

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

