

Warszawa, 27.06.2020

dr hab. inż. Zenon Szczepaniak, prof. WAT

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego

ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2

00-908 Warszawa 46

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
dla Rady Naukowej dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika  
Politechniki Warszawskiej**

**Tytuł rozprawy:**

„A S-band inverted 3-way Doherty amplifier with GaN HEMT transistors”

Tytuł polski: “3-drożny wzmacniacz Doherty’ego w konfiguracji odwróconej na pasmo S z tranzystorami GaN HEMT”.

**Autor rozprawy:**

mgr inż. Marcin Góralczyk

**1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?**

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Marcina Góralczyka dotyczy tematyki projektowania i optymalizacji wzmacniaczy mocy w konfiguracji Doherty w klasach B i C w strukturze wielotranzystorowej. Charakter rozprawy można określić jako: teoretyczno-doświadczalny. Autor definiuje trzy tezy rozprawy:

Teza 1: Aby zwiększyć sprawność w zakresie dużych mocy oraz poprawić liniowość wzmacniacza, impedancja obciążenia powinna być zwiększona względem oryginalnego układu Doherty’ego, w którym wszystkie tranzystory pracują w klasie B.

Teza 2: W trójstopniowym wzmacniaczu typu Doherty optymalizacji wymagają trzy impedancje w wyjściowym obwodzie sumowania, podczas gdy we wzmacniaczu trójdrożnym tylko jedna.

Teza 3: Wykorzystanie unikalnej konstrukcji trójdrożnego dzielnika mocy oraz tranzystorów GaN HEMT umożliwia konstrukcję trójdrożnego wzmacniacza typu Doherty w konfiguracji odwróconej, która nie wymaga dodatkowych linii fazowych, co umożliwia poszerzenie pasma pracy.

Tezy rozprawy zostały sformułowane dostatecznie jasno.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle ?**

Autor przedstawia 59 pozycji literaturowych, które uwzględnia w trakcie analiz i badań prowadzonych w pracy. Zakres tematyczny pozycji literaturowych pokrywa: dokumenty normatywne dotyczące nowych pasm częstotliwości, teoria, zastosowanie i przykładowe rozwiązania wzmacniaczy Doherty'ego, właściwości materiałów półprzewodnikowych, w szczególności GaN oraz tranzystory mikrofalowe wykonane w technologii GaN, modelowanie tranzystorów mikrofalowych, teoria i rozwiązania układowe mikrofalowych dzielników mocy. Zakres ten jest kompleksowy i odpowiada obszarom zagadnień, które autor opracowuje w rozprawie. Na liście pozycji literaturowych znajdują się opracowania fundamentalne dotyczące teorii wzmacniaczy mikrofalowych, w tym w układzie Doherty'ego, autorstwa znanych w branży naukowców i profesorów. Zdaniem recenzenta lista literatury mogła być nieco większa, niemniej mając na uwadze obszar tematyczny rozprawy, badania naukowe z zakresu wzmacniaczy z tranzystorami w technologii GaN są obecnie w fazie rozwoju i pozycje literaturowe powstają w sposób ciągły.

Analizę przedstawionych źródeł przeprowadzono w sposób właściwy. W opinii Recenzenta świadczy to o dostatecznej wiedzy autora a wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący.

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

Postawione w pracy zagadnienia w postaci tez wymagały, w celu udowodnienia, wykonania bardzo szerokiego zakresu prac takich jak:

- opis analityczny działania wzmacniacza typu Doherty,
- opracowanie rozszerzonej teorii działania wzmacniacza Doherty w klasach B/C,
- analiza właściwości tranzystorów na bazie GaN oraz metod projektowania wzmacniaczy mocy z użyciem tych tranzystorów,
- projekty i symulacje obwodowe różnych konfiguracji wzmacniaczy przy wykorzystaniu symulatora ADS firmy Keysight,

- opracowanie modeli wzmacniaczy oraz ich fizyczna realizacja,
- uruchomienie modeli wzmacniaczy oraz ich pomiary,
- analiza wyników pomiarów

Autor w opinii Recenzenta rozwiązał postawione zadania. Przyjęte założenia i użyte w trakcie realizacji zadań metody są uzasadnione i właściwe.

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

Rozprawę cechuje kompleksowe podejście do postawionego problemu naukowego. W celu udowodnienia tezy autor opracowuje od podstaw własną wersję teorii opisującej działania wzmacniacza Doherty w klasach B/C. Na bazie tej teorii przeprowadza badania symulacyjne oraz tworzy projekty układów wzmacniaczy w różnych konfiguracjach. Następnie przygotowuje pliki produkcyjne, fizycznie realizuje układy oraz poddaje weryfikacji pomiarowej. Analiza wyników pomiarów potwierdza wyniki teoretyczne oraz pozwala finalnie dowieść tezy pracy.

Rozprawa zawiera oryginalne i stanowiące samodzielny dorobek autora składniki, do których należą:

- analiza pracy wzmacniacza typu Doherty ze stopniami składowymi pracującymi w klasach B i C,
- sformułowanie warunku na wartość impedancji obciążenia dla uzyskania największej sprawności bez redukcji poziomu mocy wyjściowej,
- projekt układu trójdrożnego wzmacniacza typu Doherty w konfiguracji odwróconej z oryginalnym dzielnikiem mocy.

Dodatkowo jako samodzielny dorobek autora można traktować:

- projekt i konstrukcję nowatorskiego dzielnika mocy,
- zgłoszenie patentowe dla w/w układu,
- niezwykle liczącą bazę wyników pomiarowych dla poszczególnych eksperymentów przeprowadzonych dla różnych konfiguracji wzmacniaczy mocy.

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

Autor wykazał w opinii recenzenta umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników. Rozprawę cechuje zwięzłość i jasność. Uwagę zwraca dbałość o szczegółowy opis prezentowanych wyników oraz przejrzystość rysunków prezentujących wyniki obliczeń symulacyjnych oraz pomiarów wykonanych układów.

## 6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?

Recenzent ocenia pracę jako bardzo przydatną dla nauk technicznych. Uzyskane wyniki, w postaci oryginalnej konstrukcji mikrofalowej zawierającej: strukturę, warunki obwodowe (w tym dopasowania), sposób polaryzacji i sposób dzielenia mocy są na poziomie światowym i stanowią znaczny wkład w obszar techniki mikrofalowej w zakresie wzmacniaczy mocy. Dodatkowo należy wspomnieć, że jednym z rezultatów pracy mgr. inż. Marcina Góralczyka jest zgłoszenie patentowe w UPRP na oryginalne rozwiązanie układu mikrofalowego dzielnika mocy.

Wyniki pracy można bezpośrednio komercjalizować i zastosować w praktyce inżynierskiej. Na bazie uzyskanych wyników pracy można przygotować rodzinę wzmacniaczy mocy jako gotowych podzespołów mikrofalowych do zastosowania w radiokomunikacji. Dodatkowo obszerna baza pomiarowa wraz z analizą wyników pomiarów może stanowić doskonały materiał do użycia w obszarze dydaktyki, np. do przygotowania serii eksperymentów laboratoryjnych, kursów szkoleń inżynierów-projektantów z dziedziny radiokomunikacji oraz do opracowania podręcznika/skryptu akademickiego.

Wyniki pracy, w rozumieniu rozwoju metod badawczych wzmacniaczy mocy, nabierają szczególnego znaczenia w obecnej chwili, kiedy rozwój radiokomunikacji, telekomunikacji i technik sensorycznych przebiega w kierunku zminiaturyzowanych efektywnych nadajników i odbiorników oraz coraz większej liczby komunikujących się źródeł informacji przy zachowaniu zasilania autonomicznego.

### Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Góralczyka pt: „A S-band inverted 3-way Doherty amplifier with GaN HEMT transistors” spełnia formalne wymagania zdefiniowane w art. 187 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Prezentuje ona ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w postaci optymalizacji wzmacniaczy mocy w konfiguracji Doherty w klasach B i C w strukturze wielotranzystorowej. Rozprawa jest przygotowana w języku angielskim z dołączonym streszczeniem w języku polskim. Doktorant wykazał się znajomością metodyki badań naukowych i umiejętnością jej wykorzystania w praktyce, tutaj w rozprawie doktorskiej.

Pan mgr. inż. Marcin Góralczyk biegle porusza się w obszarze techniki mikrofalowej. Prawidłowo formułuje zagadnienia obwodowe i techniczne, prawidłowo używa aparatu matematycznego i opisowego związanego z teorią mikrofal. Wykazuje się umiejętnością projektowania układów mikrofalowych oraz umiejętnością korzystania z nowoczesnego środowiska programistycznego do symulacji mikrofalowych. Prawidłowo definiuje problemy

pomiarowe i rozwiązuje je poprzez prawidłowo przeprowadzone eksperymenty. Wyniki pomiarowe interpretuje w sposób właściwy.

Warsztat pomiarowy, drobiazgowo zaplanowana metodyka pomiarów i skrupulatność ich przeprowadzenia oraz analizy otrzymanych wyników zasługuje na szczególne podkreślenie i wyróżnienie.

Recenzent nie dostrzega wad bądź słabych stron rozprawy w sensie merytorycznym. Rozprawa pod względem redakcyjnym jest dobrze skonstruowana, warstwa graficzna jest atrakcyjna.

Dodatkowo należy zauważyć, że Doktorant podjął wysiłek napisania i edycji rozprawy w wersji anglojęzycznej.

Rysunki wyjaśniające i ilustrujące odpowiednie zagadnienia, w większości są przejrzyste i dobrze zaprojektowane.

Niemniej, można w rozprawie znaleźć szereg drobnych błędów edycyjno-drukarskich. Niektóre rysunki, w szczególności zawierające kopie złożonych układów symulowanych wprowadzonych w obszarach edycji schematów w symulatorze, po umieszczeniu na stronach rozprawy są praktycznie nieczytelne dla osób nie mających doświadczenia w symulacjach układów mikrofalowych przy użyciu specjalizowanego oprogramowania np. ADS, MWO. Należałoby tutaj przemyśleć bardziej czytelny sposób wizualizacji schematów symulacyjnych. Dodatkowo, Doktorant nie przedstawił w pracy konfiguracji stanowiska pomiarowego, na którym wykonywał badania opracowanych przez siebie modli wzmacniaczy mikrofalowych.

Uwagi te nie umniejszają całokształtu niniejszej pracy.

**Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

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

Biorąc pod uwagę istotność proponowanej tematyki, zakres przeprowadzonych analiz, zgłoszenie patentowe, znaczenie praktyczne i możliwości bezpośredniej implementacji i komercjalizacji wyników pracy oraz spełnienie wszystkich warunków stawianych kandydatom do stopnia doktora, rozprawę zaliczam do kategorii e) „wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie”.

