

tytuł, stopień, imię i nazwisko
dr hab. inż. Adam Abramowicz

data 12.12.2021 r.

miejsce pracy
Politechnika Warszawska
Instytut Systemów Elektronicznych

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEE

Wpłynęło dnia 20. 12. 2021
Zarejestrowano pod nr
Podpis

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DYSCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA i ELEKTROTECHNIKA
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ im S. STASZICA w KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy:

Microwave directional couplers' design with the use of planar quasi-TEM transmission line sections. Analysis, experimental investigation and application.

Autor rozprawy:

mgr inż. Robert Smolarz

Tematyka, cel i zakres pracy

Rozprawa dotyczy analizy, projektowania, realizacji i weryfikacji doświadczalnej różnych sprzęgaczy kierunkowych wykonywanych w technologiach linii paskowych na podłożu PCB oraz w technologii monolitycznych układów scalonych w tym również realizacji systemów zawierających opracowane sprzęgacze kierunkowe. Sprzęgacze kierunkowe są to elementy niezwykle popularne w technice wielkich częstotliwości i mikrofalowej z racji możliwości rozdzielania i sumowania sygnałów a zatem kontroli przepływu mocy w układach. Sprzęgacze kierunkowe są jednocześnie elementami, które z powodu ogromnej liczby postaci i możliwych sposobów realizacji stanowią przedmiot stałego zainteresowania i dużej liczby pojawiających się publikacji. Jednocześnie sprzęgacze są dość trudne do analizy i projektowania nie tylko ze względu na liczbę wrót, ale głównie ze względu na fizykę zjawisk odpowiadających za sprzężenie w przypadku wykorzystywania linii sprzężonych oraz właściwości linii transmisyjnych w realizacjach wykorzystujących odpowiednio połączone odcinki linii transmisyjnych.

Autor sformułował cztery punkty stanowiące tezę rozprawy:

1. Jest możliwe wyrównanie współczynników sprzężenia indukcyjnego i pojemnościowego w asymetrycznych planarnych nisko stratnych sprzęgaczach kierunkowych w celu poprawy kierunkowości
2. Wyrównanie współczynników sprzężenia indukcyjnego i pojemnościowego zwiększa kierunkowość sprzęgaczy wykonanych w technologii monolitycznych układów scalonych.
3. Modyfikacja topologii klasycznych sprzęgaczy kierunkowych umożliwia transformację impedancji w szerszym zakresie częstotliwości i zwiększa stosunek transformacji impedancji.
4. Sprzęgacze kierunkowe o dużej jakości mogą być elementami układów scalonych w zakresie wielkich częstotliwości.

Wprawdzie poniżej też nazwał je celami rozprawy, ale jak widać zakres rozprawy określony tezami/celami jest bardzo szeroki. Można nawet uznać, że tak sformułowane tezy/cele (w szczególności dwie pierwsze) stanowią określenie kierunku poprawy parametrów sprzęgaczy już od kilkudziesięciu lat, przy czym należy od razu dodać, że wprawdzie kolejne pokolenia mikrofalowców próbują rozwiązać problemy i osiągnąć wymienione cele realizując kolejne nowe sprzęgacze, to ciągle jest to jedynie droga w kierunku, a nie rozwiązanie całkowite. Zatem sformułowane przez autora tezy/cele są jasne i dobrze określają kierunki działań. Aby udowodnić poprawność tez autor zaprojektował szereg sprzęgaczy kierunkowych w różnych technologiach, zrealizował te sprzęgacze i dokonał ich pomiarów. Rozprawa zawiera dokumentację procesu dochodzenia do otrzymanych wyników od analizy teoretycznej, aż do oceny zrealizowanych układów.

Analiza źródeł oraz stan wiedzy autora.

Lista odwołań bibliograficznych obejmuje 162 pozycje, z czego 12 odwołań dotyczy prac, których autor jest współtwórcą, w tym 8 opublikowanych prac w czasopiśmie z listy A MNiSW. Autor zamieścił również listę swoich prac, które nie są bezpośrednio związane z przedmiotem rozprawy. Autor ma wystarczającą wiedzę i orientację w literaturze przedmiotu dotyczącej rozprawy choć w pewnym sensie unika odwołań do publikacji źródłowych (z lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego wieku) posilając się książkami wydanymi w obecnym tysiącleciu. Autor ma również dużą wiedzę o projektowaniu i praktycznych realizacjach układów wielkich częstotliwości znacznie wykraczającą poza wiedzę o sprzęgaczach kierunkowych. Świadome stosowanie teorii do propozycji modyfikacji sprzęgaczy kierunkowych wskazują na świetne rozumienie zjawisk fizycznych będących podstawą działania realizowanych sprzęgaczy. Zagadnienie sprzęgaczy kierunkowych w tym sprzęgaczy pobudzanych różnicowo jest bardzo obszerne i autor dobrze sobie radzi w różnych aspektach co potwierdza jego dojrzałą wiedzę w dziedzinie.

Omówienie rozprawy

Rozprawa dotyczy realizacji i zastosowań sprzęgaczy kierunkowych. Zakres rozprawy jest bardzo szeroki i obejmuje (Rozdział II) szereg różnych typów sprzęgaczy kierunkowych budowanych ze sprzężonych sekcji linii transmisyjnych w technologii PCB i monolitycznych układów scalonych w tym sprzęgaczy klasycznych i sprzęgaczy o pobudzeniu różnicowym z naciskiem na metody kompensacji prędkości fazowych lub sprzężeń indukcyjnych i pojemnościowych oraz strat w sprzęgaczach. Ponadto w pracy opisano (Rozdział III) różne realizacje sprzęgaczy transformujących impedancję biorąc pod uwagę aspekt stosunku transformujących impedancji i szerokości pasma realizowanych sprzęgaczy. Różne realizacje sprzęgaczy zostały w końcu wykorzystane (Rozdział IV) i zintegrowane w realizacji szeregu systemów takich jak sensor (czujnik) służący do pomiarów przenikalności elektrycznej materiałów, zrównoważony wzmacniacz pobudzany różnicowo wykonany w technologii monolitycznej oraz podobnie wykonany front-end radaru FMCW na 24 GHz. Przedstawione sprzęgacze zostały zaprojektowane, zrealizowane i zmierzone. Autor przedstawia porównania teoretycznych i praktycznych rezultatów. Idee stojące za metodami poprawy parametrów realizowanych sprzęgaczy oparte są istniejące teorie i opis matematycznych. Autor w sposób twórczy wyciąga wnioski z teorii i wdraża szereg ciekawych pomysłów w postaci projektów sprzęgaczy. Wyciąga też wnioski ze zrealizowanych pomysłów i zastosowanych metod projektowych. W tym sensie dokumentuje i opisuje drogę, która najczęściej prowadzi go we właściwym kierunku, czyli w stronę poprawionych parametrów sprzęgaczy. Dlatego też można uznać, że rozprawa ma charakter bardziej eksperymentalny niż teoretyczny. Autor większość zrealizowanych sprzęgaczy i układów stosujących sprzęgacze przedstawiał w opublikowanych wcześniej pracach.

Wprawdzie nie jest znany udział współautorów w przywoływanych w rozprawie publikacjach Autora, ale w tym przypadku mamy do czynienia z nadmiarem. Autor jest współautorem licznych publikacji. Publikuje od 5 lat, w dorobku ma ponad 20 publikacji z czego 10 jako pierwszy współautor i nie ma wątpliwości, że jego udział w artykułach i komunikatach konferencyjnych jako pierwszego współautora jest istotny, a nawet dominujący.

Oryginalnym dorobkiem przedstawionym w rozprawie jest: opracowanie sposobu kompensacji sprzęgaczy kierunkowych, opracowanie sprzęgaczy kierunkowych w realizacji monolitycznych układów scalonych, opracowanie szeregu sprzęgaczy kierunkowych z różnicowym pobudzaniem, opracowanie sprzęgaczy transformujących impedancję w różnych wersjach, zastosowanie opracowanych sprzęgaczy m.in. w monolitycznym sensorze na 24 GHz, zrównoważonym wzmacniaczu na GaAs i w radarze FMCW (front-end) w paśmie 24 GHz. Autor przedstawił w Podsumowaniu długą listę swoich osiągnięć zawartych w rozprawie. Lista ta odpowiada zawartości rozprawy i zawartości publikacji, które zostały napisane przy udziale Autora. Cele rozprawy zostały zrealizowane i tezy/cele w znacznym stopniu osiągnięte.

Zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy

Rozprawa napisana w języku angielskim ma 148 stron objętości. Została podzielona na 5 rozdziałów, które poza wstępem i podsumowaniem dotyczą dobrze wydzielonych zagadnień sprzęgaczy szerokopasmowych, sprzęgaczy transformujących impedancję i zastosowań sprzęgaczy w mikrofalowych układach scalonych. Mimo dużej objętości rozprawa jest zwięzła gdyż sporą część objętości stanowią rysunki, których naliczyłem 123. Rysunki są czytelne, wykresy mają dobrze opisane osie. Rozprawa zawiera również listę rysunków i tabel oraz 162 pozycje bibliografii. Wywód autora jest logiczny i jak wskazuje rozmiar pracy, przynajmniej w większości, szczegółowy. Przedstawiane wyniki są jasne i w tekście najczęściej dobrze opisane. Podział zagadnień pomiędzy rozdziały świadczy o starannym przemyśleniu układu pracy i zawartych w niej treści. Występują natomiast pewne, na szczęście niezbyt liczne, niedostatki językowe i redakcyjne np. słowo angielskie „into” jest pisane rozdzielnie (np. str.26 i str. 40), skrót „Fig.” zawieruszył się kilka razy przed numerem rysunku na stronie 38, parametr S_{13}^* został zapisany S_{13}^*3 we wzorze (1.2). Występuje kilka błędów gramatycznych związanych z liczbą pojedynczą lub mnogą. Pewnym niedostatkiem, aczkolwiek dyskusyjnym, jest sposób numerowania odwołań do bibliografii – na pierwszej stronie numerowanie odwołań rozpoczyna [83], a następne jest [71] – utrudnia to czytanie rozprawy.

Wady i uwagi do rozprawy

Wymienione poniżej wady i zadane pytanie do rozprawy są z punktu widzenia całości niewielkie, a częściowo dyskusyjne i nie wpływają na ogólnie bardzo pozytywną ocenę rozprawy.

Sformułowanie „improved performance” jest najczęściej używane zbyt ogólnie bez konkretnego odniesienia do parametrów sprzęgaczy np. szerokości pasma lub kierunkowości. Autor we wstępie podał definicje parametrów sprzęgaczy przy numeracji wrót zgodnych z rysunkiem 1.1.b opisanym backward-wave directional coupler podając wyprowadzenie zależności za książką Davida Pozara [109] choć w książce numeracja wrót i rysunek sprzęgacza (Fig. 7.4) przedstawiają forward-wave directional coupler. Niestety numeracja wrót kolejno przedstawianych przez autora sprzęgaczy nie jest konsekwentnie zgodna z wprowadzonymi definicjami konwencją i zmienia się.

Wiele rysunków zawiera tylko część obliczonych lub zmierzonych parametrów macierzy rozproszenia S i nie jest pewne dlaczego tylko niektóre zostały przedstawione (np. wykresy na stronie 52) lub dlaczego krzywe nie zostały opisane jak na rys. 2.37 c,d.

Odwołania do bibliografii najczęściej nie są robione do publikacji źródłowych, które często powstawały w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Powoływanie się na zawierające

potrzebne zależności, ale podawane w publikacjach stosunkowo nowych nie powinno być regułą. Na przykład na stronie 34 model przedstawiony na rys. 1.6 i rys. 1.7 ma odwołanie do książki z 2007.

Ostatni paragraf przed podrozdziałem 1.2 zawiera pewne zapętlenie: Autor napisał, że można udowodnić zerowanie się parametrów $S_{diff/comm}$ i $S_{comm/diff}$ i dlatego można zapisać realację (1.31), która wraz z warunkiem odwracalności po zastosowaniu w relacjach (1.28) i (1.27) prowadzi do zerowania wymienionych wyżej $S_{diff/comm}$ i $S_{comm/diff}$.

W rozprawie nie ma informacji dotyczących sposobu pomiaru charakterystyk sprzęgaczy, w szczególności sprzęgaczy transformujących impedancję. Złącza np. na rys 3.13 zostały opisane 10Ω i 50Ω chociaż wyglądają identycznie. Zakres analizowanych/realizowanych impedancji w sprzęgaczach transformujących impedancję też wydaje się przekraczać typowe wartości uzyskiwane w liniach paskowych.

Jaka jest różnica między „total loss” a „insertion loss” na stronach 100 i 101.

Dwa pierwsze zdania podrozdziału 1.4. nie są w ogólności prawdziwe. Kilka zdań niżej Autor napisał, że izolacja i RL sprzęgacza rośnie z częstotliwością, choć rys. 1.13 przedstawia zależność odwrotną.

Co i w funkcji czego jest obliczane na rys. 2.17 a?

Macierz indukcyjności (2.13) nie jest symetryczna względem głównej przekątnej – dlaczego? Jaki jest wpływ nakładanej warstwy kompensującej (np. sprzęgacz z rys. 2.51) przy obecności szczelin powietrznych?

Podsumowanie

Praca ma znaczenie dla rozwoju metod realizacji biernych układów mikrofalowych w technice linii paskowych i technice mikrofalowych układów scalonych. Autor wskazuje metody realizacji i projektowania, które mogą być przydatne w praktyce oraz znaleźć zastosowanie w realizowanych układach. Należy stwierdzić, że Autor zrealizował postawione przed pracą cele i uzyskał rezultaty potwierdzające sformułowane tezy. Zgromadził zasługujący na wyróżnienie dorobek publikacyjny i wykazał się wystarczającą wiedzą i poziomem prezentowanych rozwiązań, aby uznać go za przyszłego samodzielnego naukowca, który zasługuje na stopień doktora nauk technicznych. Rozprawa mieści się w szerokim nurcie prac, które łączą aspekty naukowe i techniczne, poznawcze i praktyczne, w tym zapewne komercyjne, dlatego jest istotna dla rozwoju nauk technicznych w zakresie zastosowań układów i systemów wielkich częstotliwości m.in. w telekomunikacji, radiolokacji i nauce.

Rozprawa i dorobek autora mieszczą się w ramach dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

Reasumując uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Smolarza z nadmiarem spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w odpowiedniej ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym i zwracam się do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika w Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Jednocześnie biorąc pod uwagę dużą aktywność naukową Autora i poziom przedstawionych publikacji wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



Podpis