1. Summary of the obtained measurement results for both measuring method

Konduktometr z dwucewkowym przetwornikiem indukcyjnościowym warunki pomiaru: $\sigma_{odn} = 60$ MS/m dla Miedzi, $\sigma_{odn} = 35$ MS/m dla Aluminium, $T_{amb} = 22^\circ\text{C}$				
Materiał próbki	$2r_1$, mm	σ_{bad} , MS/m		$u_A(\sigma_{bad})$, MS/m
Miedź	1,79	Z wyl. opcją dokł. pomiaru	58,98	$\pm 0,04$
		Z wł. opcją dokł. pomiaru	58,85	$\pm 0,03$
	7,98	Z wyl. opcją dokł. pomiaru	58,65	$\pm 0,05$
		Z wł. opcją dokł. pomiaru	58,85	$\pm 0,03$
Aluminium	1,78	Z wyl. opcją dokł. pomiaru	35,87	$\pm 0,05$
		Z wł. opcją dokł. pomiaru	35,76	$\pm 0,03$
	7,97	Z wyl. opcją dokł. pomiaru	35,72	$\pm 0,06$
		Z wł. opcją dokł. pomiaru	35,66	$\pm 0,04$
Czteroprzewodowa – mostek impedancji HM8118 Warunki pomiaru: $U_{DC} = 1\text{V}$, sonda pomiarowa HZ184 Kelvin Clips Leads, $T_{amb} = 22^\circ\text{C}$				
Materiał próbki	$2r_1$, mm	h , m	σ_{bad} , MS/m	$u_A(\sigma_{bad})$, MS/m
Miedź	1,79	100,0	58,45	$\pm 0,31$
	7,98	400,0	58,54	$\pm 0,53$
Aluminium	1,78	100,0	35,53	$\pm 0,37$
	7,97	400,0	35,44	$\pm 0,64$
Czteroprzewodowa – moduł DMM NI PXI-4071 Warunki pomiaru: z zał. funkcją Offset Comp. Ohms, $T_{amb} = 22^\circ\text{C}$				
Materiał próbki	$2r_1$, mm	h , m	σ_{bad} , MS/m	$u_A(\sigma_{bad})$, MS/m
Miedź	1,79	100,0	58,45	$\pm 0,46$
	7,98	400,0	58,55	$\pm 0,61$
Aluminium	1,78	100,0	35,53	$\pm 0,51$
	7,97	400,0	35,47	$\pm 0,73$

4. Wnioski

Zaprezentowany w artykule konduktometr, umożliwiający bezstykowy pomiar konduktywności materiałów przewodzących, charakteryzuje się dużą uniwersalnością pod względem jego użytkowania. Do współpracy z konduktometrem może zostać wykorzystany dwucewkowy przetwornik indukcyjnościowy o dowolnych wymiarach geometrycznych bez konieczności posiadania jego wzorcowych charakterystyk przetwarzania. Wymagana jest jedynie znajomość parametrów konstrukcyjnych używanego przetwornika. W pracach autorów [2, 3, 4] zakładano, że stosunek średnicy badanej próbki do średnicy cewki pomiarowej przetwornika (współczynnik wypełnienia α_1) musi być bliski jedności, aby osiągnąć zadawalające wyniki pomiarów, co ograniczało wykorzystanie danego przetwornika tylko do konkretnej badanej próbki podczas pomiaru. Za pomocą konduktometru można przeprowadzić pomiary konduktywności dla walcowych próbek o stosunku średnicy nie mniejszej od 0,2, dla których niepewność pomiaru nie przekracza 1%.

5. Literatura

- [1] Serwicki T., Kuśmierz J., Augustyn J.: Wybrane problemy optymalizacji parametrów dwucewkowych przetworników indukcyjnościowych w bezstykowych pomiarach konduktywności elektrycznej. Przegląd Elektrotechniczny, vol. 2013, Nr 1a, s. 113-115, 2013.
- [2] Kuśmierz J.: Mathematical model of a double-coil inductive transducer for measuring electrical conductivity. Review of Scientific Instruments, Vol.78, No. 8, p. 084704-1, 084704-7, 2007.
- [3] Kusmierz J.: Bezstykowe pomiary konduktywności materiałów przewodzących za pomocą przetworników indukcyjnościowych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2007.
- [4] Nakane H.: A method for simultaneously measuring resistivity and the Meissner effect of a superconductor used a solenoid coil, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No. 2, p. 438-441, 1989.

otrzymano / received: 06.11.2013

przyjęto do druku / accepted: 03.03.2014

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