

Gliwice, 18. lipca 2022 r.

prof. dr hab. inż. Marian Kampik
Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 10
44-100 Gliwice
tel. 32 237 1241
email: marian.kampik@polsl.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Kocjana
pt. „Transfery wysokich rezystancji z układem podwójnej izolacji”

1. Wstęp

Przedłożona recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej, prof. dr. hab. inż. Andrzeja Dziejzica (pismo 72/RDN_AEE/2022 z dnia 20 maja 2022 r.). Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Michał Lisowski. Promotorem pomocniczym jest dr inż. Krystian Krawczyk. Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego NCBiR nr PBS3/A4/11/2015.

2. Opinia o tematyce i zakresie rozprawy

Dokładność wykonywanych pomiarów ma fundamentalne znaczenie dla rozwoju gospodarki, nauki, techniki i innych dziedzin ludzkiej działalności. W celu zapewnienia dużej dokładności pomiarów wielkości fizycznych niezbędne jest bardzo dokładne odtworzenie jednostek miar przez wzorce pierwotne i zachowanie spójności pomiarowej między wzorcami pierwotnymi, wzorcami wtórnymi oraz narzędziami pomiarowymi powszechnie wykorzystywanymi w przemyśle, gospodarce, medycynie, badaniach naukowych i innych obszarach.

Recenzowana rozprawa dotyczy zagadnień związanych z poprawą parametrów metrologicznych transferów dużych rezystancji, umożliwiających przeniesienie wartości rezystancji $6453,202 \Omega$ lub $12906,404 \Omega$, odtwarzanej przez wzorec kwantowy rezystancji, wykorzystujący kwantowy efekt Halla, na wzorce o dużej wartości rezystancji, sięgającej $100 T\Omega$. Rozprawa jest udaną próbą poprawy parametrów metrologicznych transferów dużych rezystancji, pozwalających na przeniesienie wartości

rezystancji odtwarzanej przez wzorzec kwantowy rezystancji na wzorce o dużej wartości rezystancji, sięgającej 100 TΩ. Zasadniczą i najważniejszą jej część stanowi analiza czynników wpływających na dokładność stosunków rezystancji realizowanych przy wykorzystaniu transferów z układem podwójnej izolacji. W tym celu Autor opracował model matematyczny, na podstawie którego dokonał wyżej wspomnianej analizy. Jej wyniki umożliwiły zmodernizowanie istniejących transferów rezystancji, które następnie - przy współpracy z Głównym Urzędem Miar - wykorzystano do zdeterminowania wartości rezystancji wzorców-świadków o nominalnych rezystancjach z przedziału od 100 MΩ do 100 TΩ w odniesieniu do wzorca pierwotnego QHR. Przeniesienia wartości rezystancji dokonano na dwa sposoby, opisane w rozprawie. Spójność wyników pomiarów uzyskanych tymi dwoma sposobami potwierdziła poprawność opracowanego modelu matematycznego oraz obliczeń numerycznych.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej argumenty uważam, iż tematyka rozprawy jest aktualna i posiada istotne znaczenie z punktu widzenia naukowego, technicznego oraz ekonomicznego, jako że dokładność wzorców wywiera wpływ na gospodarkę państwa.

Przyjęty w pracy sposób rozwiązania problemu, obejmujący, między innymi, opracowanie transferów dużych rezystancji o lepszych parametrach metrologicznych i wykorzystanie tych transferów do poprawy parametrów państwowego wzorca rezystancji sprawia, iż praca posiada duży walor aplikacyjny.

3. Przegląd i ocena treści rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska, o objętości 82 stron, zawiera w kolejności: spis treści, rozdział wstępny, sześć zasadniczych rozdziałów, podsumowanie, bibliografię zawierającą 41 pozycji literaturowych oraz streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

W rozdziale pierwszym, po wstępie i wprowadzeniu do tematyki badań, Autor opisał ideę transferów rezystancji z pojedynczą izolacją, a następnie ideę transferów rezystancji z podwójną izolacją.

W rozdziale drugim, jednostronicowym, Autor określił cel i podał tezę pracy.

Rozdział trzeci zawiera metrologiczną analizę transferów dużych rezystancji. Po wprowadzeniu do tego rozdziału, w kolejno po sobie następujących podrozdziałach, Autor przedstawia zastępcze modele transferów rezystancji, opracowane w celu przeprowadzenia analizy upływności izolacji, następnie opisuje wpływ upływności izolacji złączy koncentrycznych z układem podwójnej izolacji, wpływ obniżenia wartości rezystancji izolacji złączy, rozkład prądów upływnościowych w izolacji złączy w transferach oraz wpływ elektryzacji izolacji złączy.

W czwartym, zasadniczym i najbardziej obszernym rozdziale rozprawy, Doktorant opisuje konstrukcje transferów rezystancji z układem podwójnej izolacji. W pierwszym podrozdziale tej części pracy opisano wcześniejsze rozwiązania konstrukcyjne transferów z podwójną izolacją. W kolejnym podrozdziale Autor zawarł opis modernizacji transferów rezystancji z układem podwójnej izolacji. Ten podrozdział podzielony jest na trzy części, z których pierwsza określa zakres modernizacji, druga opisuje metodykę doboru rezystorów do gałęzi ochronnych transferów, a trzecia przedstawia porównanie błędów względnych transferów przed i po modernizacji. W kolejnym, trzecim podrozdziale rozdziału czwartego, zamieszczono opis nowej konstrukcji transferów z układem podwójnej izolacji. Ten podrozdział jest podzielony na dwie części, z których pierwsza zawiera opis konstrukcji nowego transferu, natomiast

druga opisuje metodykę doboru rezystorów.

W rozdziale piątym zaprezentowano wyznaczone poprawne wartości stosunku rezystancji transferów.

W rozdziale szóstym opisano praktyczne wykorzystanie transferów w systemie przekazywania jednostki rezystancji.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie i wnioski.

Oceniając merytorycznie całą rozprawę stwierdzam, iż jest ona napisana na dobrym poziomie. Zawiera właściwie sformułowany i ważny problem naukowo-techniczny i prezentuje jego poprawne rozwiązanie, które Doktorant uzyskał samodzielnie i z zastosowaniem poprawnej metodologii naukowej.

Z przedstawionego omówienia treści całej rozprawy doktorskiej wynika, że jej Autor wykazał się dobrymi umiejętnościami formułowania problemów naukowo-badawczych oraz ich efektywnego rozwiązywania.

4. Oryginalne osiągnięcia

Do oryginalnych osiągnięć naukowych i technicznych Autora rozprawy zaliczam przede wszystkim:

- a) opracowanie matematycznych, a ściślej numerycznych modeli transferów rezystancji,
- b) przeprowadzenie numerycznej analizy dokładności stosunków rezystancji realizowanych przy wykorzystaniu transferów z układem podwójnej izolacji,
- c) analiza dokładności transferów dla rzeczywistych wartości rezystancji rezystorów (dotychczasowe analizy były dokonywane wyłącznie przy założeniu nominalnych wartości rezystorów gałęzi głównych i ochronnych),
- d) określenie wpływu upływności izolacji i rozrzutu wartości rezystorów na dokładność transferów z układem podwójnej izolacji,
- e) wyznaczenie stosunków rezystancji rozpatrywanych transferów z podwójną izolacją oraz ich niepewności,
- f) analiza wpływu rezystorów w gałęzi ochronnej o wartościach dobieranych zgodnie z dotychczasową praktyką,
- e) zaproponowanie zmodyfikowanego sposobu doboru rezystorów do gałęzi ochronnej, zapewniającego większą dokładność transferu.

Doktorant dokonał empirycznej weryfikacji wyników analizy numerycznej, dokonując modernizacji istniejących i konstrukcji nowych transferów rezystancji z układem podwójnej izolacji. Zmodernizowane modele fizyczne transferów rezystancji wykorzystano następnie do zdeterminowania wartości rezystancji wzorców-świadków o nominalnych rezystancjach z przedziału od 100 M Ω do 100 T Ω w odniesieniu do wzorca pierwotnego QHR. Autor dokonał tego w Głównym Urzędzie Miar przy współpracy z zespołem badawczym Politechniki Wrocławskiej. Przeniesienie wartości rezystancji zostało zrealizowane dwoma niezależnymi torami. Uzyskane wyniki były spójne.

Mając na uwadze wyżej wymienione oryginalne osiągnięcia naukowe i techniczne uważam, że Doktorant zrealizował założony cel badawczy oraz uzasadnił słusność sformułowanych tez. Ponadto wykazał się umiejętnością samodzielnego rozwiązywania problemów naukowo-technicznych z wykorzystaniem właściwych metod badawczych i na poziomie naukowym odpowiadającym wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim z obszaru nauk technicznych.

5. Uwagi i komentarze

Zachowując dobrą ocenę całej rozprawy doktorskiej można sformułować następujące uwagi natury ogólnej i szczegółowej:

- a) stabilność czasowa jest jednym z najbardziej krytycznych parametrów charakteryzujących wzorce, tymczasem w pracy nie zamieszczono wyników badań lub analizy dotyczącej wpływu upływu czasu na wartości rezystancji rezystorów, wykorzystanych w transferach oraz na odtwarzane przez nie stosunki rezystancji,
- b) kolejnym ważnym parametrem jest wpływ zjawiska zmiany rezystancji rezystorów pod wpływem wydzielanej w nich mocy Joule'a. Czy Autor zbadał wpływ tego zjawiska?
- c) w rozdziale 3.6 Doktorant opisuje wpływ zjawiska elektryzacji, a w tabeli 3.8 prezentuje wyniki pomiarów średnich prądów deelektryzacji, będących konsekwencją tego zjawiska. Te prądy charakteryzują się zbliżoną wartością i takim samym znakiem. Z badań przeprowadzonych przez Autora wynika, że wpływ prądu deelektryzacji na dokładność transferów jest kilkakrotnie większy od wpływu upływności izolacji. Jaki jest mechanizm elektryzowania się teflonu? Czy można by tego zjawiska zmniejszyć na etapie np. obróbki mechanicznej? Czy nie można by wykorzystać materiału, który się mniej elektryzuje (o ile taki istnieje)?
- d) w tabelach 4.2, 4.3 i 4.5 zamieszczono wartości „wybranych rezystorów gałęzi ochronnej”. Czy te rezystancje zostały zmierzone, a jeśli tak, to jakim przyrządem i z jaką niepewnością?
- e) w tabeli 5.3 zamieszczono niepewności względne stosunków rezystancji, spowodowane upływnością izolacji. Niepewności te wyznaczono z błędów granicznych spowodowanych przez prądy upływnościowe, występujące w pierścieniach izolacyjnych złączy o wartości rezystancji 1 PΩ. Czy nie lepiej wyznaczyć te niepewności mierząc rezystancję izolacji zastosowanych złączy? Wtedy można by wyznaczyć poprawki oraz niepewności tych poprawek,
- f) nie uzyskano spójnych wartości wzorcowania dla wzorca-świadka o wartości nominalnej 1 GΩ. Jaka jest przyczyna tej niezgodności?
- g) na stronie 63 Autor pisze „Następnie celem wyznaczenia niepewności poprawki, do wartości pierwszego rezystora gałęzi głównej dodano (lub odjęto) rozszerzoną niepewność typu A, a od wartości drugiego odjęto (lub dodano) niepewność typu A i tak naprzemiennie do 10 rezystora (analogicznie postąpiono z wartościami rezystorów gałęzi ochronnej)”. Czy odejmowanie niepewności jest dopuszczalne? Jaki jest sens fizyczny takiego działania?

W pracy zauważyłem drobne błędy o charakterze edytorskim. Na przykład symbole wymiarów jednostek fizycznych pisane są w nawiasach kwadratowych. Jednak ogólnie rozprawa jest starannie opracowana pod względem redakcyjnym i napisana poprawną polszczyzną.

Uwagi wyszczególnione w recenzji, częściowo dyskusyjne, nie ujmują i nie podważają w niczym wyniku pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

6. Podsumowanie

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zaprezentowana w niej analiza teoretyczna, wyniki badań symulacyjnych i pomiarów, potwierdzają ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika oraz duże umiejętności w zakresie analizy układów pomiarowych dużych dokładności i realizacji złożonych badań eksperymentalnych. Autor rozprawy wykazał się również wiedzą i doświadczeniem w zakresie wykorzystania współczesnych technik pomiarowych i narzędzi informatycznych, potwierdzając umiejętność samodzielnego rozwiązywania złożonych problemów badawczych na poziomie naukowym odpowiadającym rozprawom doktorskim z dziedziny nauk inżynierijno-technicznych. Oceny tej nie podważają przedstawione uwagi i komentarze.

Uwzględniając wyżej wymienione uwagi i komentarze oraz całość rozprawy doktorskiej wraz z oryginalnymi osiągnięciami naukowo-badawczymi stwierdzam, że:

- 1. Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.**
- 2. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.**

