

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

DZIEKAN I RADA WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zawiadamiają o

PUBLICZNEJ OBRONIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Mateusza Żukocińskiego

która odbędzie się w dniu 30 stycznia 2020 r. o godzinie 12.00

na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej
Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa ul. Nowowiejska 15/19, w sali nr 229

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Metoda projektowania filtrów szerokopasmowych z rezonatorami sprzężonymi bezpośrednio”

promotor: dr hab. inż. Adam Abramowicz, prof. uczelni Wydział Elektroniki i
Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej

recenzenci: dr hab. inż. Jerzy Julian Michalski Pomorski Park Naukowo-
Technologiczny w Gdyni,

prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza Wydział Informatyki, Elektroniki i
Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej.

Na stronie internetowej wydziału www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje znajdują się streszczenie rozprawy oraz recenzje, jak również dostęp do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Rodzaj pracy: rozprawa doktorska

Mgr inż. Mateusz Żukociński

**Promotor – dr hab. inż. Adam Abramowicz – Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechniki Warszawskiej**

**Tytuł rozprawy: “Metoda projektowania filtrów szerokopasmowych z rezonatorami sprzężonymi
bezpośrednio”**

Streszczenie

W pracy zawarto opis właściwości środkowoprzepustowych filtrów elektrycznych z rezonatorami sprzężonymi bezpośrednio. Sprzężenia modelowane są za pomocą rzeczywistych inwerterów immitancji. Skupiono się na filtrach szeroko i ultraszerokopasmowych, gdyż jak dotąd istniejąca teoria filtrów obejmowała wyłącznie filtry wąskopasmowe, w których sprzężenia międzyrezonatorowe modelowane są inwerterami idealnymi.

W pracy przeanalizowano właściwości inwerterów idealnych oraz rzeczywistych, a także właściwości filtrów z takimi inwerterami. Analiza przebiegu charakterystyk częstotliwościowych filtrów z inwerterami rzeczywistymi doprowadziła do sformułowania nowej definicji częstotliwości środkowej filtru. To z kolei pozwoliło na zaobserwowanie dualności pomiędzy filtrami ze sprzężeniami pojemnościowymi i filtrami ze sprzężeniami indukcyjnymi. Ta cecha analizowanych filtrów umożliwiła opracowanie metody projektowej, dzięki której możliwe jest jednoczesne zaprojektowanie pary filtrów: filtru o sprzężeniach pojemnościowych oraz filtru o sprzężeniach indukcyjnych. Metoda oparta jest na opisie filtru za pomocą immitancyjnej macierzy obwodu sformułowanej przez autora z wykorzystaniem uniwersalnych parametrów projektowych filtru, którymi są: częstotliwości rezonansowe rezonatorów filtru, współczynniki sprzężeń pomiędzy rezonatorami, dobroci zewnętrzne rezonatorów skrajnych, a także impedancje charakterystyczne rezonatorów. Dowiedziono, że impedancje charakterystyczne rezonatorów filtru są czynnikiem ograniczającym maksymalne poziomy sprzężeń, a co za tym idzie limitującym możliwą do uzyskania przez filtr szerokość pasma przepustowego. Z tego też względu impedancja charakterystyczna uznana została przez autora za dodatkowy i niezbędny parametr projektowy filtrów.

Ponadto obserwacja dualizmu analizowanych filtrów doprowadziła do wysunięcia hipotezy mówiącej, że właściwe zastosowanie sprzężeń obu typów (pojemnościowych i indukcyjnych) w jednym filtrze umożliwia zaprojektowanie filtru dokładnie o charakterystyce Czebyszewa i o dowolnie szerokim paśmie przepustowym. W ten sposób sformułowano koncepcję filtrów ze sprzężeniami komplementarnymi, którą następnie potwierdzono serią eksperymentów.

Zarówno metoda projektowania filtrów o sprzężeniach pojemnościowych oraz filtrów o sprzężeniach indukcyjnych, jak i koncepcja projektowania filtrów ze sprzężeniami komplementarnymi zostały zweryfikowane w szeregu eksperymentów oraz realizacji rzeczywistych struktur filtrów wielkiej częstotliwości. Potwierdzono tym samym tezę, że uwzględnienie częstotliwościowego charakteru inwerterów rzeczywistych różnego typu oraz wpływu szerokości pasma i stopnia filtru na kształt charakterystyk filtru umożliwia sformułowanie zależności projektowych dla filtrów szeroko- i ultraszerokopasmowych.

Oprócz tego w pracy wykazano niespełnienie warunku bierności przez istniejące modele inwerterów stratnych, a także wprowadzono nowy model rzeczywistych inwerterów stratnych spełniający ten warunek.

Słowa kluczowe: filtry elektryczne, filtry rezonatorowe, filtry szerokopasmowe, UWB, inwertery, sprzężenia

Kraków 02.09.2019r.

Dr hab. inż. Krzysztof Wincza, prof. n. AGH
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 WYDZIAŁU
ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: Metoda projektowania filtrów szerokopasmowych z rezonatorami sprzężonymi bezpośrednio

Autor rozprawy: Mateusz Żukociński

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. Mateusza Żukocińskiego zatytułowana „Metoda projektowania filtrów szerokopasmowych z rezonatorami sprzężonymi bezpośrednio” poświęcona jest zagadnieniom projektowania środkowoprzepustowych filtrów szerokopasmowych. Jest to zagadnienie stosunkowo złożone ze względu na problem modelowania inwerterów immitancji w szerokim zakresie częstotliwości i z tego względu należy uznać, że praca podejmuje ciekawy i aktualny problem, istotny z punktu widzenia ewentualnych przyszłych zastosowań we wciąż rozwijanych systemach telekomunikacyjnych, zwłaszcza szerokopasmowych. Cel pracy został jasno sformułowany i dotyczył opracowania metody projektowania filtrów szerokopasmowych w postaci rezonatorów sprzężonych bezpośrednio poprzez rzeczywiste inwertery immitancji, a więc takie, których charakterystyki są zależne od częstotliwości. Zagadnienie to stanowi rozszerzenie znanej i dotychczas stosowanej teorii, w której zakłada się, że charakterystyki inwerterów immitancji są niezależne od częstotliwości. Takie założenie można zastosować w wąskim zakresie częstotliwości i dobrze się sprawdza w przypadku projektowania środkowoprzepustowych filtrów wąskopasmowych. Zastosowanie tego założenia przy projektowaniu filtrów szerokopasmowych powoduje, że otrzymane charakterystyki częstotliwościowe projektowanych układów znacznie odbiegają od założonych. Praca stanowi więc uzupełnienie i rozszerzenie zagadnienia dotyczącego projektowania filtrów środkowoprzepustowych dla układów szerokopasmowych i stawia tezę, że uwzględnienie w procesie projektowania częstotliwościowego charakteru inwerterów rzeczywistych oraz wpływu szerokości pasma przepustowego i stopnia filtru na kształt charakterystyk częstotliwościowych filtru pozwala na uzyskanie znacznie

dokładniejszych zależności projektowych dla filtrów szerokopasmowych.

Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i składa się z 9 rozdziałów, w tym wstępu i podsumowania. Rozdział drugi stanowi wprowadzenie do tematyki projektowania filtrów z uwypukleniem ograniczeń znanych modeli w stosunku do filtrów szerokopasmowych. W rozdziale trzecim przedstawione są właściwości inwerterów immitancji idealnych oraz ich wpływ na charakterystyki częstotliwościowe filtrów. W rozdziale czwartym przedstawione są właściwości charakterystyk częstotliwościowych szerokopasmowych filtrów z inwerterami rzeczywistymi oraz wprowadzono nową definicję częstotliwości środkowej uwzględniającą kształt charakterystyki częstotliwościowej filtru. Rozdział piąty opisuje dualizm filtrów o różnych typach sprzężeń oraz wprowadza koncepcję filtrów o sprzężeniach komplementarnych (naprzemiennie indukcyjnych i pojemnościowych) stanowiącego nową klasę filtrów wraz z ich analizą i wynikami badań eksperymentalnych. W rozdziale szóstym Autor przedstawia opis matematyczny rozpatrywanych filtrów oraz wyprowadza ogólną postać macierzy admitancji filtrów z rezonatorami sprzężonymi bezpośrednio z wykorzystaniem uniwersalnych parametrów projektowych filtrów. Rozdział siódmy zawiera wyniki obliczeń przykładowych filtrów 5-tego rzędu o sprzężeniach pojemnościowych i indukcyjnych. Rozdział ósmy zawiera opis metody projektowania filtrów szerokopasmowych wraz ze wzorami projektowymi dla filtrów 5-tego rzędu ze sprzężeniami indukcyjnymi i pojemnościowymi. Rozdział ten przedstawia również wyniki eksperymentalne projektowanych filtrów szerokopasmowych. Pracę kończy rozdział dziewiąty, który podsumowuje wyniki przeprowadzonych badań, a wyciągnięte wnioski potwierdzają prawdziwość postawionych tez rozprawy.

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?

Praca została bardzo dobrze zarysowana na tle osiągnięć światowych w dziedzinie projektowania filtrów mikrofalowych. Wykaz literatury zawiera 220 pozycji, przy czym Autor powołuje się zarówno na fundamentalne prace, w których przedstawione są podstawowe metody projektowania filtrów wąskopasmowych, jak również stosunkowo nowe prace, które przedstawiają najnowsze metody projektowe i rozwiązania konstrukcyjne w dziedzinie projektowania filtrów mikrofalowych. Przedstawiony szeroki przegląd literatury świadczy o dobrej znajomości literatury w tematyce poruszanej w rozprawie. Należy również podkreślić, że rozprawa zawiera bardzo dobrze dopracowany opis prezentowanych źródeł oraz jasne i przejrzyste wprowadzenie w tematykę poruszaną w rozprawie.

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

Celem pracy było opracowanie metody projektowania filtrów szerokopasmowych, w których rezonatory są sprzężone bezpośrednio poprzez rzeczywiste inwertery immitancji. Cel ten został osiągnięty, a opracowana metoda projektowania została szczegółowo opisana w rozdziale ósmym. Przedstawione wyniki obliczeń teoretycznych udowadniają, że Autor bardzo sprawnie posługuje się opisem układów za pomocą metod teorii obwodów właściwych do analizy tego typu filtrów. Otrzymana zgodność pomiędzy analizą teoretyczną, a pomiarami wykonanych układów potwierdza prawidłowość 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:

- Wykazanie zależności pomiędzy szerokością pasma przepustowego filtrów od wartości charakterystycznych rezonatorów. Jest to o tyle istotne, że w przypadku projektowania filtrów szerokopasmowych zakres możliwych impedancji jest znacznie mniejszy niż w przypadku znanych filtrów wąskopasmowych, a więc impedancje te należy traktować jako parametr projektowy, co zostało wykazane w rozprawie.
- Opis właściwości filtrów szerokopasmowych, co stanowi uzupełnienie dobrze rozpoznanej klasycznej teorii filtrów stosowanej dla celów projektowania układów wąskopasmowych.
- Wykazanie, że w układach filtrów szerokopasmowych należy stosować rezonatory o różnych częstotliwościach rezonansowych i różnych impedancjach charakterystycznych, w celu osiągnięcia żądanych charakterystyk częstotliwościowych.
- Zaproponowanie nowej definicji częstotliwości środkowej filtrów środkowoprzepustowych związanej ściśle z kształtem charakterystyk częstotliwościowych filtrów, a więc ich fizycznymi właściwościami.
- Wykazanie dualności charakterystyk częstotliwościowych układów filtrów ze sprzężeniami bezpośrednimi pojemnościowymi względem układów ze sprzężeniami bezpośrednimi indukcyjnymi.
- Zaproponowanie nowej koncepcji filtrów komplementarnych, a więc takich, w których sprzężenie bezpośrednie jest realizowane naprzemiennie poprzez sprzężenie indukcyjne i pojemnościowe. Taka koncepcja pozwala na pozyskanie charakterystyk

częstotliwościowych analogicznych jak w przypadku filtrów z inwerterami idealnymi stosowanymi w przypadku projektowanie filtrów wąskopasmowych, zgodnie z klasyczną teorią.

- Opracowanie wspólnej metody projektowej dla celów realizacji szerokopasmowych filtrów środkowoprzepustowych ze sprzężeniami bezpośrednimi indukcyjnymi oraz ze sprzężeniami bezpośrednimi pojemnościowymi w postaci opisu matematycznego pozwalającego na znalezienie uniwersalnych parametrów projektowych.
- Weryfikację eksperymentalną opracowanych metod projektowych 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 niezwykle starannym językiem i w bardzo przejrzysty i zwięzły sposób, co jest jej niewątpliwą zaletą. Zawiera zwięzłe wprowadzenie w tematykę będącą przedmiotem rozprawy doktorskiej oraz szczegółowy opis stanu wiedzy. Uwagę zwraca nie tylko dbałość o szczegółowy opis prezentowanych wyników oraz przejrzystość rysunków prezentujących poszczególne schematy, koncepcje czy wyniki obliczeń teoretycznych i pomiarów wykonanych układów.

6. Jakie są słabe strony i jej główne wady?

Praca przedstawia analizę teoretyczną szerokopasmowych filtrów środkowoprzepustowych ze sprzężeniami bezpośrednimi za pomocą inwerterów rzeczywistych. W przedstawionej pracy ciężko jest doszukać się zasadniczych wad, gdyż praca w jasny sposób przedstawia cel, prezentuje otrzymane wyniki i jest niezwykle starannie napisana. Jednakże można wskazać drobne uwagi i dodatkowe pytania, których wyjaśnienie uzupełni treść prezentowanych w rozprawie zagadnień, a mianowicie:

- Praca zawiera stosunkowo mało uchybień edytorskich, których łącznie naliczyłem ok. 14. Biorąc pod uwagę wielkość rozprawy jest to liczba w mojej ocenie bardzo mała i nie stanowi jednak istotnej wady rozprawy więc nie cytuję znalezionych drobnych błędów w niniejszej recenzji.
- Wyniki eksperymentalne projektowanych filtrów ze sprzężeniami bezpośrednimi przedstawione są dla wybranych topologii filtrów, zwłaszcza takich, w których ułatwiona jest realizacja sprzężenia tylko indukcyjnego lub tylko pojemnościowego. Jaki jest zakres zastosowań przedstawionych modeli dla innych topologii?
- Badania eksperymentalne wykonano w zakresie stosunkowo niskich częstotliwości. Jak przedstawione modele będą się sprawdzać w

zakresie wyższych częstotliwości mikrofalowych, w których straty transmisji zaczną odgrywać już dość znaczącą rolę?

- W pracy wykazano, że w projektowanych filtrach szerokopasmowych należy stosować rezonatory o różnych impedancjach charakterystycznych, przy czym zakres realizowalnych impedancji jest znacznie węższy niż w przypadku filtrów wąskopasmowych. Czy to ogranicza w znaczącym stopniu możliwość realizacji filtrów o zadanych parametrach (szerokość pasma przepustowego, poziom dopasowania impedancyjnego)?
- Dodatkowo czy fakt, że w opisywanych filtrach szerokopasmowych ze sprzężeniem bezpośrednim zarówno indukcyjnym jak i pojemnościowym jest ograniczony zakres dopuszczalnych impedancji charakterystycznych rezonatorów, w znaczący sposób ogranicza zakres możliwych do wykorzystania struktur i realizacji fizycznych tych filtrów?

Należy podkreślić, że przedstawione wyżej uwagi mają charakter jedynie dyskusyjny i nie stanowią wad przedstawionej rozprawy doktorskiej, których zasadniczo nie ma. Pewnym mankamentem prezentowanej rozprawy doktorskiej jest fakt, że opracowane wyniki prezentowane były wyłącznie na konferencjach, natomiast brak jest w wykazie dorobku Autora rozprawy publikacji w uznanych periodykach, w sytuacji, w której prezentowane w rozprawie wyniki i koncepcje są na tyle interesujące, że mogłyby być przedmiotem artykułów w uznanych czasopismach.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi istotne uzupełnienie znanej i stosowanej dotychczas szeroko teorii filtrów wykorzystujących idealne inwertery immitancji, a więc takie inwertery, których charakterystyki są niezależne od częstotliwości. Jest to duże uproszczenie, które może być stosowane w przypadku wąskopasmowych filtrów środkowoprzepustowych, natomiast jak zostało wykazane realizacja filtrów szerokopasmowych wymaga dokładniejszych modeli, m.in. zastosowania inwerterów rzeczywistych, których charakterystyki są częstotliwościowo zależne. Z tego względu należy uznać, że rozprawa doktorska stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny, a przedstawione wyniki badań, a w szczególności opracowana metoda projektowania znajdzie zastosowanie przy realizacji układów szerokopasmowych, których potrzeba opracowywania wynika z wciąż dynamicznie rozwijających się systemów bezprzewodowych, zwłaszcza szerokopasmowych.

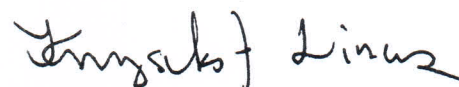
8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

Pracę niewątpliwie można zaliczyć jako: spełniającą wymagania z wyraźnym nadmiarem.

9. Wniosek końcowy:

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca, zarówno w odniesieniu do wyników obliczeń teoretycznych, jak i przedstawionych wyników prac eksperymentalnych stanowi oryginalny wkład w rozwój dziedziny elektronika. Mgr inż. Mateusz Żukociński z powodzeniem 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 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.

Krzysztof Wincza



Gdynia, dn. 30.08.2019

Dr hab. inż. Jerzy Julian Michalski
Pomorski Park Naukowo-Technologiczny
SpaceForest Sp. z o. o.
Al. Zwycięstwa 96/98
81-451 Gdynia

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Żukocińskiego zatytułowanej „Metoda projektowania filtrów szerokopasmowych z rezonatorami sprzężonymi bezpośrednio”.

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

Autor w rozprawie przedstawia opis oraz właściwości filtrów pasmowoprzepustowych. W obszarze badań autora znajdują się zarówno filtry szerokopasmowe jak i również ultraszerokopasmowe. Wstępem do jego badań jest opis oraz analiza inwerterów idealnych oraz proponowanych przez niego inwerterów „rzeczywistych”, które modeluje za pomocą dodatkowych elementów RLC w schemacie inwertera idealnego.

Analizując rozmieszczenie na osi częstotliwości minimów oraz maksimów (w skali decybelowej) współczynnika odbicia autor proponuje nową definicję częstotliwości środkowej filtru, którą nazywa „charakterystyczną częstotliwością środkową filtru”. Częstotliwość środkowa, zgodnie z tą definicją, dla filtru o rzędzie N nieparzystym ma bezpośredni związek z lokalizacją minimum środkowego $(N+1)/2$, natomiast dla filtrów o rzędzie parzystym jest lokalizacją $(N/2)$ -tego maksimum charakterystyki odbicia.

Moim zdaniem dla filtrów fizycznych definicja ta w wielu przypadkach nie będzie miała zastosowania ze względu na niemożliwość określenia w sposób dokładny lokalizacji minimów oraz maksimów dla charakterystyk pomierzonych filtrów - szczególnie dla filtrów o wysokich rzędach. Natomiast cel autora, związany z wprowadzeniem tej definicji, polega na powiązaniu wartości „częstotliwości charakterystycznej” z rodzajami sprzężeń typu pojemnościowego oraz indukcyjnego w filtrach i badaniu relacji pomiędzy nimi.

Znaczną część swojej pracy autor poświęca tak zwanemu „dualizmowi filtrów”. Określeniem tym definiuje takie dwa układy obwodowe filtrów, w których pomimo zastosowania różnego rodzaju sprzężeń, tj. pojemnościowych bądź indukcyjnych, ich charakterystyki elektryczne są

takie same, „dualne”. Autor wykazuje, że szerokopasmowe wpływy sprzężeń pojemnościowych i sprzężeń indukcyjnych, w szczególności te związane ze zmianami „częstotliwości charakterystycznej” wraz ze zmianą szerokości pasma przepustowego filtru, zastosowanych w tym samym filtrze mogą kompensować się wzajemnie. Następnie dowodzi, że dzięki temu filtr o sprzężeniach komplementarnych uzyskuje charakterystykę identyczną jak filtry z inwerterami idealnymi, projektowane zgodnie z klasyczną teorią filtrów wąskopasmowych. Dalej wykazuje, że koncepcja filtrów o sprzężeniach komplementarnych pozwala projektować filtry ze sprzężeniami rzeczywistymi i charakterystykami o dowolnej szerokości pasma przepustowego.

W pracy autor zwraca również uwagę na to, że wartości impedancji charakterystycznych rezonatorów są czynnikiem określającym wartości sprzężeń między rezonatorami, co w konsekwencji przekłada się na szerokość pasma projektowanego filtru. Zależność ta, mająca również potwierdzenie w badaniach autora, jest znana i stosowana w rozwiązaniach realizowanych filtrów szerokopasmowych.

Metoda projektowania filtrów, proponowana przez autora polega na wcześniejszym przygotowaniu, na podstawie symulacji numerycznych, aproksymowanych krzywych projektowych. Przedstawiają one zależności, w funkcji szerokości pasma filtru, poszczególnych wielkości uniwersalnych parametrów projektowych takich jak: wartości impedancji charakterystycznych rezonatorów, wartości sprzężeń czy wartości dobroci rezonatorów zewnętrznych. Zależności te pozwalają na bezpośredni wybór wielkości uniwersalnych dla projektowanej szerokości pasma.

Szereg przedstawianych przez autora eksperymentów prezentuje proponowaną przez niego metodykę oraz jej skuteczność.

Autor w pracy na stronie 16 przedstawia następującą tezę „[...] *uwzględnienie częstotliwościowego charakteru różnego typu inwerterów rzeczywistych oraz wpływu szerokości pasma przepustowego i stopnia filtru na kształt charakterystyk filtru umożliwia sformułowanie dokładnych zależności projektowych dla filtrów szerokopasmowych*”

Teza jest jasno sformułowana, a praca ma charakter teoretyczny wraz z potwierdzeniem doświadczalnym tezy stawianej przez autora.

Autor w swoich badaniach rozważa jedynie klasę filtrów zbudowanych z rezonatorów sprzężonych bezpośrednio. Pomija zaś klasę filtrów zawierających również sprzężenia skrośne (ang. cross-coupling). Jedynie w podsumowaniu stwierdza, że „*Ponadto opisane w pracy*

właściwości filtrów z bezpośrednimi sprzężeniami rzeczywistymi można rozszerzyć na przypadki filtrów o bardziej złożonej topologii, a więc filtrów ze sprzężeniami pomiędzy niesąsiednimi rezonatorami.” Bardzo brakuje mi chociaż małego podrozdziału dotyczącego zagadnienia jak autor proponowałby to zrobić. Druga klasa filtrów, pomijana przez autora, jest powszechniej używana w zastosowaniach rynkowych, zarówno tych niskoczęstotliwościowych np. telewizja DVB-T (ang. Digital Video Broadcasting) czy ostatnio bardzo popularna satelitarna obserwacja Ziemi oraz telekomunikacja satelitarna operująca w pasmach X, K, Ka, czy jeszcze wyżej.

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

Praca obejmuje 220 pozycji literatury, która przez autora jest dobrze dobrana. Zawiera zarówno współczesne pozycje, jak również pozycje starsze lecz istotne z punktu widzenia poruszanych w pracy zagadnień. Wkład własny autora oraz cytowane pozycje literatury świadczą o znajomości tematyki będącej przedmiotem niniejszej rozprawy. W rozdziale 2.4 zatytułowanym „Historia filtrów radioelektronicznych w Polsce”, autor poświęcił uwagę przeglądowi historycznych oraz współczesnych pozycji polskich badaczy, związanych z technologiami filtrów.

Cytowania własne liczą 10 pozycji literatury, w 8 z nich mgr inż. Mateusz Żukociński jest pierwszym autorem. Niestety wszystkie z nich stanowią wyłącznie publikacje konferencyjne. Co ciekawe najstarsza pozycja autora pochodzi już z roku 2004. Brakuje mi publikacji autora w uznanych pismach techniki mikrofalowej. Moim zdaniem choćby jedna taka pozycja potwierdziłaby i umocniłaby znacząco wartość proponowanej w niniejszej rozprawie metodyki.

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

Tak, autor rozwiązał postawione przez siebie zagadnienia oraz wykazał poprawność swojej metodyki za pomocą symulacji oraz szeregu weryfikacji eksperymentalnych. Autor w swoich badaniach posługuje się narzędziami oraz metodami powszechnie stosowanymi przez badaczy oraz inżynierów zajmujących się filtrami mikrofalowymi. Zajmuje się on głównie analizą obwodową, chociaż sięga również do opisu filtrów za pomocą macierzy sprzężeń. Wykazuje się

także umiejętnościami korzystania z symulatora pełno-falowego 3D oraz symulatora obwodowego AWR Microwave Office do celów projektowych.

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

Projektowanie filtrów jest dość chętnie podejmowanym tematem badawczym. Świadczy o tym duża ilość publikacji w pismach branżowych. Filtry szerokopasmowe również są często poruszane przez badaczy klasą filtrów stosowaną do nowych realizacji aplikacyjnych. W ostatnich latach, między innymi w związku z zapotrzebowaniem rynku na transmisje szerokopasmowe, filtry szerokopasmowe oraz ultraszerokopasmowe stanowią coraz częstszy przedmiot zainteresowań badaczy. Za oryginalny dorobek autora uznałbym głównie zaproponowanie metody analizy filtrów szerokopasmowych z łączonymi rodzajami sprzężeń oraz badanie ich wpływu na charakterystyki rozproszenia.

Tematyka rozważana przez autora jest bez wątpienia ważna i moim zdaniem stanowi ciekawą pozycję w stosunku do poziomu technik reprezentowanych przez literaturę światową.

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

Praca jest napisana starannie i łatwo się ją czyta. Wyniki są prezentowane w sposób czytelny. Można bez wątpienia stwierdzić, że autor poświęcił bardzo dużo uwagi formie i jakości redakcyjnej pracy.

6) Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady ?

Słabą stroną rozprawy jest całkowite pominięcie klasy filtrów zawierających sprzężenia skrośne. Jak podkreślałem powyżej, zgodnie z moim stanem wiedzy, filtry te stanowią aktualnie znaczną ilość, może i nawet 90 %, typów filtrów stosowanych w różnych aplikacjach systemowych. Również znalazłem kilka nieścisłości czy nieznaczących błędów, które opisałem na końcu recenzji, w części zatytułowanej „Uwagi dodatkowe”.

7) Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych ?

Autor sam twierdzi, że „Rezultaty prac przyczynią się do rozwoju innych zagadnień szerokopasmowych, np. dopasowań szerokopasmowych, natomiast rozpatrywane filtry mogą służyć m.in. do opracowywania filtrów o asymetrycznej charakterystyce transmisji oraz układów zwrotnic mikrofalowych. Ponadto opisane w pracy właściwości filtrów z bezpośrednimi sprzężeniami rzeczywistymi można rozszerzyć na przypadki filtrów o bardziej złożonej topologii, a więc filtrów ze sprzężeniami pomiędzy niesąsiednimi rezonatorami.”

Zgadzam się z autorem, przynajmniej w pierwszej części tego stwierdzenia. Proponowane przez niego metody analizy czy projektowania mogą znaleźć zastosowanie przy realizacjach fizycznych filtrów czy innych urządzeń, w których zjawisko dyspersji ma znaczący wpływ na ich parametry elektryczne.

Co do drugiej części dotyczącej rozszerzenia metody na filtry ze sprzężeniami skrośnymi, dla których analiza jest dużo bardziej złożona, zapewne też można by spróbować znaleźć zastosowanie proponowanej metodyki. Nie mniej jednak, jak wspominałem wcześniej, brakuje mi w pracy krótkiego podrozdziału stanowiącego chociaż wstępny opis tego jak autor widziałby takie podejście do rozszerzenia swojej metody.

8) Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

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

Biorąc pod uwagę istotność proponowanej tematyki, znaczenie praktyczne oraz spełnienie wszystkich warunków stawianych kandydatom do stopnia doktora, rozprawę zaliczam do kategorii c „spełniająca wymagania”.

Uwagi dodatkowe

Czytając wnikliwie pracę dostrzegłem kilka elementów, które wymagają mojego komentarza. Dla niektórych punktów oczekiwałem dyskusji podczas obrony.

Strona 3, 40 oraz kilka innych miejsc w pracy.

-Zdanie „*dobroci zewnętrzne rezonatorów skrajnych*”.

Rozumiem, że autor miał na myśli dobroci skrajnych / zewnętrznych rezonatorów.

Strona 13:

-Zdanie „*Klasyczna teoria filtrów środkowoprzepustowych i środkowozaporowych dotyczy filtrów wąskopasmowych (o względnej szerokości pasma przepustowego $< \sim 5\%$)*”.

Wiele pozycji literatury definiuje filtr wąskopasmowy jako filtr o pasmie $< 10\%$.

Strona 15, 41 oraz 120:

-W przypadku ogólnym na rysunku powinny być umieszczone również sprzężenie wejściowe oraz wyjściowe.

Strona 16:

-Autor napisał „*Jak już wspomniano, opis filtrów szerokopasmowych jak dotąd nie został zaproponowany*”.

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele pozycji dotyczących zagadnienia opisu oraz projektowania filtrów szerokopasmowych.

Strona 16:

-Zdanie „*Metoda projektowania oznacza tutaj zbiór zależności dotyczących filtrów z różnego typu inwerterami modelującymi sprzężenia rzeczywiste*.”

Zdanie to jest mało czytelne. Zapewne autor miał na myśli, że w metodzie wykorzystuje się zbiór zależności [...].

Strona 23:

-Zdanie „*Taki idealny filtr charakteryzowałby się stałą i pełną transmisją sygnału w paśmie przepustowym (transmitancja równa 1)*”.

Rozumiem, że jest to skrót myślowy. Zazwyczaj transmitancja jest zespolona, zatem dla przypadku bezstratnego to moduł transmitancji może być równy 1.

Strona 25:

-Zdanie „Zależny od częstotliwości stosunek fali padającej do fali odbitej we wrotach filtru jest współczynnikiem odbicia fali”.

Współczynnik odbicia jest zdefiniowany jako zależność odwrotna, tj. stosunek fali odbitej do fali padającej.

Strona 26:

-Na stronie jest mowa o „stratach wnoszonych”.

Częściej stosowane nazewnictwo to straty wtrąceniowe.

Strona 29:

-Zdanie „W ogólności funkcja transmisji filtru jest funkcją wymierną”. Później definicja ta jest jeszcze powtórzona na stronie 33.

Raczej użyłbym w tym przypadku „w szczególności”, zamiast „w ogólności”, bo w ogólności transmisja jest to stosunek dwóch funkcji, które mogą być również typu transcendental, które to nie są wielomianami.

-Zdanie „Pierwiastki wielomianu $L(s)$, a więc zera transmisji filtru”.

Brak ścisłości. Raz autor używa słowa *pierwiastki* a raz *zera*. Proszę wyjaśnić różnice, bo takowe zgodnie ze ścisłością matematyczną istnieją.

Strona 33:

-Zdanie „W ogólności specyfikacja filtru to po prostu wartości częstotliwości granicznych pasma przepustowego, wartości maksymalnego tłumienia w paśmie oraz wartości minimalnego tłumienia poza pasmem przepustowym [...]”.

To jest bardzo duże uproszczenie. Jest dużo więcej parametrów specyfikujących filtr mikrofalowy, które trzeba brać pod uwagę, np. maksymalny poziom PIM (Passive Inter Modulation), wartość peek-to-peek (zafalowanie) opóźnienia grupowego – Group Delay (GD), zafalowanie w paśmie, ciągła moc maksymalna, chwilowa moc maksymalna, oraz wiele innych.

Strona 168:

-Proszę wyjaśnić czym może być spowodowane widoczne zero transmisji na wykresie 5.14? (pasożytniczy triplet?). Polecam zapoznać się z publikacją J. Brian Thomas, „Cross-Coupling in Coaxial

Cavity Filters—A Tutorial Overview,” IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 51, NO. 4, APRIL 2003.

Strona 173:

-Proszę wyjaśnić czym może być spowodowane widoczne zera transmisji na wykresie 5.17, 5.18 ? (2 pasożytnicze triplety ?). Polecam zapoznać się z publikacją ja powyżej.

Strona 192:

-Analiza wykresów dobroci zewnętrznych rezonatorów powinna być bardziej szczegółowo przedyskutowana. Szczególnie jej niskie wartości, opadające wraz ze wzrostem szerokości pasma filtru. Wartości dobroci bliskie zero są dość zastanawiające.

Strona 200:

-Tabela przedstawia wartości parametrów projektowych w postaci między innymi impedancji poszczególnych rezonatorów. Dla metody opracowanej przez autora impedancje dla rezonatorów wewnętrznych filtru nie mają konkretnej wartości lecz przedział wartości, dla których można uzyskać filtr o projektowanej szerokości pasma. Nie jest jasne jakie konkretne wartości zostały użyte do uzyskania charakterystyk rozproszenia przedstawionych na dalszych stronach. Taka sama uwaga dotyczy tabel prezentowanych w dalszej części pracy.

Strona 207,

-Na wykresie dla transmisji dla filtru ze sprzężeniami typu sL widoczne jest zero transmisji po lewej stronie. Wskazana byłaby analiza pomiędzy którymi rezonatorami występuje/(może występować) sprzężenie pasożytnicze i jakiego jest rodzaju: pojemnościowe czy indukcyjne (proponuje zapoznać się z publikacją podaną powyżej).

Strona 214,

-Na wykresie dla transmisji dla prezentowanego filtru widoczne jest zero transmisji po lewej stronie. Wskazana byłaby analiza pomiędzy którymi rezonatorami występuje/(może występować) sprzężenie pasożytnicze i jakiego jest rodzaju: pojemnościowe czy indukcyjne (proponuje zapoznać się z publikacją podaną powyżej).

