

Prof. dr hab. inż. Adam Kawalec
Instytut Techniki Raketowej i Mechatroniki
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dnia 07.04.2023 r.

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

**Tytuł rozprawy: „*Układ zintegrowanego generatora o architekturze
hybrydowej i niskim poborze mocy oraz metoda jego projektowania
w nanometrowych technologiach CMOS*”**

Autor: mgr inż. Igor Butryn

Promotor: dr hab. inż. Witold Pleskacz, prof. uczelni

Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Siwiec

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

Rozprawa doktorska dotyczy nowej hybrydowej architektury generatora drgań elektrycznych wynikającej z połączenia dwóch znanych generatorów Cross-Coupled i Colpittsa. Genezą zainteresowania Doktoranta tą problematyką była możliwość ograniczenia mocy pobieranej przez układ i zastosowania tego rozwiązania w układach komunikacji bezprzewodowej, co wymagało rozwiązania istotnych zagadnień w zakresie opracowania stosownego oscylatora z zastosowaniem technologii nanometrowych CMOS. Zasadniczym problemem badawczym dla potrzeb realizacji rozprawy, poza ograniczeniem poboru mocy, było również utrzymanie niskiego poziomu gęstości widmowej mocy szumów fazowych generowanego sygnału. Bazując na aktualnych doniesieniach literaturowych w zakresie tematu rozprawy oraz własnych doświadczeniach badawczych Doktorant podjął zatem badania architektury



hybrydowej generatora, z wykorzystaniem rozwiązań dostępnych w literaturze, stosowanych do projektowania scalonych generatorów drgań elektrycznych.

Rozwiązanie problemów badawczych podjętych przez Autora rozprawy jest szczególnie ważne dla nowoczesnych systemów komunikacji bezprzewodowej. Dlatego Doktorant przedstawił szczegółowo analizę architektury hybrydowej generatora na tle innych znanych z literatury architektur wykorzystywanych do projektowania scalonych generatorów drgań elektrycznych.

Z analizy stanu wiedzy literaturowej wynika cel rozprawy dotyczący opracowania architektury generatora sterowanego cyfrowo pracującego w układzie cyfrowej pętli synchronizacji fazy, charakteryzujący się niskim poziomem szumów fazowych oraz niskim poborem mocy w porównaniu do innych, znanych w dostępnej literaturze.

Cel rozprawy jest określony właściwie, tematyka jest aktualna i potrzebna. Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

Doktorant sformułował następującą tezę rozprawy:

„W nanometrowych technologiach CMOS można zrealizować scalony oscylator charakteryzujący się małym poborem mocy i niskim poziomem szumów fazowych, który integruje różne rozwiązania wykorzystywane w generatorach drgań elektrycznych”

oraz przedstawił zadania cząstkowe wynikające z celu rozprawy i weryfikacji powyższej tezy.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, biografii, wykazu dorobku naukowego oraz wykazu topografii układów scalonych zastrzeżonych w Urzędzie Patentowym RP. Rozdział 1. rozprawy jest krótkim wprowadzeniem w tematykę badań. Rozdział ten zawiera również tezę rozprawy, jej cel i zakres badań. Autor w rozdziale 2. Opisał znane architektury układów syntezy częstotliwości, ich parametry oraz zastosowania ze szczególnym uwzględnieniem, poza analogowymi układami syntezy pośredniej, pętli synchronizacji fazowej PLL (ang. *Phase-Lock Loop*), układy syntezy bezpośrednio, cyfrowej DDS (ang. *Direct Digital Synthesis*) często określane nazwą NCO, (ang. *Numerically-Controlled Oscillator*)

W rozdziale 3. Doktorant skoncentrował się na przeglądzie literatury dotyczącym znanej architektury zintegrowanych oscylatorów scalonych stosowanych w podzespołach nadawczo-odbiorczych układów radiowych gdzie wymagany jest

sygnał opisany funkcją sinusoidalną. Szczególną uwagę Autor zwrócił na modele generatorów Cross-Coupled i Colpittsa.

Rozdział 4. zawiera opis nowej, hybrydowej architektury generatora scalonego wynikającej z połączenia architektury generatora Cross-Coupled z architekturą generatora Colpittsa, który charakteryzuje się niższym poziomem szumów fazowych w porównaniu do generatora Cross-Coupled oraz wymaga niższego napięcia zasilania.

W rozdziale 5. Doktorant zaprezentował opracowaną metodę projektowania generatora o architekturze hybrydowej oraz uwydatnił jego zalety względem innych rozwiązań.

Rozdział 6. poświęcony jest opisowi projektu generatora sterowanego cyfrowo o architekturze hybrydowej zaprojektowanego w technologii CMOS 110 nm i zastosowanego w odbiorniku GNSS (ang. *Global Navigation Satellite Systems*).

Zasadnicze wnioski Doktorant przedstawił w podsumowaniu rozprawy, zaakcentował możliwość wykorzystania opracowanej architektury hybrydowej generatora w odbiorniku nawigacji satelitarnej GNSS.

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

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant uwzględnił 22 pozycje literaturowe, których w dwóch jest współautorem. Literatura przedmiotu, zawiera pozycje książkowe, konferencyjne oraz publikacje istotnych, czołowych pism światowych.

Bazując na dostępnych pracach Autor przeprowadził analizę stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł odpowiada potrzebom rozprawy i należy uznać go za właściwy i szczegółowy. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z tematyką rozprawy. Autor przedstawił w rozprawie znane rozwiązania w dziedzinie generatorów lokalnych, dotyczące w szczególności stabilności częstotliwości sygnału oraz niskiego poziomu szumów fazowych.

Analiza źródeł literaturowych z odpowiednim wnioskowaniem pozwoliła na sformułowanie celu pracy oraz zadań badawczych.

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

Przyjęte cele rozprawy wymagały przede wszystkim rozwiązania kilku istotnych problemów badawczych, które sukcesywnie zostały rozwiązane przez Doktoranta. W szczególności dla ich realizacji Autor wykonał analizę wymagań dla syntezerów częstotliwości w układach komunikacji bezprzewodowej.

Opracował nową nieznaną w literaturze architekturę generatora sterowanego cyfrowo, co pozwoliło na implementację tej architektury oscylatora w układzie cyfrowej pętli synchronizacji fazy pracującego jako oscylator lokalny w odbiorniku nawigacji satelitarnej GNSS w technologii CMOS 110 nm, co umożliwiło wykonanie serii badań eksperymentalnych i porównanie ich z wynikami badań symulacyjnych.

Doktorant przedstawił również analizę porównawczą wyników zaprojektowanego generatora o architekturze hybrydowej z innymi generatorami opisanymi w literaturze. Uzyskane wyniki pomiarów potwierdzają, że architektura hybrydowa generatora pozwala na zmniejszenie poboru mocy przy jednoczesnym zachowaniu niskiego poziomu szumów fazowych.

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?

Praca stanowi oryginalny wkład Autora do problematyki projektowania zintegrowanych generatorów o architekturze hybrydowej w technologiach nanometrowych CMOS. Do zasadniczych, oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć: opracowanie oryginalnej architektury hybrydowej generatora drgań z wykorzystaniem połączenia znanych oscylatorów: Colpittsa oraz Cross-Coupled, opracowanie projektu generatora Colpittsa dla porównania z generatorem o architekturze hybrydowej, która eliminuje zasadniczo natężenie prądu zasilania układu przy porównywalnej gęstości widmowej szumów fazowych, zastosowanie opracowanej architektury hybrydowej generatora w projekcie generatora dla odbiornika nawigacji satelitarnej GNSS, co potwierdziło w całości tezę rozprawy.

Opracowane przez Autora oryginalne rozwiązania mogą zostać wykorzystane przede wszystkim w mobilnych układach komunikacji bezprzewodowej, gdzie istotnym parametrem jest poziom poboru mocy układu. Uzyskane rozwiązania nie są dotąd znane w literaturze przedmiotu. Dodatkowo interpretacja zamieszczonych w rozprawie wyników zaproponowanych przez Doktoranta badań eksperymentalnych zasługuje na podkreślenie.

Rozprawa zawiera również wykaz dorobku naukowego Doktoranta jako współautora pięciu recenzowanych publikacji naukowych, gdzie w publikacjach [1], [4] i [5] jest pierwszym autorem. Dodatkowo w rozprawie Doktorant zamieścił wykaz topografii układów scalonych zastrzeżonych w Urzędzie Patentowym RP, który zawiera dziewięć pozycji z zaznaczonym wkładem Autora, który jest znaczący.

Istotne są również przedstawione przez Doktoranta plany dalszych badań w zakresie tematu rozprawy.

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

Rozprawa nie jest obszerna (zawiera 92 strony), ale zredagowana jest w sposób bardzo staranny, napisana jasnym językiem i posiada logiczny układ. Szata graficzna przy prezentacji uzyskanych rezultatów jest przejrzysta i logiczna. Wyniki analiz przedstawione zostały w rozprawie w sposób jasny i zwięzły.

W rozprawie nie znalazłem zasadniczych błędów edycyjnych. Brakuje jednak wykazu oznaczeń, co utrudnia interpretację wyrażeń matematycznych, np. we wzorze(2.8) nie wiadomo, co oznacza f_{clk} . Niektóre oznaczenia powinny być używane precyzyjnie, zgodnie z ogólnie przyjętymi w literaturze przedmiotu np. pierwszy akapit str. 29 jest: „.....z sygnałami I (ang. In-phase) oraz Q (ang. Quadrature)”, powinno być „z sygnałami synfazowymi I (ang. In-phase) oraz kwadraturowymi Q (ang. Quadrature).” Oczywiście uwagi te nie obniżają wartości rozprawy. Praca wykonana jest wręcz wzorowo i trudno doszukiwać się słabych stron rozprawy. Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi nowatorskie, szerokie i wnikliwe opracowanie potwierdzone precyzyjnie zaplanowanymi badaniami symulacyjnymi i eksperymentalnymi.



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

Autor opracował nową oryginalną hybrydową architekturę generatora drgań elektrycznych, która bazowała na dwóch znanych architekturach generatorów Cross-Coupled oraz generatora Colpittsa i została wykorzystana do projektu generatora w odbiorniku nawigacji satelitarnej GNSS zrealizowanego w ramach projektu rozwojowego NCBiR nr POIR.04.01.04-00-0101/16, pt. „*Miniaturowy, dwuczęstotliwościowy, jednoczątkowy system scalony do precyzyjnej nawigacji satelitarnej GPS/Galileo zintegrowany z procesorem aplikacyjnym dedykowany do urządzeń IoT o niskim poborze mocy – NaviSoC*”.

Opracowana przez Doktoranta oryginalna metoda projektowania generatora o architekturze hybrydowej stanowi unikalne narzędzie do projektowania zintegrowanych generatorów o niskim poborze mocy w technologiach nanometrowych CMOS.

Wybrane wyniki i metody można wykorzystać w innych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych z zakresu technologii nanometrowych CMOS.

7. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

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

Recenzowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, wnosząc o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

