

Kraków 03.01.2018r.

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

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Buczka

pt. „Różnicowa stabilizacja długości fali laserów półprzewodnikowych dla potrzeb światłowodowego transferu czasu i częstotliwości”

1. Uwagi ogólne

Praca mgr. inż. Łukasza Buczka zatytułowana „Różnicowa stabilizacja długości fali laserów półprzewodnikowych dla potrzeb światłowodowego transferu czasu i częstotliwości” poświęcona jest zagadnieniom transferu wzorcowych sygnałów czasu i częstotliwości na znaczne odległości z wykorzystaniem światłowodu jako medium transmisyjnego. Istotną częścią pracy są badania teoretyczne mające na celu określenie, które czynniki i parametry systemu wykorzystywanego do transferu mają kluczowe znaczenie na pozyskiwany stopień degradacji sygnałów wzorcowych. Następnie przedstawiona jest koncepcja systemu układu stabilizacji różnicy częstotliwości z wykorzystaniem detekcji koherentnej, a także prototypowy system opracowany z wykorzystaniem licznika cyfrowego oraz wersja pozwalająca na poszerzenie zakresu częstotliwości stabilizowanej bazująca na sekwencyjnym przełączaniu laserów półprzewodnikowych.

Rozwój elektroniki i systemów pomiarowych spowodował w ostatnich latach rozwój wzorców o bardzo dużej dokładności. Ponieważ realizacja takich wzorców pociąga za sobą potrzebę porównania wskazań wielu wzorców, spowodowało to opracowanie systemów transmisji sygnałów wzorcowych, niekiedy na bardzo duże odległości, bez utraty dokładności transmitowanego sygnału wzorcowego. Jest to zagadnienie niezwykle trudne i aktualne, gdyż system taki musi być odporny na zmieniające się warunki wykorzystywanego medium transmisyjnego, a także nie powinien powodować pogorszenia sygnału wzorcowego ze względu na samą konstrukcję systemu oraz wykorzystane metody transmisji.

Zagadnieniem podjętym przez Autora rozprawy jest wykorzystanie różnicowej stabilizacji częstotliwości optycznych laserów półprzewodnikowych do celów budowy systemu transferu czasu i częstotliwości na duże odległości. Proponowany system bazuje na detekcji koherentnej różnicy dwóch częstotliwości optycznych i stabilizacji tej różnicy, co powoduje znaczną poprawę uzyskiwanej dokładności w porównaniu do rozwiązań klasycznych.

Rozprawa składa się ze wstępu, ośmiu rozdziałów - wliczając cel i tezy rozprawy oraz podsumowanie, w końcowej części pracy

zamieszczona jest bibliografia oraz dodatek zawierający zdjęcia wykonanych modułów. We wprowadzeniu Autor krótko przedstawił zarys zagadnienia będącego tematem rozprawy oraz przytoczył wartości osiąganych obecnie wzorców czasu. W rozdziale pierwszym Autor zdefiniował dwa zbieżne ze sobą cele pracy: naukowy i praktyczny oraz zdefiniował dwie tezy rozprawy, a następnie zamieścił opis treści każdego z rozdziałów. W rozdziale drugim przedstawione zostały podstawowe parametry pozwalające na ocenę dokładności projektowanych systemów transmisji wzorców czasu i częstotliwości oraz krótko zostały scharakteryzowane metody transferu sygnałów wzorcowych wykorzystywane obecnie w takich systemach. W rozdziale trzecim Autor przedstawił metody wykorzystywane do stabilizacji długości fali laserów półprzewodnikowych z naciskiem na metody bazujące na wbudowanym termistorze oraz z wykorzystaniem etalonu optycznego, przedstawiając wyniki pomiarów prezentujące możliwości do pozyskania poziom fluktuacji oraz wartości dewiacji Allana, czasu oraz maksymalnego błędu przedziału czasu dla różnych wartości dyspersji skumulowanej. W rozdziale czwartym Autor przedstawił koncepcję układu stabilizacji bazującej na detekcji koherentnej różnicy dwóch częstotliwości optycznych z uwzględnieniem szumu fazowego. Zaproponowany model symulacyjny pozwolił na określenie użytecznego obszaru pracy w zależności od pasma fotodiody, dla którego wartość błędu jest poniżej założonego progu oraz stwierdzenie że dyspersja chromatyczna nie wpływa w istotny sposób na zakres pomiaru. W rozdziale piątym przedstawiono koncepcję układu stabilizacji różnicy długości fal wraz z wynikami pomiarów obrazujących możliwości do pozyskania poziom fluktuacji różnicy długości fal dla różnych narażeń termicznych. Rozdział siódmy poświęcony jest opisowi koncepcji układu stabilizacji różnicy długości fal z przełączaniem sekwencyjnym, co pozwala na znacznie poszerzenie zakresu częstotliwości stabilizowanej. Zaprojektowany system pozwala na stabilizację zakresu setek gigaherców, a zmierzony poziom fluktuacji nie przekracza 50 MHz. W kończącym rozprawę rozdziale siódmym znajduje się krótkie podsumowanie wyników przeprowadzonych badań, w wyciągnięte wnioski potwierdzają prawdziwość postawionych tez rozprawy.

2. Uwagi szczegółowe

- 1) *Jaki jest problem naukowy (teza rozprawy) i czy został on trafnie i jasno sformułowany?*

Tezy rozprawy zostały sformułowane w rozdziale 1 w sposób następujący:

- wykorzystanie detekcji koherentnej różnicy częstotliwości optycznych może pozwolić na budowę pary laserów o stabilizowanej różnicy długości fali z dokładnością nie gorszą niż 1 pm,

- zastosowanie metody stabilizacji różnicy długości fal w systemie transferu sygnałów czasu i częstotliwości umożliwia wymierną poprawę parametrów tego systemu.

Tezy te korespondują ze sformułowanym celem praktycznym pracy, jakim jest opracowanie modułów laserów półprzewodnikowych o precyzyjnie stabilizowanej różnicy częstotliwości optycznych do zastosowań w systemach transferu wzorcowych sygnałów czasu i częstotliwości. Problem naukowy został jasno przedstawiony i sprowadza się do opracowania metody stabilizacji różnicy częstotliwości optycznych, a następnie opracowania i zbadania układu stabilizacji przy narażeniach termicznych.

2) *Czy Autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiadał umiejętności związane z tematyką i metodologią prowadzenia badań naukowych?*

Zasadniczym elementem rozprawy są badania symulacyjne i eksperymentalne metod stabilizacji różnicy częstotliwości optycznych laserów półprzewodnikowych z wykorzystaniem detekcji koherentnej oraz szybkich liczników. W tym celu został stworzony model symulacyjny opisujący kluczowe elementy układu stabilizacji różnicy długości fal i bazujący na sygnałach zdefiniowanych w dziedzinie czasu. Opracowany model pozwolił na efektywne projektowanie układu stabilizacji bazując na symulacjach, a poprawność modelu została potwierdzona poprzez wyniki pomiarów. Uzyskane rezultaty jak również zasób wykorzystanych metod opisu parametrów układu i narzędzi pomiarowych potwierdzają, że Autor doskonale orientuje się zarówno w zagadnieniach teoretycznych dotyczących modelowania systemów transferu czasu i częstotliwości, jak również biegle rozwiązuje problemy związane z pomiarami tych układów oraz projektowaniem układów elektronicznych.

3) *Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?*

Zagadnienia dotyczące rozwoju systemów transferu czasu i częstotliwości są ciągle aktualne. Niewątpliwie obecnie znane techniki transferu sygnałów wzorcowych są już dobrze rozwinięte, jednakże wciąż brakuje systemów, które mogą przesyłać sygnały wzorcowe na duże lub bardzo duże odległości. W tym celu wciąż prowadzone są badania mające na celu opracowanie metod pozwalających na minimalizację lub całkowite wyeliminowanie wpływu niekorzystnych zjawisk wynikających z właściwości wykorzystywanego medium transmisyjnego na parametry projektowanych systemów. Niniejsza rozprawa jest poświęcona problemowi realizacji dalekosiężnych systemów z wykorzystaniem światłowodu jako medium transmisyjnego. Z tego względu należy uznać, że tematyka rozprawy jest ważna i aktualna.

4) *Na czym polega oryginalny dorobek autora i jakie jest jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?*

Do oryginalnych osiągnięć Autora, Recenzent zalicza przede wszystkim:

- Opracowanie koncepcji układu stabilizacji wykorzystującej detekcję koherentną różnicy częstotliwości dwóch laserów półprzewodnikowych do zastosowań w systemach transmisji sygnałów czasu i częstotliwości.
- Stworzenie modelu symulacyjnego pozwalającego na określenie użytecznego zakresu pomiaru różnicy częstotliwości w proponowanym układzie stabilizacji.
- Opracowanie koncepcji oraz wykonanie i weryfikacja eksperymentalna układu stabilizacji różnicy częstotliwości optycznych pozwalającego na pomiar częstotliwości w zakresie do kilkunastu gigaherców, dla którego poziom fluktuacji nie przekracza 20 MHz.
- Opracowanie koncepcji oraz wykonanie i weryfikacja eksperymentalna układu stabilizacji różnicy częstotliwości optycznych z przełączaniem sekwencyjnym pozwalającego na pomiar częstotliwości w zakresie setek gigaherców, dla którego poziom fluktuacji nie przekracza 50 MHz.

5) *Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy Autora, wiedzy na zaawansowanym poziomie, o charakterze podstawowym dla dziedziny nauk technicznych oraz o charakterze szczegółowym, odpowiadającej obszarowi prowadzonych badań naukowych?*

Przedstawione w pracy wyniki badań potwierdzają duży poziom merytoryczny Autora w zakresie zarówno badań teoretycznych w obszarze modelowania zjawisk wpływających na dokładność systemu transferu czasu i częstotliwości, jak i implementacji konkretnych rozwiązań w układach elektronicznych. Należy podkreślić, że zagadnienia będące przedmiotem rozprawy stały się przedmiotem łącznie 6 współautorskich artykułów opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, a także 6 artykułów konferencyjnych prezentowanych na prestiżowych konferencjach międzynarodowych, w tym dwóch jednoautorskich.

6) *Czy rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki i świadczy o znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej?*

Wykaz literatury obejmuje 98 pozycji. Są to prace naukowe opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym oraz prezentowane na światowych konferencjach na przestrzeni ostatnich

kilkunastu lat przedstawiające najnowsze osiągnięcia i rozwiązania systemów, jak również prace starsze, w których znajdują się podstawowe definicje wykorzystywane do opisu tych systemów. Przedstawiony szeroki przegląd literatury świadczy o dobrej znajomości literatury tematu poruszanego w rozprawie.

7) *Jakie są wady i słabe strony rozprawy?*

Praca kompleksowo przedstawia wyniki badań nad układem stabilizacji różnicy długości fal laserów półprzewodnikowych do zastosowań w światłowodowych systemach transferu referencyjnych sygnałów czasu i częstotliwości. W pracy trudno doszukać się zasadniczych wad, można jednakże pokusić się o sformułowanie dodatkowych pytań oraz drobnych uwag, których wyjaśnienie uzupełni treść prezentowaną w rozprawie, a mianowicie:

- Autor niekiedy wybiera niezbyt dobry sposób prezentacji wyników pomiarów np. rys. 7.1 do 7.4, co powoduje, że część krzywych jest mało czytelna.
- Praca zawiera szereg uchybień edytorskich, których łącznie naliczyłem ok. 50. Nie stanowią one jednak istotnej wady rozprawy więc nie cytuję ich w niniejszej recenzji.
- Wadą układów ze stabilizacją za pomocą termistora jest fakt, że gradient temperatury wewnątrz układu negatywnie wpływa na stabilizowaną długość fali. Powodem może być zmiana prądu zasilającego, aby utrzymać tą samą moc przy starzejącym się laserze - jakiego rzędu są to zmiany temperatury w dłuższym czasie obserwacji?
- Czym spowodowana była zmiana charakterystyki termistora, polegająca na „przesunięciu” charakterystyki o kilkanaście ohmów (str. 47)?
- W metodzie stabilizacji różnicy częstotliwości zastosowano bezpośredni pomiar częstotliwości za pomocą liczników cyfrowych na bazie wcześniejszych doświadczeń. Jakie metody pośrednie były wcześniej badane?
- Dlaczego krzywe przedstawione na rys. 4.9 przecinają się? Wydawałoby się, że przebiegi powinny być analogiczne jak na rys. 4.17 i 4.18.
- Dlaczego problem utraty kontroli polaryzacji występuje tylko dla światłowodów o dużej długości, a dla krótkiej nie (str. 101)?
- W jaki sposób można poprawić stabilność krótkoterminową oraz zoptymalizować czas przestrajania w metodzie z pomiarem różnicy częstotliwości?

3. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca, zarówno w sferze poznawczej jak i praktycznej stanowi oryginalny wkład w rozwój dziedziny elektronika. Mgr inż. Łukasz Buczek rozwiązał postawiony cel naukowy 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.

Ponadto, biorąc pod uwagę znaczący dorobek publikacyjny Autora, a także wysoko oceniony aspekt praktyczny pracy wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Krzysztof Wincza

Krzysztof Wincza