

prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki
Katedra Elektroniki Morskiej
Akademia Morska w Gdyni

Ocena rozprawy doktorskiej
mgr inż. Mariusza Owczarka
nt. „Design and optimization of photonic systems”

1. Uwagi ogólne

Niniejsza ocena pracy doktorskiej mgr inż. Mariusza Owczarka została przygotowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. Praca ta dotyczy wielokryterialnej optymalizacji wzmacniaczy transkonduktancyjnych wykorzystywanych w systemach optycznego przesyłania danych. W szczególności Autor przeprowadził analizę wielu możliwych rozwiązań układowych rozważanej klasy wzmacniaczy wykonanych w technologii heterozłączowych tranzystorów bipolarnych (HBT) oraz w technologii CMOS, sformułował wskaźnik jakości rozważanych układów, przeprowadził ich optymalizację, zaprojektował zoptymalizowany układ, który został zrealizowany praktycznie, a jego charakterystyki tego układu zostały zmierzone przez Doktoranta.

Poruszane w pracy zagadnienia są ważne z punktu widzenia projektowania układów scalonych i optymalizacji ich parametrów eksploatacyjnych. Tematyka podjęta w ocenianej pracy doktorskiej jest aktualna i ważna, a częściowe problemy rozważane przez Doktoranta są również poruszane w licznych pracach innych autorów, opublikowanych w ostatnich kilku latach.

Oceniana praca Doktoranta przedstawia fragment badań realizowanych we współpracy pomiędzy LEOM lab w Ecole Centrale de Lyon oraz Katedry Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych Politechniki Łódzkiej w zakresie systemów fotonicznych wykorzystywanych w optycznych liniach transmisyjnych krótkiego zasięgu. Doktorant zajął się przedwzmacniaczami stosowanymi w odbiornikach sygnału optycznego i realizowanych w postaci układów scalonych.

Doktorant wykazał, że możliwe jest sformułowanie procedury wielokryterialnej optymalizacji umożliwiającej projektowanie przedwzmacniaczy w odbiornikach do

optycznych linii transmisyjnych charakteryzujących się bardzo niskim poborem mocy, a zaprojektowane przedwzmacniacze mogą być realizowane w postaci układów ASIC w dostępnych technologiach.

2. Ocena merytoryczna pracy

Praca liczy łącznie 102 strony i zawiera 8 rozdziałów oraz wykaz cytowanej literatury, a także osobno numerowane spis treści, spis rysunków, spis tabel oraz wykaz symboli i podziękowania.

W rozdziale pierwszym Autor uzasadnił potrzebę prowadzonych badań oraz umiejscowił realizowane przez siebie badania w szerokim obszarze badań nad systemami do krótkodystansowej transmisji sygnałów optycznych. Sformułował również tezę pracy.

Rozdział drugi opisuje połączenia elektryczne stosowane w układach scalonych oraz w systemach elektronicznych. W szczególności Doktorant wskazał problemy związane ze stosowaniem takich połączeń występujące we współczesnych systemach elektronicznych. Podkreślony został niekorzystny wpływ pojemności pasożytniczych związanych ze stosowaniem wielowarstwowych połączeń na opóźnienia propagacyjne sygnałów. Opisano także koncepcje umożliwiające poprawę jakości połączeń elektrycznych poprzez zastosowanie materiałów izolacyjnych o małej przenikalności elektrycznej, materiałów przewodzących o większej konduktywności oraz zmienionej geometrii połączeń.

Rozdział trzeci poświęcono połączeniom optycznym. Przedstawiono budowę systemu przesyłania informacji między obwodami elektronicznymi przy wykorzystaniu transmisji optycznej. Opisano sposoby realizacji połączeń optycznych w układach scalonych oraz przykładowe rozwiązania komponentów instalacji realizujących takie połączenia. Przedstawiono również koncepcję realizacji połączeń optycznych na płycie drukowanej.

Rozdział czwarty poświęcono projektowaniu odbiorników promieniowania optycznego. Doktorant przedstawił strukturę blokową takiego odbiornika, scharakteryzował wykorzystywane fotodetektory oraz przedstawił typowe rozwiązania przedwzmacniaczy zawartych w rozważanych odbiornikach. Rozważane są przedwzmacniacze wykonane zarówno w technologii CMOS, jak i w technologii bipolarnej. W oparciu o przeprowadzone studia literaturowe Doktorant wybrał do dalszych rozważań odbiorniki optyczne wyposażone w fotodiode p-i-n oraz 5 przedwzmacniaczy – 2 wykonane w technologii bipolarnych tranzystorów heterozłączowych (HBT) oraz 3 wykonane w technologii unipolarnej.

W rozdziale piątym opisano program optymalizacyjny RUNE, opracowany w Ecole Centrale de Lyon, prawdopodobnie z udziałem Doktoranta (choć nie jest to w pracy jasno

zaznaczone). Zastosowana w tym programie metoda bazuje na poszukiwaniu optimum w sensie Pareto (frontu Pareto) przy wykorzystaniu algorytmu genetycznego. Zdefiniowano wskaźnik jakości dla optymalizowanych układów jako iloraz iloczynu pasma wzmacniacza i wzmocnienia przez moc pobieraną ze źródła zasilania.

Rozdział szósty opisuje proces optymalizacji przedwzmacniaczy zrealizowany przez Doktoranta. Dla każdego z pięciu rozważanych układów zostały zdefiniowane parametry będące przedmiotem optymalizacji. Sformułowano również przedziały dopuszczalnych wartości optymalizowanych wielkości oraz przedstawiono uzyskane z optymalizacji wartości parametrów wszystkich rozważanych układów i odpowiadające im wartości podstawowych parametrów eksploatacyjnych. Dwa rozpatrywane w pracy układy przedwzmacniaczy z tranzystorami heterozłączowymi wykazały najkorzystniejsze właściwości i Doktorant wybrał je do realizacji praktycznej. Przy wykorzystaniu pakietu Cadence zaprojektował on układy scalone realizujące wskazane przedwzmacniacze. Po zaprojektowaniu rozważanych układów Doktorant wyznaczył wartości ich parametrów przy uwzględnieniu elementów pasożytniczych i porównał uzyskane wartości z wynikami optymalizacji, a także porównał charakterystyki tych układów obliczone dla zoptymalizowanych wartości parametrów oraz wartości tych parametrów uzyskanych po zaprojektowaniu układów scalonych. Uzyskane w obu przypadkach charakterystyki nieznacznie odbiegają od siebie.

W rozdziale siódmym Doktorant przedstawił wyniki badań układów scalonych wykonanych według jego projektu. Opisany został zastosowany układ pomiarowy oraz uzyskane wyniki pomiarów stałoprądowych oraz dynamicznych. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że w rzeczywistym układzie nie udało się uzyskać zakładanych wartości parametrów eksploatacyjnych, ale uzyskano poprawną pracę rozważanych układów.

Rozdział 8 stanowi podsumowanie pracy, w którym Doktorant przedstawił zawartość poszczególnych rozdziałów pracy.

Wykaz literatury zawiera łącznie 96 pozycji, w tym 7 prac, które opracował Autor. Cytowane prace są w większości wydane w ostatnich 15 latach, a zatem są one aktualne. Dobór cytowanych prac świadczy o dobrej orientacji Doktoranta we współczesnej wiedzy z zakresu projektowania układów scalonych, metod optymalizacji oraz metod przesyłania sygnałów.

3. Uwagi ogólne

Praca jest napisana w języku angielskim w sposób zrozumiały i zawiera niewiele błędów językowych. Zamieszczone w pracy rysunki są dobrze dobrane i ułatwiają zrozumienie

zagadnień poruszanych przez Autora, a także dobrze ilustrują prezentowane w pracy spostrzeżenia i wnioski.

W pracy przedstawiono wyniki badań Autora dotyczące przedwzmacniaczy stosowanych w odbiornikach promieniowania optycznego. Doktorant przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych przeprowadził optymalizację parametrów pięciu układów przedwzmacniaczy transimpedancyjnych, poszukując dla każdego z nich frontu Pareto.

Bardzo ważnym osiągnięciem Autora jest zaprojektowanie i realizacja praktyczna układów scalonych realizujących funkcję rozważanych przedwzmacniaczy o zoptymalizowanych wartościach parametrów. Dowodzi to umiejętności praktycznych Doktoranta, który także poprawnie zaprojektował i zbudował układ pomiarowy do badania charakterystyk statycznych i dynamicznych rozważanej klasy układów. A zatem Doktorant sformułował problem badawczy i samodzielnie go rozwiązał.

Podczas lektury tej interesującej pracy nasunęło mi się kilka uwag:

- a) Autor nie wyjaśnia w pracy, dlaczego optymalizacja Pareto, przeznaczona przede wszystkim do zastosowań w ekonomii, jest właściwa przy optymalizacji wartości parametrów układów elektronicznych.
- b) Opis układu pomiarowego zastosowanego do wyznaczania charakterystyk skonstruowanych układów scalonych jest zbyt krótki. W szczególności brakuje informacji o projekcie zastosowanego adaptera do podłączenia układu scalonego pracującego w zakresie mikrofalowym. Jak zaprojektowano stosowne prowadnice mikrofalowe?
- c) Autor nie przedstawił jasno, jaki był jego udział przy opracowaniu programu RUNE. Czy jest jego twórcą, czy też dokonał tylko niewielkiej modyfikacji programu opracowanego przez innych twórców?
- d) Czy były podjęte próby zastosowania przedwzmacniaczy wykonanych według projektu Doktoranta w systemach do przesyłania sygnałów optycznych między układami elektronicznymi?

Uwagi powyższe mają charakter dyskusyjny i w żadnym stopniu nie obniżają pozytywnej oceny pracy.

4. Uwagi szczegółowe

Oceniana praca jest zredagowana starannie, ale Autor nie ustrzegł się drobnych uchybień, które jednak nie wpływają w istotny sposób na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy.

- a) W List of Symbols niektóre parametry są oznaczane za pomocą dwóch różnych symboli, np. β oraz h_{FE} .
- b) W Tabeli 2.3 zamiast „current conduction capacity” powinno być „current density”.
- c) Jak należy rozumieć sformułowanie „breakdown of power” w podpisie pod Fig.3.5?
- d) Opisy osi na Fig. 6.3 są wykonane zbyt małą czcionką i przez to są nieczytelne.
- e) W Tabeli 6.2 zamiast „MOSET” powinno być raczej „MOSFET”.
- f) Na Fig. 6.4 brakuje oznaczenia osi, co czyni ten rysunek mało użytecznym.
- g) Na str. 70 zamiast „the value of around 3GHz” powinno być raczej „the value of about 3GHz”.
- h) Na Fig. 6.12 opis osi poziomej jest niejasny.
- i) Fig. 6.13 i Fig. 6.15 są nieczytelne ze względu na czarne tło.
- j) Na Fig. 6.14 i Fig. 6.16 nie widać zielonej linii, o której jest mowa w podpisach pod tymi rysunkami. Skala na osiach jest nieczytelna.
- k) Fig. 7.5 nie powinien być dzielony między dwie strony. Na Fig. 7.5a brakuje kropek w miejscach połączeń gałęzi, a zamiast oznaczenia wartości rezystancji rezystora „50 om” powinno być „50 Ω ”.
- l) Po co pokazano na Fig. 7.8 zdjęcie frezarki?
- m) Jakiego punktu układu pomiarowego dotyczą wykresy przedstawione na Fig.7.9, 7.10, 7.11 oraz 7.12?
- n) Struktura ostatniego rozdziału nie odpowiada klasycznemu podsumowaniu, ponieważ nie zawiera usystematyzowanych informacji o osiągnięciach Doktoranta oraz o potencjalnych kierunkach dalszych badań.
- o) W kilku pozycjach wymienionych w wykazie literatury brakuje informacji o roku publikacji lub o numerach stron czasopisma lub materiałów konferencyjnych, na których zamieszczony jest cytowana praca.

5. Wnioski końcowe

Oceniana praca zawiera oryginalne i wartościowe wyniki stanowiące istotny wkład Doktoranta w badania właściwości podukładów optycznego systemu przesyłania informacji między obwodami elektronicznymi. Doktorant samodzielnie rozwiązał ważne zagadnienie badawcze i wykazał się znajomością aktualnej literatury naukowej w zakresie tematyki pracy. Na podkreślenie zasługuje połączenie teorii z praktyką, tzn. komputerowa optymalizacja układu elektronicznego, zaprojektowanie układu scalonego przy uwzględnieniu wyników

procesu optymalizacji, praktyczna realizacja zaprojektowanego układu oraz pomiary wykonanych układów scalonych.

Uwagi sformułowane w punkcie 3 mają charakter dyskusyjny i wymagają ustosunkowania się do nich Doktoranta w czasie obrony.

W mojej opinii praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy. W związku z tym zgłaszam wniosek do Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej o dopuszczenie mgr inż. Mariusza Owczarka do publicznej obrony.

Garecki