

Warszawa, 6 czerwca 2018 r.

dr hab. inż. Mateusz Śmietana, prof. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych  
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki  
ul. Koszykowa 75  
00-662 Warszawa  
Tel. 22 234 6364  
Fax. 22 234 6063  
e-mail: M.Smietana@elka.pw.edu.pl

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt. „Analysis and design of differentially fed microwave networks composed of coupled-line sections” autorstwa pani mgr inż. Ilony Piekarcz  
wykonana na wniosek Prodziekana Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji  
z dnia 20.04.2018 r.

### 1. Zagadnienie naukowe i charakter pracy

Rozprawa wpisuje się w szeroko rozwijany na świecie obszar badawczy związany ze strukturami elektronicznymi wytwarzanymi na potrzeby charakteryzacji materiałów dielektrycznych w szerokim zakresie częstotliwości. Jak pokazują wyniki badań publikowanych w ciągu ostatnich kilku lat, możliwe jest wykonanie układów elektronicznych i optycznych, których odpowiedź jest silnie zależna od właściwości otaczających materiałów, przez co mogą one pełnić funkcje czujnikowe.

Praca pani mgr inż. Ilony Piekarcz dotyczy projektowania i analizy pasywnych układów mikrofalowych o pobudzeniu różnicowym zawierających sekcje linii sprzężonych. Układy takie znajdują zastosowanie w sprzęgaczach różnicowych, symetryzatorach oraz czujnikach. Autorka wskazuje potrzebę opracowania tego typu pasywnych układów mikrofalowych do połączeń z układami aktywnymi przy braku konieczności wielokrotnej symetryzacji bądź desymetryzacji sygnału.

Autorka rozprawy wyznaczyła jej podstawowe cele, którymi było: (1) opracowanie metod projektowania symetryzatorów Marchand'a o poprawionych w stosunku do prezentowanych w literaturze charakterystykach częstotliwościowych oraz mniejszych wymiarach, a także w konsekwencji realizacji tego celu i wykonania zaprojektowanych struktur (2) opracowanie taniego mikrofalowego systemu pomiarowego wykorzystującego linie sprzężone pobudzane różnicowo do badania właściwości cieczy i materiałów dielektrycznych. Miniaturyzację projektowanych elementów Autorka uzyskała dzięki wykorzystaniu techniki elementów quasi-skupionych oraz metamateriałowych linii lewoskrętnych. Do realizacji powyższych celów niezbędna była przede wszystkim analiza znanych rodzajów sprzęgaczy różnicowych (sprzęgacze gałęziowe, pierścieniowe, o liniach

sprzężonych w strukturze dielektrycznej o różnej jednorodności) oraz możliwości pobudzenia różnicowego w układach bazujących na liniach sprzężonych i ich wykorzystania do badania próbek dielektrycznych o niewielkich rozmiarach w szerokim zakresie częstotliwości. Należy zauważyć, że dla opracowanych metod pomiarowych Autorka wskazała nie tylko zalety, ale także zostały one ocenione pod względem ograniczeń zastosowania biorąc pod uwagę stan skupienia badanego materiału, potrzebę realizacji pomiaru względnego lub bezwzględnego, czy zakres analizowanych częstotliwości.

Rozprawa poświęcona jest przede wszystkim zagadnieniom projektowym z zakresu układów mikrofalowych. Opracowane i wytworzone struktury zostały scharakteryzowane biorąc pod uwagę możliwości ich zastosowań czujnikowych. Rozprawa ma charakter doświadczalny z uwzględnieniem wstępu teoretycznego do analizowanego zagadnienia.

## **2. Analiza źródeł literaturowych i wypływające z niej wnioski**

Rozprawa została napisana w oparciu o 21 prac współautorskich, gdzie w przypadku 17 z nich Autorka jest pierwszym spośród współautorów. Prace te zostały pogrupowane tematycznie w rozdziały i uzupełnione o krótkie wstępy teoretyczne. Każdy z rozdziałów odwołuje się do oddzielnej grupy pozycji bibliograficznych, których po pominięciu publikacji własnych jest w sumie około 130. W większości są to prace opublikowane w ciągu ostatnich kilkunastu lat w renomowanych czasopismach. Powołania na wspomniane pozycje są zasadne biorąc pod uwagę charakter pracy i świadczą o swobodnym poruszaniu się przez Autorkę w obszarze tematycznym rozprawy. Wnioski sformułowane w wyniku przedstawionego przeglądu literatury są przekonujące. Autorka przede wszystkim zauważa dynamiczny rozwój technologii układów zintegrowanych i przesuwanie zakresu ich pracy w kierunku wyższych częstotliwości. Wnioskiem z wykonanego przeglądu literaturowego jest potrzeba opracowania pasywnych układów mikrofalowych do połączeń z układami aktywnymi pracującymi w konfiguracji różnicowej, które nie będą wymagały wielokrotnej symetryzacji i desymetryzacji sygnału. Jako najbardziej obiecujące rozwiązanie Autorka wskazuje symetryzatory Marchand'a ze względu na ich prostotę, możliwość pracy w szerokim zakresie częstotliwości i możliwość miniaturyzacji.

## **3. Rozwiązanie postawionych zagadnień, użyte metody i przyjęte założenia**

Mając na uwadze cele rozprawy, dobór metod badawczych jest prawidłowy i wystarczający do jego realizacji. Autorka w ramach realizacji pierwszego z celów proponuje zastosowanie nowych koncepcji projektowania symetryzatorów Marchand'a, które pozwalają na pracę tych elementów w szerszym niż prezentowany w literaturze zakresie częstotliwości oraz ich miniaturyzację. W ramach zastosowanej techniki kompensacji linia transmisyjna łącząca linie sprzężone w symetryzatorze została skompensowana poprzez transformację do wirtualnych sekcji linii sprzężonych, które następnie zostały włączone w zasadnicze sekcje linii sprzężonych tworzących symetryzator. Autorka zaproponowała także nowe podejście do projektowania symetryzatorów w strukturze planarnej mikropaskowej, w

której wykorzystane zostały sprzęgacze kierunkowe z odcinkami niesprężonych linii lewoskrętnych włączonych pomiędzy sekcje linii sprzężonych. Podejście to umożliwiło uzyskanie wyższego sprzężenia nominalnego niż w przypadku wykorzystania linii sprzężonych i uzyskanie symetryzatorów, których impedancja wyjściowa może być kształtowana w szerokim zakresie. Następnie Autorka proponuje nowe podejście do wykonania sprzęgaczy gałęziowych i pierścieniowych pracujących w przy pobudzeniu różnicowym, które mogą być stosowane w układach o różnicowych wejściach/wyjściach. Ponadto Autorka rozważa realizację sprzęgaczy wielosekcyjnych o liniach sprzężonych i pobudzeniu różnicowym na przykładzie realizacji sprzęgacza symetrycznego trójsekcyjnego. Sprzęgacz ten zaprojektowany został w układzie pasków sprzężonych czołowo (ang. broadside coupled lines) o jednakowych szerokościach. Niezbędna do zaprojektowania sprzęgacza trójsekcyjnego realizacja współczynników sprzężeń o różnych wartościach została uzyskana poprzez zastosowanie różnego uwarstwienia dla różnych sekcji. W sekcjach skrajnych o słabszym współczynniku sprzężenia linie zostały oddzielone grubszą warstwą dielektryka w przeciwieństwie do sekcji środkowej, a połączenia między sekcjami zostały wykonane w postaci pionowych kołków zwierających (tzw. połączenia typu via). Ponieważ zaprezentowane podejście do projektowania sprzęgaczy wielosekcyjnych wymaga wykorzystania układów wielowarstwowych, Autorka zaproponowała wykorzystanie linii sprzężonych czołowo z przesunięciem oraz przedstawiła sposób projektowania sekcji linii sprzężonych w takim układzie. Jak zostało pokazane poprzez wprowadzenie przesunięcia linii przy zachowaniu symetrii układu można uzyskać różne współczynniki sprzężeń bez konieczności wprowadzania dodatkowych warstw dielektrycznych, co z technologicznego punktu widzenia znacznie upraszcza wykonanie układu. Autorka wykazała również możliwość projektowania sprzęgaczy o pobudzeniu różnicowym w strukturach niejednorodnych dielektrycznie oraz zaproponowała wykorzystanie metody kompensacji współczynników sprzężeń pojemnościowego i indukcyjnego z wykorzystaniem techniki elementów skupionych.

Rozwiązania konstrukcyjne i projektowe z zakresu pobudzanych różnicowo sekcji linii sprzężonych opracowane w ramach realizacji pierwszego celu zostały następnie wykorzystane do realizacji drugiego celu, czyli zastosowań czujnikowych uzyskanych układów, w szczególności badania materiałów dielektrycznych w szerokim zakresie częstotliwości. Uzyskane struktury czujnikowe pozwalają na identyfikację zmian zespolonej przenikalności materiałów dielektrycznych, lecz ze względu na brak efektu rezonansowego wymagają operacji przygotowawczych, w tym kalibracji. Autorka zauważa wysoką czułość uzyskanych struktur w przypadku zastosowania różnicowego pobudzenia sekcji linii sprzężonych oraz możliwość badania próbek o rozmiarach odpowiadających odstępowi między paskami metalizacji w linii sprzężonej. Parametry funkcjonalne otrzymanych struktur czujnikowych zostały określone w wyniku badań różnych cieczy i ciał stałych. Struktury czujnikowe uzupełnione o niskobudżetowy system pomiarowy pozwoliły na pomiar przenikalności materiałów z czułością porównywalną bądź wyższą od wartości prezentowanych w literaturze.

Użycie zarówno metod badawczych jak i założeń co do możliwości uzyskania wyników uważam za w pełni uzasadnione.

#### **4. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek doktoranta, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy**

W rozprawie analizie poddano wpływ modyfikacji konstrukcji układów bazujących na pasywnych układach mikrofalowych o pobudzeniu różnicowym zawierających sekcje linii sprzężonych na ich parametry funkcjonalne, w szczególności mając na uwadze zastosowania takich elementów do badania przenikalności cieczy. Materiał badawczy stanowiący podstawę do przygotowania rozprawy można uznać za kompletny, tj. obejmuje projekt układów mikrofalowych, ich analizy numeryczne, wykonanie, charakterystycję szerokopasmową, a w końcu po uzupełnieniu o dedykowany system analizujący, zastosowanie do badania różnych materiałów, w tym cieczy. Zgodnie z moją wiedzą praca jest oryginalna, co więcej w zakresie czujnikowym ma charakter interdyscyplinarny. Pośrednio o tym fakcie świadczą publikacje stanowiące bazę dla tej rozprawy, gdzie 5 z nich została opublikowana w wysokonotowanych czasopismach o cyrkulacji międzynarodowej (IF od 1,887 do 7,168). Prace te są jednak wieloautorskie co nieco utrudnia ocenę samodzielności Autorki i jej oryginalnego wkładu w ich powstanie. Wstępy teoretyczne do każdego z rozdziałów (poza Rozdziałem 2) ograniczają się głównie do opisu najważniejszych wyników uzyskanych w ramach towarzyszących im prac i są często powtórzeniem wstępów będących częścią tych prac. We wstępach do rozdziałów Autorka podkreśla nowatorski charakter materiału zawartego w towarzyszących pracach. W szeregu przypadkach użyte sformułowania mogą sugerować, że to Autorka a nie zespół naukowy jest twórcą tych prac. W rozprawie trudno jest doszukać się precyzyjnego określenia wkładu Autorki w powstanie prac stanowiących podstawę rozprawy. Mając jednak na uwadze, że mgr inż. Ilona Piekarcz jest pierwszym lub drugim współautorem we wszystkich pracach należy przypuszczać, że wkład ten był jednak wiodący.

#### **5. Umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)**

Praca jest dość obszerna (ponad 200 stron), napisana w języku angielskim i obejmuje bardzo szeroki zakres tematyczny. Rozprawa powstała w oparciu o 21 publikacji naukowych w tym 5 wysokonotowanych artykułów naukowych, 1 artykuł w czasopiśmie nienotowanym na liście JCR, 12 publikacji w materiałach konferencyjnych i 3 publikacje zgłoszone bądź w trakcie przygotowania. Rozprawa składa się z 7 rozdziałów, przy czym materiał publikacyjny został podzielony tematycznie i stanowi podstawę rozdziałów 3, 4, 5 i 6. Pozostałe rozdziały mają charakter uzupełniający. W ramach rozdziału 1 zawarto wstęp do poruszanej problematyki oraz zdefiniowano podstawowe cele rozprawy. Rozdział 2 to ogólny wstęp teoretyczny do zagadnień związanych z analizowanymi układami mikrofalowymi. Rozdział 7 obejmuje podsumowanie najważniejszych dokonań przedstawionych w ramach rozprawy.

Układ pracy jest złożony i wielowątkowy, co niewątpliwie wynika z jej szerokiego zakresu tematycznego, ale też utrudnia przyswojenie treści rozprawy jako całości. Wyniki przedstawione są w sposób ogólnie jasny i poprawny redakcyjnie.

## 6. Słabe strony rozprawy i jej główne wady

Ponownie podkreślam, że materiał badawczy, który zawarto w pracy uważam za bardzo wartościowy i kompletny. W moim odczuciu największy mankamentem rozprawy jest wspomniany wcześniej brak precyzyjnego określenia wkładu Autorki w powstanie wieloautorskich publikacji stanowiących podstawę powstania rozprawy, mimo umieszczenia w pracach na pierwszym lub drugim miejscu wśród współautorów.

Ponadto:

1. Niewątpliwie fragmenty pracy, szczególnie w zakresie wstępu teoretycznego mogły jednak zostać bardziej rozwinięte skupiając się na elementach szczególnie nowatorskich i szczegółowym odniesieniu do wyników uzyskiwanych przez inne zespoły badawcze;
2. W rozprawie można znaleźć wielokrotne powtórzenia treści, które wynikają z oparcia rozprawy na wielu publikacjach naukowych. Nie uważam jednak za odpowiednie powielanie treści zawartych w we wstępie do rozdziałów i wstępie do towarzyszących prac;
3. Autorka zarówno w streszczeniu pracy (język polski i angielski), a także wstępie i podsumowaniach wykonanych prac badawczych nie ustrzegła się sformułowań o charakterze ogólnym, których w moim przekonaniu powinno się unikać w opisach technicznych. Jako przykład można podać „sample detection in wide frequency range” (str. 19), „sensors feature good accuracy” (str. 176), gdzie powinny zostać podane dane liczbowe, które można porównać w wynikami prezentowanymi w innych opracowaniach.

Mimo powyższych mankamentów uważam rozprawę za bardzo wartościową. Od strony merytorycznej jedynie dwa elementy mogłyby stanowić cenne uzupełnienie rozprawy tj.:

1. We wstępach do publikacji z zakresu wykorzystania czujnikowego opracowanych struktur wspomniano o możliwości wykrywania bakterii i badań tkanek na potrzeby onkologii (str. 125 oraz 176) oraz badań żywności czy leków (str. 129). Jednak w zakresie badawczym zademonstrowano głównie wyniki analiz symulacyjnych lub badań jedynie z użyciem próbek referencyjnych, w tym laminatów, różnych alkoholi (str. 173), etanolu o różnej koncentracji i mleka UHT z różną zawartością tłuszczu (str. 153-154). Wydają się niezbędne dalsze badania przeprowadzone z udziałem bardziej złożonych materiałów pochodzenia biologicznego (tkanki, ciecze zawierające bakterie), aby dowieść zasadności sugestii odnośnie możliwości badań wspomnianych materiałów z zadawalającą użytkownika czułością;

2. Weryfikacji wymaga wpływ innych czynników, w tym przede wszystkim temperatury, na pomiar przenikalności z wykorzystaniem zaproponowanych koncepcji pomiarowych.

Brak powyższych elementów nie zakłóca jednak ogólnie pozytywnego odbioru pracy.

## **7. Przydatność rozprawy i podsumowanie**

Materiał badawczy opisany w pracach stanowiących podstawę do napisania rozprawy można z pewnością określić jako kompletny. Obejmuje on całościowy ciąg naukowo-badawczy od gruntownego wstępu teoretycznego i analiz numerycznych, poprzez szereg eksperymentów przeprowadzonych w sposób świadomy i biorąc pod uwagę szerokie spektrum parametrów metod, usprawnienia i modyfikacje użytych metod oraz wnikliwą analizę uzyskanych wyników i ich podsumowanie. Uzyskane wyniki należy uznać za bardzo przydatne i stanowiące podstawę do dalszych prac nad rozwojem układów mikrofalowych bazujących na sekcjach linii sprzężonych i ich szerokiego zakresu zastosowań. Uzupelnienia wspomnianego materiału publikacyjnego w postaci wstępów teoretycznych i opisu zakresu realizowanych badań są pomocne w przyswojeniu pracy jako całości, choć pozostawiają pewien niedosyt.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i obejmuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autorka wykazała niezbędną wiedzę teoretyczną dotyczącą dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z powyższym, rozprawa doktorska mgr inż. Ilony Piekarcz pt. „Analysis and design of defferentially fed microwave networks composed of coupled-line sections” odpowiada warunkom określonym w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65/2003 poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Ilony Piekarcz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

