

dr hab. inż. Krzysztof Musioł

Układy różnicowe i ilorazowe w obszarze metrologii impedancyjnej najwyższych dokładności

Recenzenci – profesorowie Janusz Gajda, Tomasz Tarasiuk, Mykhaylo Dorozhovets i Waldemar Minkina – ocenili dorobek naukowy zatytułowany **Układy różnicowe i ilorazowe w obszarze metrologii impedancyjnej najwyższych dokładności**, złożony z cyklu publikacji powiązanych tematycznie.



Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach (2002 r.). Pracę magisterską **Wzorcowy dzielnik rezystancyjny** przygotował pod kierunkiem prof. Tadeusza Skubisa. Na macierzystej uczelni obronił w 2007 r. rozprawę doktorską **Opracowanie, badania i zastosowanie multipleksera wzorców indukcyjności własnej**, której promotorem był prof. Tadeusz Skubis. 20 lutego 2024 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne nadany przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej. Zainteresowania naukowe dr hab. Krzysztofa Musioła dotyczą układów i systemów do wzorcowych pomiarów wielkości elektrycznych, zwłaszcza impedancji i napięcia przemiennego.

W skład osiągnięcia naukowego wchodzi dziewięć powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach metrologicznych takich jak „Measurement” i „IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement”. Celem naukowym wskazanego cyklu jest rozwój układów do porównań (komparacji) impedancji z niepewnością względną na poziomie 10^{-6} i metod ich walidacji. Wyniki badań prezentowane w cyklu publikacji wpisują się w obszar metrologii najwyższych dokładności, zwanej również metrologią wzorców miar. Opracowane rozwiązania znajdują zastosowanie w krajowych instytutach metrologicznych do realizacji jednostek miar składowych impedancji i do przenoszenia miary impedancji na wzorce użytkowe stosowane w urządzeniach miar, laboratoriach badawczych i w przemyśle.

Podejmowana przez Krzysztofa Musioła tematyka badawcza, dotycząca rozwoju układów do porównań impedancji na najwyższym poziomie metrologicznym,

wymaga ścisłej współpracy z ośrodkami metrologicznymi w kraju i na świecie. Interesariuszami prowadzonych badań są zwłaszcza krajowe instytuty metrologiczne NMI (ang. National Metrology Institutes), których głównym celem jest rozwój wzorców państwowych, interkomparacje międzynarodowe i przekazywanie jednostek miar na wzorce niższych rzędów i na użytkowe przyrządy pomiarowe.

Od rozpoczęcia pracy naukowej aż do chwili obecnej Krzysztof Musioł prowadzi lub prowadzi współpracę z europejskimi NMI, w tym Federal Metrology Institute METAS w Szwajcarii, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica INRiM we Włoszech, Czech Metrological Institute CMI w Czechach, Trescal w Danii, Physikalisch-Technische Bundesanstalt w Niemczech i Główny Urząd Miar w Warszawie. Ponadto dr hab. inż. Krzysztof Musioł prowadzi owocną współpracę z Politechniką Świętokrzyską i Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN. Współpraca ta jest



Osiągnięcie projektowe – precyzyjny multiplekser wzorców indukcyjności własnej. Wdrożony do stosowania na stanowisku wzorca państwowego w Physikalisch-Technische Bundesanstalt w Brunshwiku (Niemcy)



Precyzyjne transformatory iniekcyjne dla systemu komparacji impedancji

potwierdzona licznymi publikacjami z naukowcami z wyżej wymienionych instytutów metrologicznych i ośrodków naukowych. Krzysztof Musioł odbył staże w szwajcarskim, włoskim i niemieckim Krajowym Instytucie Metrologicznym. Obecnie jest kierownikiem projektu badawczego w prestiżowym programie MEiN „Polska Metrologia”.

W cyklu artykułów składających się na osiągnięcie naukowe można wyróżnić cztery główne kierunki prac:

- opracowanie, rozwój i zastosowanie komparatorów wzorców indukcyjności własnej i cyfrowych systemów komparacji impedancji;
- rozwój metody walidacji układów komparacji impedancji przy wykorzystaniu tzw. „trójkątów metrologicznych”;
- analiza i metody wyznaczania błędów nieliniowości źródeł cyfrowych i układów próbkujących stosowanych w cyfrowych komparatorach impedancji;
- badania algorytmów wykorzystywanych do wyznaczania zespolonego stosunku napięć.

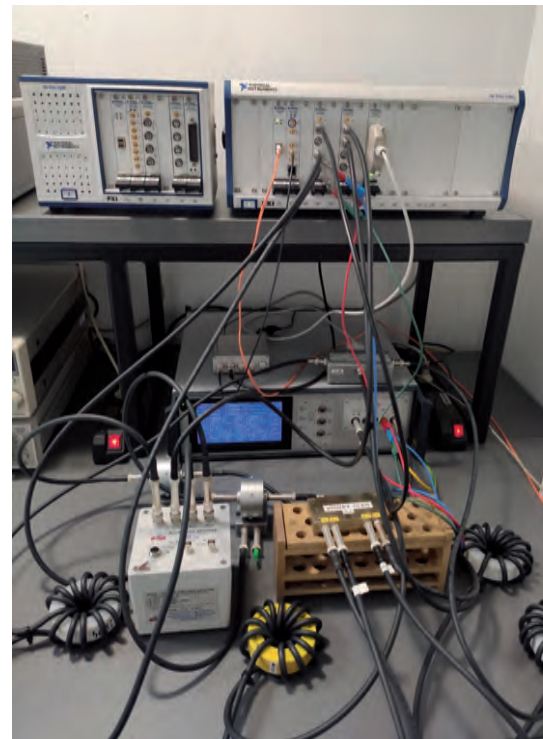
Część prac badawczych w wymienionych obszarach prowadzona była w ośrodkach metrologicznych za granicą (m.in. we Włoszech i w Szwajcarii), a także w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie. W okresie od maja 2018 r. do maja 2021 r. prace nad cyfrowym układem komparacji prowadzone były w ramach międzynarodowego projektu EMPIR „A versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges (VersiCaL 17RPT04)”. W projekcie tym, finansowanym w ramach The European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), uczestniczyły

krajowe instytuty metrologiczne z Włoch, Irlandii, Danii, Portugalii, Turcji i Czech. Partnerem w projekcie był Główny Urząd Miar.

W ramach projektu, we współpracy z prof. dr. inż. Marianem Kampikiem z Katedry Metrologii, Elektroniki i Automatyki (KMEiA) Politechniki Śląskiej i z Głównym Urzędem Miar Krzysztof Musioł wykonał i zwalidował cyfrowy system komparacji wzorców impedancji. System ten bazuje na dwukanałowym precyzyjnym źródle napięcia przemiennego o bardzo dużej stabilności oraz na synchronicznym układzie przełączająco-próbkującym. W ramach współpracy KMEiA z Konsorcjum VersiCaL i GUM w 2021 r. powstały prace opublikowane w renomowanych czasopiśmie metrologicznych. Prototypowy system komparacji opracowany w KMEiA został wdrożony do stosowania w Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu GUM z początkiem 2021 r.

Dr hab. inż. Krzysztof Musioł ma w swoim dorobku osiągnięcia projektowe i konstrukcyjne tj. zautomatyzowany system komparacji wzorców impedancji czteroportowych, zestaw czteroportowych wzorców rezystancji, termostat wzorców impedancji i multiplexer wzorców indukcyjności. Dwa spośród wymienionych systemów i układów zostały wdrożone do stosowania w instytutach metrologicznych w Niemczech i w Polsce.

Aktywność naukowa Krzysztofa Musioła jest bezpośrednio związana z priorytetowym obszarem badawczym POB6 „Ochrona klimatu i środowiska, nowoczesna energetyka” zdefiniowanym w Politechnice Śląskiej. W jego ramach zdefiniowane są prace badawcze i rozwojowe w obszarze metrologii, związane z wzorcami wielkości elektrycznych, które mają fundamentalne znaczenie dla roz-



Osiągnięcie projektowe – zautomatyzowany system komparacji wzorców impedancji czteroportowych, w 2021 r. wdrożony do stosowania w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie

woju gospodarki, nauki oraz życia społecznego. Prace te są realizowane we współpracy z wiodącymi europejskimi ośrodkami metrologicznymi krajów wysokorozwiniętych. Z wyników tych prac korzysta m.in. Główny Urząd Miar w Warszawie, który jest odpowiedzialny za wzorcowanie aparatury, stosowanej we wszystkich gałęziach gospodarki.

Dr hab. inż. Krzysztof Musioł jest autorem lub współautorem 96 publikacji, z których 34 jest indeksowanych w bazie Scopus lub Web of Science. W trakcie swojej pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora pełnił rolę kierownika w trzech oraz wykonawcy w ośmiu projektach badawczych, dotyczących metrologii wielkości elektrycznych finansowanych z NCN, NCBiR, MNiSW, MEiN i funduszy europejskich.

Dr hab. Krzysztof Musioł jest laureatem zakończonego w dniu 14 lipca 2023 r. Rektorskiego Grantu Habilitacyjnego i laureatem dwóch Rektorskich Grantów Projakościowych za wysoko punktowane publikacje. Ośmiokrotnie otrzymywał Nagrodę JM Rektora Politechniki Śląskiej, w tym pięciokrotnie za osiągnięcia naukowe.

Małgorzata Kaliczyńska
Pomiary Automatyka Robotyka



Osiągnięcie projektowe - czteroportowe wzorce rezystancji Vishay. Wzorce, wykalibrowane podczas stażu naukowego w szwajcarskim Krajowym Instytucie Metrologicznym METAS, charakteryzują się współczynnikiem temperaturowym 0.05 ppm/°C. Zostały wykorzystane w KMEiA i w GUM do walidacji cyfrowego komparatora impedancji.



Osiągnięcie projektowe – powietrzny termostat wzorców impedancji. Termostat z wymuszoną cyrkulacją powietrza charakteryzuje się stabilnością temperatury lepszą niż 0.02 °C.