

Prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn
Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych

Warszawa, 19 kwietnia 2024 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

Charakteryzacja parametrów elektrycznych substancji stałych i ciekłych przy użyciu
planarnych struktur mikrofalowych

Opracowanej na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka
Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej

Autor rozprawy: Mgr inż. Krzysztof Szostak
Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Piotr Słobodzian, prof. uczelni
Dziedzina: Nauki techniczne (Dz. U. Nr 65, poz. 595)
Dyscyplina: Telekomunikacja

Przedmiotem pracy jest problematyka pomiarów elektrycznych parametrów materiałów dielektrycznych stałych i ciekłych. Badania stałych niskostratnych materiałów dielektrycznych obejmują opracowanie nierezonansowej metody pomiaru ich stałej dielektrycznej, opartej na wykorzystaniu zmiennej szerokości linii pomiarowej. Z kolei badania ciekłych materiałów dielektrycznych zarówno nisko, jak i wysokostratnych, zostały wykonane za pomocą opracowanej wąskopasmowej interferometrycznej metody pomiarowej wykorzystującej mikroprzepływowy układ pomiarowy.

Zagadnienie naukowe podjęte w rozprawie ściśle się wiąże z udoskonalaniem rozwiązań technicznych stosowanych we współczesnych systemach telekomunikacyjnych. Oprócz wartości poznawczej, badania będące przedmiotem rozprawy doktorskiej mają potencjalne znaczenie praktyczne, a ich rezultaty mogą się przyczynić do rozwiązania problemów społecznych.

Wyszczególnione przez Autora trzy główne problemy: zwiększenie dokładności lub uproszczenia pomiaru parametrów elektrycznych podłoży dielektrycznych, zwiększenie czułości metod pomiaru parametrów elektrycznych płynnych substancji dielektrycznych w układach mikrofluidycznych oraz badanie nanoszenia wzorów przewodzących na podłoża dielektryczne za pomocą nowoczesnych metod, które nie wykorzystują szkodliwych dla środowiska procesów chemicznych, wyraźnie wpisują się w ogólne trendy badawcze w zakresie metod charakteryzacji parametrów materiałów dielektrycznych.

WPLYNĘŁO
2 6 -04- 2024

RDN-IT/171/2024

Autor sformował dwie tezy. Pierwsza teza dotyczy dielektryków stałych:

1. Stała dielektryczna próbki substancji stałej przygotowanej w postaci planarnej warstwy może być wyznaczana za pomocą pomiarów transmisyjnych dwóch linii mikropasmowych o różnych szerokościach, wykonanych na tej warstwie.

Z kolei druga jest sformułowana dla dielektryków ciekłych:

2. Zastosowanie korekcji amplitudy i fazy w kanale odniesienia oraz korekcji amplitudy w kanale testowym mikrofalowo-mikrofluidycznego układu interferometrycznego umożliwia uzyskanie bardzo dużej czułości oraz dużej dokładności wyznaczania stałej dielektrycznej substancji ciekłych.

Oryginalny wkład Autora, na który składa się opracowanie metody pomiarowej łatwej w implementacji, opartej na zmianie szerokości linii mikropaskowej oraz udoskonalenie interferometrycznej metody do pomiaru stałej dielektrycznej substancji ciekłych nie budzi zastrzeżeń, a wyniki badań w/w metod zostały opublikowane w dwóch artykułach w renomowanych czasopismach.

Rozprawa doktorska składa się z sześciu rozdziałów, a treść rozprawy jest wyraźnie podzielona prawie na pół. W Rozdziale 2 i 3 są omawiane właściwości materiałów oraz znane z literatury i szeroko wykorzystywane metody pomiarowe. Natomiast, w merytorycznych Rozdziałach 4,5 i 6 przedstawia się oryginalny wkład Autora, w tym wyniki badań opracowanych metod. Rozdział 4, który jest głównym rozdziałem całej pracy, jest poświęcony uzasadnieniu sformułowanych tez i opisuje dwie metody pomiaru przenikalności dielektrycznej. W rozdziale opisano podstawy teoretyczne obu metod oraz ich eksperymentalną weryfikację. Ponadto, jest opisane wyniki porównania metod z opisanymi w literaturze. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że metoda interferometryczna jest dość dobrze znana i Autor proponuje zastosowanie korekcji amplitud i faz w kanale odniesienia, co z kolei można traktować jako proces kalibracji.

Moja ocena zakresu, wyników i prezentacji badań naukowych przeprowadzonych przez mgr inż. Krzysztofa Szostaka w ramach ocenianej rozprawy doktorskiej jest wysoka. Jednak w niektórych przypadkach brakuje pewnych szczegółów, na przykład w kwestii Niepewności pomiarowej. Autor przedstawia analizę błędów, ale pomija zagadnienie oszacowania niepewności pomiarowej – parametru związanego z wynikiem pomiaru, charakteryzującego rozrzut (dyspersję) wartości, które w sposób uzasadniony można przypisać mierzonej wielkości. Niepewność pomiaru wynika z tego, że zawsze jest on niedokładny, co nie tylko wynika z niedoskonałości aparatury i zmysłów obserwatora, ale jest nieodłączną cechą takiej operacji. Z powodu tego, że proponowane metody są przeznaczone do zastosowania przemysłowego, jak było to przedstawione we wstępnych rozdziałach omawianej pracy, określenie niepewności pomiarowej jest bardzo pożądane. Ponadto, w opisie oczekiwanego błędu zabrakło wyników badania wpływu długości szerokiej części linii, która zostaje stała i



równa 50 mm. Być może należało by przedstawić kryterium wyboru tej długości w zależności od określonych parametrów, na przykład zakresu pracy systemu pomiarowego.

Rozdział 5, w którym opisuje się metody wytwarzania planarnych obwodów mikrofalowych na cienkowarstwowych podłożach, jest ważny z powodu faktu, że dokładność przedstawionych metod pomiarowych w dużym stopniu zależy od technologii wykonania układów pomiarowych. Potwierdzają powyższe stwierdzenie wyniki pomiarów wykonane przez Autora pracy. Zwraca się uwagę na przyczyny pogorszenia dopasowania struktur przy wyższych częstotliwościach, które związane są z chropowatością metalizacji oraz poszarpaniem krawędzi przewodzących linii, co bezpośrednio jest związane z technologią przygotowania układu pomiarowego.

Rozdział 6 podsumowuje wyniki badań uzyskanych w pracy i znacząco ułatwia Recenzentowi rozumienie poziomu badań i perspektywę zastosowania opracowanych metod w przyszłości. Mgr inż. Krzysztof Szostak stwierdza, że metody przedstawione w niniejszej rozprawie są na etapie koncepcji, co oznacza, że zweryfikowano ich podstawy teoretyczne oraz przeprowadzono wstępną demonstrację ich użyteczności w praktycznych zastosowaniach. Uzyskane rezultaty są obiecujące, niemniej jednak każda z opracowanych technik wymaga przeprowadzenia dalszych badań, szczególnie w kierunku określenia, między innymi ograniczeń opracowanych metod oraz określenia ich potencjału aplikacyjnego.

Na obecnym etapie, przedstawiona w pracy metoda oparta na zmianie szerokości linii mikropaskowej pozwala na pomiar stałej dielektrycznej laminatów i cienkich podłoży dielektrycznych przy założeniu małych strat badanego materiału. Umożliwienie pomiaru tangensa kąta strat, a w efekcie wyznaczenie zespolonej wartości przenikalności elektrycznej byłoby oczywistym rozszerzeniem metody. W wyniku przeprowadzonych badań Autorem stwierdzono kumulację błędów metody w obrębie obwodowego modelu nieciągłości skokowej. Niestety, nie przeprowadzono analizy, ale stwierdzono o konieczności dalszych badań. Ponadto, zaproponowany model nie uwzględnia sprzężenia elektromagnetycznego ze złączem pomiarowym. Istotnym rozszerzeniem metody byłaby również możliwość pomiaru zespolonej stałej dielektrycznej badanego materiału w zakresie fal milimetrowych. Jednak, w najbliższej przeszłości taki pomiar nie wydaje się być możliwym z powodu ograniczeń technologicznych oraz braku precyzyjnego nakreślenia ram stosowalności, ograniczeń oraz wpływu poszczególnych parametrów linii mikropaskowej na dokładność wyznaczania parametrów elektrycznych testowanego podłoża.

Opracowany mikrofalowy układ interferometryczny wymaga określenia granic stosowalności metody, a także wprowadzenie możliwości wyznaczenia tangensa kąta strat dla badanej substancji. Do atutów metody można zaliczyć możliwość połączenia się z dowolną liczbą innych czujników, np. przepływu, ciśnienia, temperatury itp.



Mgr inż. Krzysztof Szostak przedstawił oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego w dziedzinie nauk technicznych. Kandydat posiada wiedzę teoretyczną i praktyczną potrzebną do prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie Telekomunikacja. Praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Szostaka wyróżnia się szerokim zakresem zawartości merytorycznej i wnikliwością analizy stanu wiedzy dotyczącego podjętego zagadnienia naukowego. Wysoko oceniam wkład intelektualny Autora w opracowanie nowych rozwiązań z zakresu techniki pomiarowej. Stwierdzam w związku z tym, że Kandydat **spełniła wymagania** Ustawy z 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym i wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.



Prof., dr hab. Inż. Yevhen Yashchyshyn