

Warszawa, 24.06.2023

Dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych  
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY DISCYPLINY NAUKOWEJ „AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE  
KOSMICZNE” WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ**

**Tytuł rozprawy:** Generacja impulsów optycznych o nanosekundowym i subnanosekundowym czasie trwania w laserach półprzewodnikowych

**Autor rozprawy:** mgr inż. Paweł Grześ

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

Głównym celem rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Pawła Grzesia, realizowanej pod opieką promotorską dr. hab. inż. Jacka Świdarskiego, profesora uczelni oraz pani dr inż. Marii Michalskiej (jako promotorki pomocniczej), była analiza procesów generacji impulsów optycznych o nanosekundowym i sub-nanosekundowym czasie trwania w laserach półprzewodnikowych oraz opracowanie i przebadanie układów elektronicznych umożliwiających uzyskanie takich impulsów, ich kształtowanie i pomiar energii.

Tak zdefiniowany cel pracy Autor podzielił na pięć zadań badawczych, wskazanych w tekście rozprawy i szczegółowo definiujących jej zakres. Zadania te obejmują:

1. analizę dynamiki laserów półprzewodnikowych oraz ocenę możliwości generacji krótkich impulsów promieniowania;
2. symulacje komputerowe procesów generacji impulsów laserowych wybranymi metodami w ujęciu wybranych modeli matematycznych;
3. zaprojektowanie oraz wykonanie prototypów elektronicznych układów sterujących, generujących impulsy prądowe o odpowiednich parametrach;
4. opracowanie i zbadanie metod kształtowania krótkich impulsów laserowych oraz tłumienia drgań relaksacyjnych;
5. opracowanie koncepcji oraz praktyczną implementację metody pomiaru energii impulsu laserowego, cechującej się odpowiednio wysoką czułością, wymaganą do charakteryzacji impulsów optycznych generowanych przez skonstruowane układy.

Autor nie stawia w rozprawie żadnej tezy, co jest całkowicie poprawne formalnie, ale nieco zaskakujące w kontekście jej tematyki i uzyskanych wyników, dających, jak się wydaje, pewną swobodę w formułowaniu tez.

Na całość rozprawy składa się sześć rozdziałów zakończonych obszernym podsumowaniem. Można w niej wyróżnić trzy główne części – wprowadzenie teoretyczne w metody opisu parametrów dynamicznych laserów półprzewodnikowych oraz metody uzyskiwania pracy impulsowej, symulacje numeryczne oraz część czysto eksperymentalną, skoncentrowaną na zagadnieniach uzyskiwania i kształtowania impulsów laserowych. Ta ostatnia uzupełniona jest o praktyczne zagadnienia pomiaru energii impulsów nanosekundowych.

Praca wpisuje się w nurt badań i prac rozwojowych w obszarze modelowania i projektowania układów elektronicznego sterowania parametrami impulsów w laserach półprzewodnikowych.

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

Wprowadzenie teoretyczne i analizę źródeł skoncentrował Autor w rozdziale pierwszym i drugim, choć należy zauważyć, że kolejny rozdział, pt. „Symulacje numeryczne” również zawiera liczne odniesienia do literatury przedmiotu.

W rozdziale pierwszym, pt. „Dynamika laserów półprzewodnikowych” Autor formułuje i wyczerpująco omawia równania kinetyczne opisujące parametry dynamiczne laserów półprzewodnikowych, dyskutując najważniejsze podejścia prezentowane w literaturze światowej oraz przyjmowane uproszczenia. Następnie wprowadza czytelnika w formalizm opisu charakterystyki przejściowej lasera półprzewodnikowego w warunkach statycznych, analizy mało-sygnałowej oraz dyskutuje zagadnienia odpowiedzi dynamicznej lasera półprzewodnikowego na prostokątne impulsy prądowe. W rozdziale drugim, pt. „Techniki generacji krótkich impulsów”, omawia najważniejsze techniki generacji krótkich impulsów, poczynając od metody modulacji bezpośredniej, przez metodę przełączania wzmocnienia, metodę modulacji dobroci rezonatora, aż do metody synchronizacji modów podłużnych. Rozdział 2 kończy Autor przejrzystym tabelarycznym porównaniem i podsumowaniem metod generacji impulsów w laserach półprzewodnikowych. W sumie autor cytuje 240 pozycji literaturowych, stanowiących wyczerpujący przegląd stanu wiedzy w tematyce rozprawy doktorskiej.

Analizę źródeł uznaję za przeprowadzoną w sposób wyczerpujący, świadczący o szerokiej wiedzy i kompetencjach naukowych Autora, który z wielką biegłością porusza się w tematyce zagadnień teoretycznych i praktycznych aspektów uzyskiwania (a także opisu teoretycznego) pracy impulsowej w laserach półprzewodnikowych.

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

Rozwiązanie postawionych zadań badawczych zawierają rozdziały od trzeciego do szóstego. Rozdział trzeci poświęcił Autor symulacjom numerycznym parametrów dynamicznych laserów półprzewodnikowych, wprowadzając metodę płaszczyzn fazowych jako interesujące narzędzie do analizy parametrów dynamicznych lasera półprzewodnikowego. W rozdziale tym porównuje Autor różne modele matematyczne, analizując różnice w odpowiedziach dynamicznych dla różnych modeli rekombinacji i wzmocnienia, uwzględniając również wpływ współczynnika nasycenia wzmocnienia. Interesującym elementem tej części pracy jest weryfikacja wcześniej otrzymanych rozwiązań analitycznych poprzez porównanie wyników uzyskanych tymi metodami z wynikami metod numerycznych dla metody modulacji bezpośredniej oraz dla metody przełączania wzmocnienia (są to

dwie główne metody analizowane przez Autora w rozprawie). Wszystkie te analizy prowadzi Autor wykorzystując metodę płaszczyzn fazowych, w której porusza się z imponującą swobodą i biegłością.

W rozdziale czwartym prezentuje Autor najważniejsze zaprojektowane przez siebie architektury układów elektronicznych do uzyskiwania i sterowania parametrami impulsów generowanych w laserach półprzewodnikowych, koncentrując się na metodzie modulacji bezpośredniej i przełączania wzmacnienia (przy czym obie implementuje w układach komercyjnie dostępnych laserów półprzewodnikowych o typowej konstrukcji). Autor przedstawia i analizuje wybrane architektury układowe, zaczynając od najprostszych układów z wymuszeniem sinusoidalnym, przez kolejne układy generatorów monostabilnych z wymuszeniem sygnałem prostokątnym, o rosnącym stopniu komplikacji (w tym układy z monolitycznymi dedykowanymi układami scalonymi, z klasycznym tranzystorowym multiwibratorem monostabilnym, z bramkami logicznymi, z tranzystorami lawinowymi i pojemnościowymi diodami lawinowymi). Dla każdego ze skonstruowanych układów Autor przedstawia wyniki badań generacji krótkich impulsów, analizując m.in. kształt i długość impulsu laserowego i wnioskując o potencjale poszczególnych rozwiązań.

Choć wybór demonstratorów nie wyczerpuje pełnego spektrum metod i rozwiązań układowych, to jest na tyle szeroki, że pozwala Autorowi na ich krytyczne porównanie, ze wskazaniem możliwych do uzyskania parametrów, a także zalet i ograniczeń poszczególnych rozwiązań. Ta część rozprawy, oprócz rozwiązania części postawionych problemów badawczych, potwierdza sprawność i kompetencje Autora w roli architekta układów elektronicznych do sterowania parametrami dynamicznymi laserów półprzewodnikowych.

Rozdział piąty poświęcił Autor zagadnieniu kształtowania impulsów laserowych przy modulacji bezpośredniej, a w szczególności metodom ograniczania oscylacji relaksacyjnych. Przedyskutował i przedstawił praktyczne realizacje trzech metod – wstępnej polaryzacji diody laserowej, odpowiedniego ukształtowania impulsu prądowego oraz wstrzykiwania fotonów do wnęki rezonansowej lasera półprzewodnikowego, w każdym przypadku uzyskując wyniki o niewątpliwej wartości publikacyjnej.

Rozdział szósty skoncentrowany jest z kolei na zagadnieniu pomiarów energii impulsów laserowych – Autor przedstawia w nim zaprojektowany przez siebie i wykonany układ miernika energii nanosekundowych impulsów laserowych, z sukcesem zweryfikowany w badaniach i będący przedmiotem uzyskanego zastrzeżenia patentowego, co dodatkowo potwierdza oryginalność rozwiązania.

Z przyjemnością stwierdzam, że Autor rozwiązał postawione w rozprawie zadania badawcze w sposób wzorowy i wyczerpujący. Nie mam zastrzeżeń co do poprawności przyjętych założeń oraz metod zastosowanych do rozwiązania problemu naukowego, szczególnie, że pozwoliły one na uzyskanie wyników o dużym znaczeniu praktycznym w postaci zestawu sterowników do impulsowych laserów półprzewodnikowych, pozwalających na kształtowanie w szerokim zakresie parametrów impulsów optycznych, w tym uzyskiwanie pracy z impulsami o długościach pikosekundowych.

#### **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?**

Z uwagi na mnogość opracowanych i przetestowanych układów (poprzedzonych wyczerpującą analizą teoretyczną) łatwo w rozprawie doktorskiej pana Pawła Grzesia wskazać rozwiązania o wysokim stopniu oryginalności, istotnie kontrybuujące do stanu wiedzy i rozwoju techniki. Do najbardziej oryginalnych zaliczyłbym rozwinięcie i praktyczną implementację metody płaszczyzn fazowych do obrazowania dynamiki i optymalizacji stanów przejściowych w układach impulsowych laserów półprzewodnikowych, a także demonstrację całkowitego wytłumienia drgań relaksacyjnych za pomocą metody wstrzykiwania fotonów do wnęki rezonansowej. Na wielkie uznanie zasługuje

również opracowanie całej linii autorskich rozwiązań sterowników diod laserowych do kształtowania i kontroli impulsów laserowych w zakresach nanosekundowych i pikosekundowych. Należy również wspomnieć o opracowanym oryginalnym układzie miernika energii krótkich impulsów laserowych (jego oryginalność i potencjał użytkowy potwierdzone są uzyskaną ochroną patentową), który jednak traktuję jako osiągnięcie dodatkowe, będące nieco obok głównej linii rozprawy.

Opracowane rozwiązania wymagały nie tylko szerokiej wiedzy teoretycznej z zakresu techniki laserów półprzewodnikowych, ale również umiejętności rozwiązywania problemów natury ściśle inżynierskiej, związanych z praktyczną realizacją serii sterowników elektronicznych do laserów półprzewodnikowych generujących impulsy nano- i pikosekundowe. W mojej ocenie Autor rozwiązał wszystkie postawione zadania badawcze bez zarzutu, co potwierdza nie tylko jego indywidualne predyspozycje i dojrzałość naukową, ale również wystawia znakomite świadectwo zespołowi naukowemu, w którym realizował swoją pracę doktorską.

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

Praca została zredagowana w sposób niezwykle przejrzysty z wielką dbałością o szczegóły edycyjne jakości językowej. Wywód naukowy poprowadzony jest w sposób jasny i przejrzysty z rzadko spotykanym wielkim walorem dydaktycznym. Wszelkie uzyskane wyniki przedstawione i przedyskutowane są w sposób klarowny i dogłębnie przeanalizowane. Nieliczne drobne uchybienia językowe (jak np. „absorbcja” zamiast „absorpcja”, „po krótcie” zamiast „pokrótcie”, czy „w skutek” zamiast „wskutek”), mające raczej charakter interwencji *chochlików drukarskich*, w najmniejszym stopniu nie psują bardzo dobrego ogólnego wrażenia odnośnie jakości warstwy redakcyjnej.

#### **6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Nie dostrzegam wyraźnie słabych stron rozprawy doktorskiej pana Pawła Grzesia, choć z obowiązku recenzenckiego chciałbym wskazać na elementy mniej przekonujące, oraz wymagające ewentualnego uzupełnienia w przyszłości, na etapie dalszego publikowania uzyskanych wyników (co, jak wierzę, wkrótce nastąpi).

Największy niedosyt wynika ze stuprocentowego skoncentrowania się autora na zagadnieniach ewolucji czasowej impulsów (co jest zrozumiałe w rozprawie dotyczącej zagadnień dynamicznej pracy laserów półprzewodnikowych), przy prawie całkowitym braku odniesienia do charakterystyk spektralnych akcji laserowej badanych układów. Jestem przekonany, że stanowiłoby to bardzo interesujące uzupełnienie przedstawianych wyników zależności czasowych. Byłbym zobowiązany za przedyskutowanie tego aspektu podczas publicznej obrony rozprawy.

Lekko konfundujący jest dla mnie również fakt pozycjonowania głównego dorobku naukowego autora, manifestującego się w publikacjach naukowych (artykułach w czasopiśmie naukowych i prac konferencyjnych) nieco obok tematyki przedłożonej rozprawy. Pan Paweł Grześ ma obszerny dorobek publikacyjny - jest autorem 13 artykułów (z tego ogromna większość w dobrych czasopiśmie zagranicznych), jest również współautorem 8 publikacji pokonferencyjnych, a także 21 wystąpień na konferencjach krajowych i międzynarodowych i jednego patentu. Ta różnorodność dorobku dobrze pokazuje wszechstronność autora, ale ze struktury prac widać jednoznacznie, że tematyka rozprawy doktorskiej nie była osią jego zainteresowań naukowych. Spośród 13 wyżej wspomnianych artykułów, zaledwie dwa (chyba najmniej zauważalne, jeśli brać pod uwagę renomę czasopiśmie), dotyczą tematyki bezpośrednio poruszanej w rozprawie doktorskiej.

Niezależnie od tej uwagi, uważam że dorobek doktoranta jest całkowicie wystarczający z punktu widzenia wymagań zdefiniowanych w odpowiednich aktach prawnych i oczekiwanych od doktorantów przygotowujących rozprawy doktorskie.

## 7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Praca nad zagadnieniami uzyskiwania i kontrolowania pracy impulsowej w laserach półprzewodnikowych zaprezentowane w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Pawła Grzesia, Zarówno w ujęciu teoretycznym, jak i praktycznym, z całą pewnością stanowią istotny wkład do stanu wiedzy w obszarze laserów półprzewodnikowych. Zarówno przeprowadzone analizy teoretyczne, jak i praktyczne implementacje układów elektronicznych pozwalających na uzyskanie i kontrolowanie pracy impulsowej laserów półprzewodnikowych mają fundamentalne znaczenie dla większości ich zastosowań, w tym telekomunikacji optycznej (światłowodowej i w wolnej przestrzeni), systemów czujnikowych, technik lidarowych, technik zapisu i odczytu informacji, techniki laserów ciała stałego, a nawet fotonicznych układów scalonych.

Tym samym, przydatność rozprawy dla nauk technicznych, a w szczególności dla dziedziny szeroko rozumianej optoelektroniki, wydaje mi się bezdyskusyjna.

## 8. 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
- c) Spełniająca wymagania
- d) Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) Wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

## 9. Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Pawła Grzesia spełnia kryteria oryginalności rozwiązania problemu naukowego i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej sformułowane w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*. Autor wykazał się bardzo wysokim poziomem wiedzy teoretycznej, umiejętnościami modelowania numerycznego oraz konstruowania praktycznych układów optoelektronicznych, a także kompetencjami naukowo-badawczymi, co potwierdzone jest wyczerpującymi i przekonującymi analizami otrzymanych wyników. Warto podkreślić, że wynikiem prowadzonych przez Autora prac są nie tylko wyniki symulacji i rozważań teoretycznych, ale również odzwierciedlające je konkretne rozwiązania techniczne, przetestowane w zestawionych układach.

Mając powyższe na uwadze wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Grzesia do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. PW