

Kraków 26.06.2020r.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji  
Katedra Elektroniki  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ DISCYPLINY  
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ELEKTROTECHNIKA**

**Tytuł rozprawy: Novel Methods for Characterization of Dielectric Materials  
at Microwave and Milimeter-wave Frequencies**

**Autor rozprawy: Tomasz Karpisz**

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy / cel i teza  
rozprawy/ i czy zostało dostatecznie jasno sformułowane przez  
autora?**

Praca mgr. inż. Tomasza Karpisza zatytułowana „Novel Methods for Characterization of Dielectric Materials at Microwave and Milimeter-wave Frequencies” poświęcona jest opracowaniu jednowymiarowego, skalarnego i wielowarstwowego modelu elektromagnetycznego otwartego rezonatora Fabry-Perot do zastosowania w pomiarach przenikalności elektrycznej oraz stratności cienkich materiałów dielektrycznych w zakresie fal milimetrowych. Zagadnienie pomiarów własności elektrycznych, a w szczególności pomiaru stałej dielektrycznej oraz tangensa kąta strat jest zagadnieniem złożonym zwłaszcza w kontekście bardzo cienkich niskostratnych laminatów mikrofalowych. Należy również podkreślić, że problem podejmowany w rozprawie doktorskiej jest aktualny i ważny zwłaszcza w kontekście wciąż rozwijanych systemów telekomunikacyjnych i radarowych, dla których alokowane są coraz wyższe zakresy częstotliwości, tj. w zakresie fal milimetrowych i subterahercowych. Główna teza rozprawy została sformułowana we wstępie pracy i stawia hipotezę, że transformacja konforemna pozwala na opracowanie jednowymiarowego, skalarnego i wielowarstwowego modelu elektromagnetycznego otwartego rezonatora Fabry-Perot. Teza ta jest wsparta trzema stwierdzeniami, których prawdziwość jest dowodzona w treści rozprawy.

Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i składa się z 5 rozdziałów włączając w to wstęp oraz podsumowania. Rozdział drugi stanowi wprowadzenie do tematyki metod pomiaru własności elektrycznych materiałów dielektrycznych, krótko charakteryzując znane w literaturze techniki pomiarowe. Rozdziały trzeci i czwarty stanowią zasadniczą część rozprawy. W rozdziale trzecim przedstawiony jest proponowany model otwartego rezonatora Fabry-Perot opracowany poprzez zastosowanie transformacji konforemnej z kraterzańskiego do Gaussowskiego układu współrzędnych, co pozwala na uproszczenie modelu rezonatora z

trójwymiarowego do warstwowego jednowymiarowego. W rozdziale tym przedstawiona jest również koncepcja geometrii opracowywanego rezonatora przeznaczanego do pomiarów cienkich materiałów dielektrycznych. Rozdział kończy prezentacja metody wyznaczania stałej dielektrycznej oraz tangensa kąta strat na podstawie pomiarów. W rozdziale czwartym przedstawione są wyniki badań eksperymentalnych. Przedstawiony jest opis konstrukcji wykonanego rezonatora oraz wyniki pomiarów pięciu próbek, na podstawie których wyznaczono dokładność proponowanej metody. Dodatkowo, w rozdziale tym dokonano analizy wpływu dokładności pomiaru grubości próbki oraz zróżnicowania grubości na uzyskiwaną niepewność pomiarową. Dodatkowo, przedstawiona jest możliwość pomiaru anizotropii w płaszczyźnie próbki, a także wykorzystanie układów pomiarowego w zakresie wyższych fal milimetrowych. Rozdział kończy opis ograniczeń proponowanej metody. Rozprawę kończy podsumowanie, w który zarysowane są najważniejsze osiągnięcia rozprawy dowodzące prawdziwości postawionej tezy oraz prawdziwości postawionych w wstępie pracy stwierdzeń pomocniczych.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?**

Rozprawa doktorska została dobrze zarysowana na tle literatury światowej w kontekście znanych metod pomiarowych wykorzystywanych do wyznaczania parametrów elektrycznych dielektryków. Wykaz literatury zawiera 111 pozycji, wśród których znajdują się zarówno starsze fundamentalne prace dotyczące tematyki rozprawy opisujące podstawowe techniki pomiarów parametrów elektrycznych, jak również aktualne artykuły opisujące najnowsze proponowane metody i rozwiązania układowe systemów opracowanych dla celów pomiarów przenikalności elektrycznej i tangensa kąta strat. Załączony przegląd literatury potwierdza dobrą znajomość stanu wiedzy w tematyce rozprawy. Zaletą rozprawy jest również krótkie, jasne i przejrzyste wprowadzenie w tematykę poruszana w rozprawie.

**3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Celem pracy było opracowanie jednowymiarowego, skalarnego i wielowarstwowego modelu elektromagnetycznego otwartego rezonatora Fabry-Perot do zastosowania w pomiarach przenikalności elektrycznej oraz stratności cienkich materiałów dielektrycznych w zakresie fal milimetrowych. Cel ten został osiągnięty, zaproponowany model został szczegółowo opisany w rozdziale trzecim. Przedstawiony model oraz wyniki analiz teoretycznych pokazują, że Autor bardzo dobrze opanował niezbędny aparat matematyczny, który został wykorzystany do stworzenia odpowiedniego modelu teoretycznego rezonatora. Dodatkowo, przedstawione w rozdziale czwartym wyniki badań eksperymentalnych

potwierdzają słuszność opracowanego modelu, potwierdzają umiejętności Autora w zakresie wykonywania układów i systemów mikrofalowych i dowodzą prawidłowości wykonanych obliczeń i analiz.

**4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Do oryginalnych osiągnięć Autora rozprawy, można zaliczyć przede wszystkim:

- Zaproponowanie jednowymiarowego, skalarnego, wielowarstwowego modelu otwartego rezonatora Fabry-Perot, w którym dzięki zastosowaniu transformacji konforemnej uzyskuje się znaczne uproszczenie obliczeń, a przez to znaczne skrócenie czasu obliczeniowego.
- Wykorzystanie opracowanego modelu otwartego rezonatora Fabry-Perot do wyznaczania własności elektrycznych, tj. przenikalności elektrycznej oraz tangensa kąta strat cienkich warstw dielektrycznych w zakresie fal milimetrowych.
- Opracowanie zautomatyzowanego systemu, umożliwiającego identyfikację rodzajów fal oraz precyzyjne pozycjonowanie próbek dielektrycznych, do zastosowań w pomiarach własności elektrycznych cienkich dielektryków.
- Wykonanie badań eksperymentalnych, które potwierdzają prawdziwość postawionych tez oraz słuszność opracowanego modelu.
- Wykonanie analizy niepewności mierzonych parametrów elektrycznych próbek dielektrycznych, powtarzalności oraz wskazanie ograniczeń opracowanej metody na podstawie przeprowadzonych pomiarów.

**5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy) ?**

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, w sposób bardzo zwięzły i przejrzysty prezentując najważniejsze osiągnięcia i wnioski. Zawiera krótkie wprowadzenie w tematykę badawczą prezentując obecny stan wiedzy oraz najważniejsze rozwiązania dotyczące technik wykonywania pomiarów parametrów elektrycznych. Uwagę zwraca niewielka ilość drobnych literówek oraz przejrzystość rysunków prezentujących poszczególne wyniki analiz teoretycznych i pomiarów wykonanych układów.

**6. Jakie są słabe strony i jej główne wady?**

Praca poświęcona jest opracowaniu jednowymiarowego, skalarnego i wielowarstwowego modelu elektromagnetycznego otwartego rezonatora Fabry-Perot do zastosowania w pomiarach przenikalności elektrycznej oraz stratności cienkich materiałów dielektrycznych w zakresie fal milimetrycznych. Rozprawa doktorska nie zawiera zasadniczych wad, gdyż w zwięzły sposób formułuje cel, prezentuje otrzymane wyniki i jest starannie zredagowana. Jednakże można wskazać dodatkowe pytania, których wyjaśnienie uzupełni treść prezentowaną w rozprawie, a mianowicie:

- W pracy przedstawiona jest zmierzona zależność dobroci rezonatora od częstotliwości. Dla wyższego zakresu częstotliwości dobroć jest mniejsza, a powody tego spadku są podane w pracy. Czy można zaprojektować tak rezonator, żeby zwiększyć dobroć dla wyższego zakresu fal milimetrycznych (70-110 GHz), czy raczej należałoby zaprojektować dedykowany rezonator dla tego zakresu częstotliwości?
- W rozdziale 4.3.5 Autor stwierdza, że mieralne wartości tangensa kąta strat próbek dla zakresu częstotliwości 50-110 GHz wynosi  $10^{-4}$  i wartość ta może zostać poprawiona. W jaki sposób można osiągnąć niższy poziom mierzalnych wartości?
- Mierzalna wartość tangensa kąta strat zależy od grubości i względnej przenikalności elektrycznej próbki. Czy można te dwie wartości powiązać i wyznaczyć zakres mierzalnych wartości tangensa kąta strat? Podobnie ja to zostało zrobione w przypadku przenikalności elektrycznej (rys. 63).

Przedstawione wyżej uwagi mają charakter jedynie dyskusyjny i nie można ich traktować jako słabe strony rozprawy doktorskiej, których nie znajdują. Należy podkreślić, że zagadnienia będące przedmiotem rozprawy były przedmiotem dobrych publikacji w tym publikacji w czasopiśmie IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, co dodatkowo podnosi wartość naukową rozprawy.

#### **7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynierijno-technicznych?**

Przedstawiona praca stanowi istotny wkład w rozwój metod pomiarowych parametrów elektrycznych takich jak stała dielektryczna i tangens kąta strat. Stanowi istotne uzupełnienie znanych metod pomiarowych zwłaszcza w kontekście potrzeby pomiarów cienkich dielektryków w zakresie fal milimetrycznych. Opracowany model otwartego rezonatora Fabry-Perot został z powodzeniem zastosowany w zautomatyzowanym stanowisku pozwalającym na wyznaczenie parametrów elektrycznych dielektryków, a otrzymane wyniki pomiarów są zgodne z pomiarami referencyjnymi i charakteryzują się stosunkowo małą niepewnością pomiarów. Z tego względu należy uznać, że przydatność rozprawy dla nauk inżynierijno-technicznych jest duża, a opracowane systemy mają potencjał wdrożeniowy.

#### **8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

Pracę niewątpliwie można zaliczyć jako: wybitnie dobra zasługująca na wyróżnienie.

**9. Wniosek końcowy:**

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca stanowi oryginalny wkład w rozwój dyscypliny elektronika. Mgr inż. Tomasz Karpisz dowiódł postawionej we wstępie rozprawy tezy, osiągnął zamierzony cel rozprawy i wykazał się niezbędną wiedzą wymaganą dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Rozprawa doktorska z nadmiarem spełnia wymagania stawiane przez odpowiednią ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym i z tego względu wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania o nadania stopnia doktora. Biorąc pod uwagę staranność przygotowania rozprawy, oryginalność proponowanego rozwiązania oraz całokształt dorobku naukowego wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Krzysztof Wincza

