

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I
ELEKTROTECHNIKA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

zaprasza na
PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Arkadiusza Gołaszewskiego

która odbędzie się w dniu 16 listopada 2021 roku o godzinie 12⁰⁰ w
trybie hybrydowym*

Tytuł rozprawy doktorskiej:

„Projektowanie oraz realizacja sprzęgaczy o dużej kierunkowości”

Promotor: dr hab. inż. Adam Abramowicz, prof. uczelni, Wydział Elektroniki i
Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza, Akademia Górniczo-Hutnicza w
Krakowie

dr hab. inż. Waldemar Susek, prof. uczelni, Wojskowa Akademia
Techniczna w Warszawie

Na [stronie internetowej wydziału](#) znajdują się streszczenie rozprawy oraz recenzje, jak również
dostęp do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

W imieniu Rady Naukowej Dyscypliny
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
Politechniki Warszawskiej

Prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn
Przewodniczący Komisji Doktorskiej

*Kandydat oraz komisja doktorska uczestniczą w obronie w trybie stacjonarnym w
sali 116 budynku Wydziału Elektroniki i Techniki Informacyjnych PW.

Pozostałe zainteresowane osoby mogą uczestniczyć w obronie zdalnie poprzez
spotkanie MS Teams <https://tinyurl.com/32v92uuz>

Streszczenie

Przedmiotem rozprawy są sprzęgacze kierunkowe, realizowane z odcinków niesprzężonych elektromagnetycznie linii transmisyjnych oraz skupionych pojemności, zapewniających wypadkowe sprzężenie między liniami. Dwie niesprężone linie transmisyjne i dwie skupione pojemności, tworzą najprostszy wąskopasmowy sprzęgacz kierunkowy. Metody projektowe oraz zrealizowane sprzęgacze, przeważnie w technologii planarnej, przedstawione w niniejszej rozprawie, wypełniają lukę w zakresie projektowania i realizacji sprzęgaczy o dużej kierunkowości. Warto również wspomnieć, iż jednocześnie są to sprzęgacze o prostej konstrukcji i mniejszych rozmiarach, niż tradycyjne sprzęgacze. Przedstawione sprzęgacze mogą być realizowane ze wszystkich typów linii transmisyjnych, jednakże większość przedstawionych w rozprawie rozwiązań, dotyczy niesymetrycznej linii paskowej. Co więcej, udowodniono, że konstrukcja z pojemnościami skupionymi i odcinkami niesprzężonych linii, świetnie nadaje się do realizacji sprzęgaczy transformujących impedancję. Rezultaty pracy dowodzą postawionej tezy, że możliwe jest projektowanie oraz realizowanie sprzęgaczy kierunkowych o dużej kierunkowości z odcinków niesprzężonych linii transmisyjnych oraz skupionych pojemności sprzęgających na podstawie zależności uzyskanych drogą analizy obwodowej ogólnej struktury sprzęgacza wielosekcyjnego i analiz obwodowych dla prostych struktur sprzęgaczy jednosekcyjnych, dwusekcyjnych oraz transformujących impedancję.

Słowa kluczowe: sprzęgacze kierunkowe, wysoka kierunkowość, modelowanie sprzęgaczy, sprzęgacze wielowarstwowe, sprzęgacze wielosekcyjne, transformacja impedancji

Abstract

The design methods and directional couplers realizations made of uncoupled transmission lines sections and lumped capacitances, which were located at the ends of lines determine the coupling between lines have been presented in thesis. Design methods, realized and measured directional couplers, presented in this dissertation, fill the gap in the design and implementation of high directivity couplers based on the planar technology. It is also worth mentioning that at the same time the couplers are simple and smaller in the size than traditional realizations. The presented couplers can be realized employing all types of transmission lines, however, most of the solutions have been related to microstrip lines. Moreover, it has been proven that the construction with lumped capacitances and sections of uncoupled lines is perfect for implementation of impedance transforming couplers. The results of the dissertation prove the thesis that it is possible to design and implement directional couplers with high directivity using sections of uncoupled transmission lines and lumped coupling capacitances on the basis of the formulas obtained from circuit analysis of the multi-section general coupler structure and from circuit analysis of simple structures like single-section, two-section and impedance transforming couplers.

Keywords: directional couplers, high directivity, coupler modeling, multi-layer couplers, multi-section couplers, impedance transformation

Kraków 30.08.2021r.

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

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

Tytuł rozprawy: Projektowanie oraz realizacja sprzęgaczy o dużej kierunkowości

Autor rozprawy: Arkadiusz Gołaszewski

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Praca mgr. inż. Arkadiusza Gołaszewskiego zatytułowana „Projektowanie oraz realizacja sprzęgaczy o dużej kierunkowości” podejmuje zagadnienie opracowania układów sprzęgaczy kierunkowych o dużej kierunkowości wykonanych w układzie sekcji dwóch niesprzężonych linii transmisyjnych o odpowiedniej długości elektrycznej, do których dołączone są dwie pojemności skupione realizujące sprzężenie pomiędzy tymi liniami. Pomimo intensywnych badań prowadzonych w ostatnich latach w obszarze realizacji pasywnych układów podziału i sumowania mocy sprzęgacze kierunkowe są wciąż przedmiotem zainteresowań wielu ośrodków badawczych. Wciąż prowadzone są badania mające na celu opracowanie sprzęgaczy o bardzo dobrych parametrach elektrycznych, w tym dobrego dopasowania impedancyjnego oraz kierunkowości, a także niewielkich rozmiarów zaprojektowanego układu. Z tego względu należy uznać, że tematyka pracy wpisuje się w aktualny obszar badawczy i podejmuje ciekawy problem realizacji sprzęgaczy o dużej kierunkowości. Kierunkowość jest jednym z ważniejszych parametrów sprzęgaczy kierunkowych decydującym o rozplywie sygnału w tym układzie do poszczególnych wrót. Cel pracy został jasno sformułowany we wstępie rozprawy wraz z twierdzeniem, że możliwe jest projektowanie sprzęgaczy kierunkowych o dużej kierunkowości w postaci odcinków niesprzężonych linii transmisyjnych oraz skupionych pojemności sprzęgających stanowiącym tezę rozprawy. Praca stanowi uzupełnienie obecnego stanu wiedzy dotyczącego projektowania i realizacji pasywnych układów pozwalających na kierunkowy podział/sumowanie mocy i skupia się wokół jednej wybranej grupy sprzęgaczy kierunkowych stawiając nacisk na pozyskiwaną kierunkowość w tych układach. Należy podkreślić, że sprzęgacze kierunkowe znajdują szerokie zastosowanie we współczesnych systemach telekomunikacyjnych i pomiarowych, z tego względu należy uznać, że tematyka rozprawy jest istotna z punktu widzenia

Wincza

ewentualnych przyszłych zastosowań. Wśród potencjalnych przyszłych zastosowań Autor rozprawy wymienia systemy akceleratorów cząstek elementarnych, w których nie jest wymagane szerokie pasmo pracy, natomiast kierunkowość sprzęgacza jest decydującym parametrem ze względu na wysoki poziom mocy.

Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i składa się z 9 rozdziałów oraz 5 dodatków, w tym wstępu i podsumowania. W rozdziale drugim przedstawione są podstawowe parametry sprzęgaczy kierunkowych, a także krótko omówione są podstawowe typy i rodzaje tych układów. W rozdziale 3 zaprezentowany jest opis ogólny sprzęgaczy wielosekcyjnych złożonych z odcinków niesprzężonych linii transmisyjnych oraz skupionych kondensatorów sprzęgających. Rozdział 4 przedstawia szczegółowy opis najprostszego przypadku, tj. sprzęgacza jednosekcyjnego. Rozdział ten podsumowuje najważniejsze wnioski i prezentuje otrzymane wyniki, natomiast szczegółowa analiza teoretyczna bazująca na opisie obwodowym znajduje się w dodatku A, dodatek B prezentuje wyniki symulacji obwodowych, a dodatek C wyniki analizy elektromagnetycznej. Rozdział 5 poświęcony jest prezentacji wyników otrzymanych dla jednosekcyjnego sprzęgacza, w którym sprzężenie zrealizowane zostało w postaci pojemności sprzęgającej pomiędzy dwiema warstwami wielowarstwowej płytki drukowanej. W rozdziale 6 przedstawiona została kolejna modyfikacja sprzęgacza jednosekcyjnego, w którym pojemności sprzęgające wykonane zostały w postaci fragmentu laminatu dwustronnie metalizowanego umieszczonego pionowo na płycie drukowanej. W rozdziale 7 zaprezentowane zostały wyniki badań otrzymane dla sprzęgaczy dwusekcyjnych pozwalających na poszerzenie pasma pracy. Rozdział 8 przedstawia analizę teoretyczną oraz wyniki eksperymentalne jednosekcyjnych sprzęgaczy kierunkowych z jednoczesną transformacją impedancji. Rozważone zostały 3 różne przypadki impedancji obciążającej poszczególne wrota układu i wyprowadzone zostały wzory projektowe bazując na analizie obwodowej proponowanych układów. W rozdziale tym zaprezentowane zostały otrzymane wyniki analiz oraz skomentowane wyniki pomiarów wykonanych modeli, natomiast szczegółowa analiza obwodowa tych układów przedstawiona jest w dodatku D, a wyniki analiz elektromagnetycznych w dodatku E. Rozprawę kończy rozdział 9, w którym Autor podsumowuje otrzymane wyniki badań, w szczególności zwracając uwagę na problemy techniczne napotkane w trakcie realizacji poszczególnych układów sprzęgaczy oraz dowodzi prawdziwości postawionej we wstępie rozprawy tezy.

- 2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Bibliografia rozprawy składa się z 97 pozycji literaturowych. Autor powołuje się zarówno na starsze fundamentalne prace teoretyczne dotyczące tematyki poruszanej w rozprawie i zawierające podstawowy

opis matematyczny opisywanych układów, jak i najnowsze pozycje literaturowe zawierające głównie różne rozwiązania technologiczne i projektowe. Przedstawiony we wstępie rozprawy przegląd rozwiązań dotyczący realizacji sprzęgaczy kierunkowych świadczy o dobrym rozpoznaniu tematyki oraz dowodzi dostatecznej wiedzy Autora w tym zakresie. Autor bardzo zwięźle przedstawia najnowsze rozwiązania układowe i konstrukcyjne sprzęgaczy realizowanych w różnych strukturach. Pomimo zwięzłości opisu przegląd literaturowy należy uznać za jasny i przejrzysty, a dobór źródeł za prawidłowy.

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

Celem pracy było opracowanie sprzęgaczy kierunkowych realizowanych w postaci połączenia sekcji linii transmisyjnych niesprężonych oraz kondensatorów sprzęgających. Autor dokonał analizy teoretycznej tych układów posługując się metodami analizy obwodowej. Przedstawione wyniki obliczeń potwierdzają, że Autor sprawnie posługuje się metodami opisu tych układów, a przedstawione wyniki pomiarów wykonanych układów sprzęgaczy kierunkowych dowodzą prawidłowości wykonanych obliczeń teoretycznych i wykorzystania prawidłowych metod do rozwiązania postawionego zagadnienia.

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 zaliczyć można przede wszystkim:

- Analizę teoretyczną układów sprzęgaczy kierunkowych wielosekcyjnych z wykorzystaniem metod analizy obwodowej.
- Analizę teoretyczną układów sprzęgaczy jednosekcyjnych oraz wyprowadzenie zależności analitycznych ułatwiających projektowanie tego typu sprzęgaczy.
- Wykonanie symulacji obwodowych i elektromagnetycznych wielu rozwiązań układowych jednosekcyjnych oraz dwusekcyjnych sprzęgaczy kierunkowych.
- Wykonanie badań eksperymentalnych łącznie z dostrojeniem opracowanych układów i wykonanie pomiarów poszczególnych rozwiązań sprzęgaczy, w których pojemność sprzęgająca zrealizowana została z wykorzystaniem różnych technik, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków dotyczących realizowalności poszczególnych typów sprzęgaczy.
- Wykonanie badań eksperymentalnych dwusekcyjnych sprzęgaczy kierunkowych, w których pasmo pracy jest znacznie poszerzone w stosunku do rozwiązań jednosekcyjnych.

Vina

- Wykonanie analizy teoretycznej sprzęgaczy jednosekcyjnych, w których możliwe jest pozyskanie jednocześnie transformacji impedancji. Wykonane zostały obliczenia i analizy dla różnych wariantów impedancji obciążającej poszczególne wrota układów. Autor dowiódł, że w takim układzie możliwe jest obciążenie dwóch dowolnych wrót sprzęgacza inną impedancją niż impedancja obciążająca pozostałe wrota sprzęgacza. Prowadzi to do realizacji trzech różnych układów sprzęgaczy kierunkowych.
- Weryfikację eksperymentalną opracowanych metod projektowych sprzęgaczy transformujących impedancję poprzez wykonanie pomiarów zaprojektowanych i wykonanych układów.

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

Praca napisana jest w języku polskim w sposób jasny i przejrzysty. Autor w zwięzły i przejrzysty sposób zarysowuje problem i komentuje otrzymane wyniki, jednakże stosując niekiedy pewne sformułowania żargonowe. Dodatkowo uwagę zwraca fakt prezentacji wyników teoretycznych. Praca zawiera bardzo dużą ilość rysunków przedstawiających wyniki analiz obwodowych i elektromagnetycznych. Prezentacja tych wyników powinna być bardziej zwięzła, a skala wartości decybelowych lepiej dobrana (niekiedy sięga -130 dB), co jest wartością nierealną w praktyce, aczkolwiek w odniesieniu do wyników analizy analitycznej dość oczywista.

6. Jakie są słabe strony i jej główne wady?

Praca przedstawia zagadnienia związane z projektowaniem i realizacją sprzęgaczy kierunkowych realizowanych jako połączenie sekcji linii niesprzężonych oraz skupionych kondensatorów sprzęgających. Praca stanowi logiczną całość, a prezentacja wyników zarówno teoretycznych jak i wyników prac eksperymentalnych przedstawiona została w jasnej i zwięzłej formie. W pracy można jednakże wskazać pewne słabsze strony, których wyjaśnienie uzupełni treść prezentowanych w rozprawie zagadnień, tj.:

- Autor nie ustrzegł się drobnych literówek i błędów w trakcie redakcji rozprawy. Dodatkowo można znaleźć w rozprawie słownictwo żargonowe. Nie jest to jednakże znacząca liczba błędów, która mogłaby w istotny sposób rzutować na przejrzystość rozprawy, więc poszczególnych błędów w recenzji nie cytuję.
- W rozprawie można znaleźć czasami sformułowania nieprecyzyjne, np. na str. 11 Autor wspomina, że „w dwóch sprzężonych niesymetrycznych liniach paskowych rozchodzą się rodzaje parzysty i nieparzysty...”, jest to oczywiście prawda ale tylko w odniesieniu do pasków symetrycznych. W ogólnym przypadku mamy do czynienia z rodzajami typu c i n.

hiz

- W rozdziale 7 przedstawiona jest analiza sprzęgacza dwusekcyjnego. Autor wyprowadził formuły opisujące odpowiednie napięcia w tym układzie, ale nie podjął próby analitycznego wyznaczenia poszczególnych parametrów wymaganych do projektowania tego sprzęgacza. Czy można analitycznie wyznaczyć wartości wymaganych pojemności bez użycia metod optymalizacyjnych?
- W pracy Autor prezentuje poszczególne etapy projektowania układów prezentując wszystkie charakterystyki częstotliwościowe otrzymane zarówno na drodze obliczeń obwodowych jak i elektromagnetycznych. Efektem tego jest dość duża liczba rysunków, dodatkowo niekiedy poszczególne charakterystyki przedstawiane są w skali decybelowej sięgającej -130 dB. Tak niskie wartości są oczywiście nierealizowalne i są wynikiem zastosowania modelu analitycznego. W mojej ocenie prezentacja mogłaby być bardziej zwięzła, co by ułatwiło również porównanie otrzymanych wyników, zwłaszcza że symulacje elektromagnetyczne w dużej mierze znajdują się w dodatkach i ciężko je porównać z wynikami pomiarów.
- Wykonane w rozdziale 7 dwusekcyjne sprzęgacze o poszerzonym paśmie wykazują niekiedy brak drugiego minimum w charakterystykach częstotliwościowych. Wskazuje to na niedostrojenie sprzęgaczy. Czy Autor może wyjaśnić ten efekt?
- Również w przypadku sprzęgaczy jednosekcyjnych wyniki eksperymentalne pokazują, że dla niektórych typów sprzęgaczy minimum izolacji nie pokrywa się z minimum współczynnika odbicia. Czy Autor mógłby wskazać główne przyczyny tego efektu? Ze względu na stosunkowo prostą strukturę sprzęgaczy wydawać by się mogło, że można wskazać powód tej rozbieżności dość precyzyjnie.
- W pracy brakuje również podsumowania poszczególnych metod realizacji kondensatorów sprzęgających, którym Autor poświęcił dość dużo uwagi. Jakie własności mają poszczególne rozwiązania i jakie są wady i zalety poszczególnych rozwiązań?

Przedstawione wyżej uwagi mają charakter dyskusyjny i nie stanowią istotnych wad przedstawionej rozprawy doktorskiej. Niewątpliwie wadą prezentowanej rozprawy doktorskiej jest fakt, że wyniki badań zrealizowanych w trakcie rozprawy doktorskiej prezentowane były prawie wyłącznie na konferencjach, natomiast brak jest w wykazie dorobku Autora rozprawy publikacji w uznanych periodykach. W dorobku Autora znajduje się jeden artykuł opublikowany w IEEE MTT, jednakże tematyka tej publikacji nie jest bezpośrednio związana z tematyką rozprawy doktorskiej.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi ciekawe uzupełnienie literatury światowej dotyczącej projektowania i realizacji sprzęgaczy kierunkowych. W rozprawie przedstawiono prosty sposób realizacji

Lin

takich układów, w których możliwe jest pozyskanie dużej kierunkowości. Pomimo faktu, że są to układy głównie wąskopasmowe ich prosta konstrukcja powoduje, że tego typu układy mogą znaleźć potencjalne zastosowanie w obecnych systemach telekomunikacyjnych i pomiarowych zwłaszcza pracujących przy wysokich mocach, w których podstawowym wymaganiem stawianym sprzęgaczom kierunkowym jest duża kierunkowość. Szczególnie interesujące są przedstawione w rozprawie układy sprzęgaczy z jednoczesną transformacją impedancji, które mogą znaleźć zastosowanie we wzmacniaczach dużej mocy realizowanych np. w układach zrównoważonych. Podsumowując należy stwierdzić, że rozprawa doktorska stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny, a opracowane układy sprzęgaczy mogą znaleźć zastosowanie w obecnie rozwijanych systemach.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

Pracę można zaliczyć jako: spełniającą wymagania.

9. Wniosek końcowy:

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca, zarówno w odniesieniu do przedstawionych analiz teoretycznych, jak i zaprezentowanych wyników prac eksperymentalnych stanowi oryginalny wkład w rozwój dziedziny elektronika. Mgr inż. Arkadiusz Gołaszewski rozwiązał postawiony cel naukowy, dowodząc postawionej we wstępie rozprawy tezy i wykazał się wiedzą oraz umiejętnościami wymaganymi dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Rozprawa doktorska 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 nadanie stopnia doktora.

Krzysztof Wincza



dr hab. inż. Waldemar SUSEK, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Elektroniki
Instytut Radioelektroniki, Zakład Mikrofal

Warszawa, 7 września 2021r.

*RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ELEKTROTECHNIKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ*

Tytuł rozprawy: **Projektowanie oraz realizacja sprzęgaczy o dużej kierunkowości**

Autor rozprawy: **mgr inż. Arkadiusz GOŁASZEWSKI**

Recenzję przygotowano w związku z uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej z dnia 29.06.2021r. i pismem Przewodniczącego Rady prof. dr. hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 02.08.2021r. Recenzja została przygotowana zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016, poz. 882).

Pkt 1.

Mgr inż. Arkadiusz Gołaszewski w przedstawionej rozprawie doktorskiej „*Projektowanie oraz realizacja sprzęgaczy o dużej kierunkowości*” porusza ważne dla techniki mikrofalowej zagadnienie naukowe związane z syntetyzowaniem sprzęgaczy kierunkowych charakteryzujących się bardzo dużą kierunkowością dla potrzeb szeroko rozumianej telekomunikacji, techniki pomiarowej czy systemów akceleratorów cząstek stałych. Zagadnienie to jest o tyle ważne, że jak wynika z utrwalonego w literaturze przedmiotu modelu sprzęgacza zbliżeniowego zrealizowanego z dwóch sprzężonych linii mikropaskowych, opartego o analizę modów parzystego i nieparzystego fal propagujących się w strukturze sprzęgacza, możliwość uzyskania dużej kierunkowości zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem się sprzężenia. Problem uzyskiwania dużej kierunkowości w sprzęgaczu zbliżeniowym realizowanym w technologii linii mikropaskowej został ujęty w postawionej przez Doktoranta tezie rozprawy a mianowicie: „*Możliwe jest projektowanie oraz realizowanie sprzęgaczy kierunkowych o dużej kierunkowości z odcinków niesprężonych linii transmisyjnych oraz skupionych pojemności sprzęgających na podstawie zależności uzyskanych drogą analizy obwodowej ogólnej struktury sprzęgacza wielosekcyjnego i analiz obwodowych dla szczególnych struktur sprzęgaczy*”, którą to Autor stawia nie tylko ze względu na podstawowe zadanie sprzęgacza ale rozszerza ją na zagadnienie transformowania impedancji przez

sprzęgacz. Autor w tezie rozprawy jasno i precyzyjnie formułuje swój problem badawczy, który zakłada opracowanie metody projektowej sprzęgaczy kierunkowych wielosekcyjnych, w tym sprzęgaczy dwusekcyjnych, jednosekcyjnych oraz sprzęgaczy z transformacją impedancji, zbudowanych z odcinków niesprzężonych linii i skupionych pojemności sprzęgających. Autor weryfikuje zaproponowaną metodę poprzez liczne realizacje praktyczne zaprojektowanych sprzęgaczy. Rozprawa w sposób kompleksowy ujmuje problem badawczy od momentu jego zdefiniowania do jego rozwiązania. Przedstawione w pracy analizy, wnioski i pomiary eksperymentalne nadają pracy charakter teoretyczno – doświadczalny.

Pkt 2.

W rozprawie zamieszczono 105 pozycji literaturowych z czego Doktorant jest współautorem 12 pozycji. W pracy w sposób jak najbardziej właściwy przywołano poszczególne pozycje literaturowe, korespondują one z treściami zamieszczonymi w rozprawie i pozwalają na rozszerzenie wiedzy z omawianego zagadnienia jak i na weryfikację przekazywanych w rozprawie informacji. Zamieszczona literatura obejmująca 33 pozycje opisujące aktualny, światowy poziom wiedzy w kwestii analizy i projektowania sprzęgaczy kierunkowych o dużej kierunkowości. Dobrze udokumentowano literaturowo (poz. 8 ÷ 9, 11, 17 ÷ 18, 23 ÷ 24, 39, 54, 64 ÷ 65, 71, 81, 87 ÷ 89, 95) opis znanych metod zwiększania kierunkowości sprzęgaczy w tym metod optymalizacji tego parametru. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że Autor rozprawy przeprowadził w sposób właściwy analizę źródeł literaturowych i zapoznał się ze stanem wiedzy w dziedzinie analizy i projektowania sprzęgaczy o dużej kierunkowości, co świadczy o posiadaniu przez niego dużego zasobu wiedzy na ten temat. Autor korzystał ze źródeł wszędzie tam, gdzie przedstawiał porównanie wyników własnych z wynikami publikowanymi na świecie czyniąc to w sposób jasny i przekonujący.

Pkt. 3.

Autor rozprawy po zapoznaniu się z istniejącymi metodami poprawy kierunkowości sprzęgaczy i po przeanalizowaniu ich zalet i wad z punktu widzenia ich realizacji w technologii linii mikropaskowych, przedstawił własne rozwiązanie problemu zmniejszenia różnic prędkości fazowych fal propagujących się w sprzęgaczu dla modów parzystych i nieparzystych. Wykorzystał do tego celu prezentowaną w literaturze przedmiotu ideę kompensacji pojemnościowej sprzęgacza zbudowanego z dwóch sprzężonych linii transmisyjnych. Autor zdając sobie sprawę z złożoności analizy obwodowej takiego rozwiązania, zaproponował metodę modyfikacji tego rozwiązania poprzez przyjęcie a następnie zapewnienie braku sprzężenia między liniami transmisyjnymi oraz zmianę funkcji pojemności kompensujących na

pojemności sprzęgające. Autor zastosował właściwe metody badawcze opierające się na sprawdzonych, potwierdzonych literaturowo metodach analizy obwodowej układów mikrofalowych. W związku z powyższym przyjęte założenie, co do możliwości analizy struktury sprzęgacza kierunkowego zbudowanego z dwóch niesprzężonych mikropaskowych linii transmisyjnych i dwóch kondensatorów sprzęgających (przypadek sprzęgacza jednostopniowego) metodą superpozycji odpowiedzi dla pobudzenia sygnałami wspólnymi i sygnałami przeciwnymi jest jak najbardziej uzasadnione i poprawne. W zastosowanej metodologii badawczej autor uwzględnił weryfikację praktyczną opracowanej metody projektowej sprzęgaczy kierunkowych poprzez wykonanie i pomiary parametrów serii różnego typu sprzęgaczy kierunkowych, których wyniki przedstawił w rozdziałach 4.4, 5.3, 6.4 i 7.4. Wyniki te potwierdziły poprawność przyjętych założeń i poprawność metody projektowej sprzęgacza o dużej kierunkowości.

Pkt 4.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Arkadiusza Gołaszewskiego jest niewątpliwie rozprawą oryginalną. Oryginalność ta przejawia się przede wszystkim w tym że:

- zaproponowano odmienne od stosowanego powszechnie w technice mikrofalowej podejście do modelu sprzęgacza kierunkowego, w którym to założono brak sprzężenia pomiędzy mikropaskowymi liniami transmisyjnymi a funkcję sprzężenia zrealizowano za pomocą pojemności skupionych lub rozłożonych,
- stosując analizę obwodową układów mikrofalowych opracowano i opisano metodę syntezy sprzęgacza kierunkowego o dużej kierunkowości, wykonanego w technologii linii mikropaskowych, wykorzystując do tego celu zasadę superpozycji odpowiedzi przy pobudzeniu sprzęgacza sygnałami wspólnymi i przeciwnymi,
- zaprojektowano i wykonano szereg konstrukcji sprzęgaczy na podstawie zaproponowanej metody projektowej oraz przeprowadzono serie pomiarów eksperymentalnych tak wykonanych sprzęgaczy, oraz porównano uzyskane wyniki z wynikami symulacji obwodowych i polowych.

Analizy i wyniki analiz modeli obwodowych sprzęgacza przedstawione w rozdziałach 4, 7 i dodatku A stanowią samodzielny i oryginalny dorobek Autora rozprawy, które ponad to zostały udokumentowane publikacjami (poz. bibliografii 93, 94, 96). Rozprawa doktorska mgr. inż. Arkadiusza Gołaszewskiego stanowi ważną pozycję rozszerzającą stan wiedzy i poziom

techniki raportowany w literaturze światowej, a dotyczący tematyki maksymalizacji kierunkowości sprzęgaczy realizowanych w technologii linii mikropaskowych.

Pkt 5.

Rozprawa napisana jest językiem zwięzłym i poprawnym. Rozdziały i treści w nich zawarte są prawidłowo dobrane i w sposób logiczny przedstawiają poszczególne etapy procesu badawczego jaki przeprowadził Doktorant. Zawierają więc wstęp w którym Autor definiuje swój problem naukowo-badawczy, następnie w rozdziale 2 omawia podstawowe typy i parametry sprzęgaczy. W rozdziale 3 przedstawia ogólne a w dodatku A szczególne rozwiązanie problemu projektowania sprzęgaczy w strukturze z niesprzężonymi elektromagnetycznie odcinkami linii transmisyjnych oraz pojemnościami sprzęgającymi. Natomiast w rozdziałach 4, 5, 6 i 7 analizuje kolejne rozwiązania sprzęgacza w schemacie: symulacja obwodowa, symulacja polowa, pomiary eksperymentalne. Rozdział 8 stanowi pewnego rodzaju rozszerzenie tematyki rozprawy doktorskiej o zagadnienie wykorzystania sprzęgacza kierunkowego jako transformatora impedancji. Podsumowując, zwięzłość przekazywanych informacji, jasność formułowanych założeń i wyciąganych z analiz wniosków, jak również poprawność redakcyjna rozprawy nie budzą zastrzeżeń.

Pkt 6.

Rozprawa jako całość nie zawiera istotnych wad czy błędów merytorycznych, można jednak zauważyć pewne nieprecyzyjne zapisy. Poniżej przedstawiam następujące przykłady:

- Str. 8, oznaczenie S_{nm} . Oznaczenie to, używane później w pracy, rozumiane jest jako wyraz macierzy rozproszenia i jest to wartość napięciowa określająca transmitancję pomiędzy wrotami m i n . Nie można wobec tego używać go do określenia stosunku mocy we wrotach n i m .
- Str. 22, wzór 3.21. Wyrażenie to jest błędne. Po lewej stronie równania należy zapisać kwadrat modułu parametru S_{41} .
- Str. 27, wzór 4.1, oznaczenie C . Oznaczenie C zostało już użyte do zdefiniowania parametru sprzęgacza jakim jest sprzężenie rozumiane jako transmitancja pomiędzy wrotami 1 i 3, która jest w ogólności funkcją częstotliwości. Autor definiuje to oznaczenie jako sprzężenie, gdzie w istocie jest to współczynnik sprzężenia, czyli wartość transmitancji C dla częstotliwości środkowej sprzęgacza.
- Str. 42, tabela 4.3. Autor dodatkowo opisuje kierunkowość jako różnicę modułów parametrów S_{31} i S_{41} co jest ewidentnym błędem. Jeżeli już chciano doprecyzować określenie kierunkowości, to należało to przedstawić jako iloraz kwadratów tych

modułów, który sprowadza się do różnicy kwadratów tych modułów wyrażonych w decybelach. Takie same uwagi odnoszą się do tabel 5.1, 5.2, 6.3 i 8.3.

➤ Str. 146. Powtórzona pozycja literaturowa [93] wcześniej wymieniona w pozycji [7].

Wymienione niedociągnięcia nie zmniejszają jednak jej waloru naukowego oraz wartości uzyskanych z dobrze przeprowadzonego i udokumentowanego projektu badawczego zakończonego przedstawioną do recenzji dysertacją.

Pkt 7.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska ma istotne znaczenie dla nauk technicznych a szczególnie dla techniki mikrofalowej. Mikrofalowe sprzęgacze kierunkowe, w tym sprzęgacze o dużej kierunkowości, wykorzystywane są praktycznie w każdym systemie mikrofalowym, zarówno w telekomunikacji jak i w technice pomiarowej oraz są niezbędne w systemach przenoszących sygnały o dużych mocach. Przedstawione w niniejszej rozprawie metody projektowe oraz zrealizowane sprzęgacze w technologii planarnej, wypełniają lukę w zakresie projektowania i realizacji sprzęgaczy o dużej kierunkowości. Są to jednocześnie sprzęgacze o prostej konstrukcji i mniejszych rozmiarach, niż tradycyjne sprzęgacze. W rozprawie wyprowadzono zależności projektowe dla sprzęgacza wielosekcyjnego oraz sprzęgaczy jednosekcyjnych i dwusekcyjnych. Podobne zależności wyprowadzono dla trzech typów sprzęgaczy jednosekcyjnych z transformacją impedancji. Niniejsza rozprawa ma również znacznie praktyczne, ponieważ zaproponowane wzory projektowe skrócą czas projektowania zaprezentowanych struktur. Zaprezentowane w pracy analizy i wyniki badań mogą stanowić podstawę do przyszłych działań w kierunku rozwoju sprzęgaczy o dużej kierunkowości i szerokich pasmach. Dzięki wielu fizycznie wykonanym strukturom sprzęgaczy, ujawniono i opisano zasadnicze wady realizacji praktycznych sprzęgaczy o dużej kierunkowości a co bardziej istotne, w wielu przypadkach zaproponowano postępowanie zaradcze co ma duże znaczenie dla praktyki inżynierskiej.

Pkt 8.

Rozprawę zaliczam do następującej kategorii:

- a) nie spełnia wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełnia wymagania**
- d) spełnia wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Arkadiusza Gołaszewskiego spełnia kryteria oryginalności rozwiązania problemu naukowego i umiejętności prowadzenia pracy badawczej sformułowane w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*. Doktorant wykazała się wysokim poziomem wiedzy teoretycznej, oraz wysokimi kompetencjami badawczymi. Warto podkreślić, że wynikiem prowadzonych przez Doktoranta prac są zweryfikowane metody projektowania sprzęgaczy o dużej kierunkowości. Metody te są gotowe do zastosowania w procesie syntezy sprzęgaczy kierunkowych.

Mając powyższe na uwadze wnoszę o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Gołaszewskiego do publicznej obrony.

07 WRZ. 2021

dr hab. inż. Waldemar Susek, prof. WAT