

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 7 lutego 2017 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 7 marca 2017 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Radosława Rybańca

temat: „Stabilizacja pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych zasilanych klistrodami przy dużych dobrociach zewnętrznych”.

promotor – dr hab. inż. Leszek Opalski, prof. Politechniki Warszawskiej

drugi promotor – dr hab. Jacek Sekutowicz, DESY, Hamburg Niemcy

recenzenci:

prof. dr hab. inż. Andrzej Napieralski z Politechniki Łódzkiej

dr hab. inż. Sławomir Wronka, prof. Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku

Obrona odbędzie się w dniu 7 marca 2017 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 9.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Autor:

Radosław Rybaniec

Tytuł rozprawy:

Stabilizacja pola przyśpieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych zasilanych klistrodami przy dużych dobrociach zewnętrznych

Promotorzy:

dr hab. Jacek Sekutowicz

dr hab. inż. Leszek Opalski, prof. PW

Streszczenie:

Lasery na swobodnych elektronach FLASH oraz obecnie budowany E-XFEL pracują w trybie, w którym pole przyśpieszające jest dostępne w impulsach o czasie trwania rzędu 1.5 ms i częstotliwości powtarzania 10 Hz. Nadprzewodząca technologia, w której wykonane są oba akceleratory pozwala na zwiększenie współczynnika wypełnienia pola przyśpieszającego aż do pracy w trybie ciągłym. Planowana jest rozbudowa powyższych akceleratorów, aby w przyszłości wspierały one taki sposób działania. Pozwoli to zwiększyć elastyczność w rozkładzie czasowym generowanych błysków promieniowania, co pozytywnie wpłynie na czas trwania i koszt wielu eksperymentów prowadzonych przy użyciu tych laserów.

W trybie ciągłym, 1.3 GHz struktury przyśpieszające typu TESLA będą pracowały z dużymi wartościami dobroci zewnętrznych w celu optymalizacji sprawności energetycznej procesu akceleracji. Dodatkowo, obok impulsowych klistronów zostaną zainstalowane nowe źródła mocy w. cz. (wysokiej częstotliwości), przystosowane do pracy z dużymi współczynnikami wypełnienia, takie jak klistrody. Przy dobrociach zewnętrznych rzędu 2×10^7 szerokość pasma przenoszenia struktur jest ograniczona do dziesiątek herców. W takich warunkach, nawet minimalna zmiana częstotliwości rezonansowej struktur spowodowana m. in. przez siłę Lorentza oraz mikrofonowanie będzie miała znaczny wpływ na amplitudę i fazę pola przyśpieszającego.

W celu sprostania powyższym wyzwaniom i zapewnienia monochromatyczności promieniowania laserowego, konieczne są odpowiednie modyfikacje systemu stabilizacji pola przyśpieszającego. Niniejsza rozprawa zajmuje się wybranymi zagadnieniami projektowania systemów tego typu, w tym kontrolą częstotliwości rezonansowej nadprzewodzących struktur przyśpieszających. Praca ma częściowo teoretyczny, a częściowo eksperymentalny charakter.

W ramach rozprawy został opracowany system w standardzie MicroTCA.4, który do stabilizacji pola przyśpieszającego, używa dwóch pętli sprzężenia zwrotnego. Pierwsza z nich steruje amplitudą i fazą sygnału w. cz. wzmacnianego przez klistrodę, a druga używa tunerów piezoelektrycznych do kompensacji odstrojenia struktur od częstotliwości generatora wzorcowego. Estymaty odstrojenia wykorzystane w algorytmach kompensacji są obliczane w czasie rzeczywistym za pomocą nowatorskiej metody.

Prezentowany system został pomyślnie przetestowany w niemieckim ośrodku badawczym DESY przy użyciu modułu kriogenicznego akceleratora E-XFEL i prototypowej klistrody. Uzyskana stabilizacja pola przyspieszającego podczas eksperymentów była zbliżona do wymagań akceleratora E-XFEL.

Abstract

Free electron lasers such as FLASH and currently commissioned E-XFEL operate in a pulsed RF mode with approx. 1.5 ms pulse duration and 10 Hz repetition rate. Foreseen upgrade of their linacs to enable continuous wave (cw) operation requires RF power sources alternative to klystrons such as Inductive Output Tubes (IOT). In addition cw operation with high external quality factor of accelerating cavities will be essential for the maximum power efficiency of driving accelerators. High external quality factors, in order of 2×10^7 decrease the bandwidth of the cavities to tens of Hz, making whole acceleration process highly susceptible to both microphonics and Lorentz force detuning.

As a solution to this problem, modification of the control system is indispensable. In this thesis some of the control system issues are addressed, including precise resonance control of the superconducting accelerating structures. Proposed system is equipped with a RF feedback loop accompanied with a piezo based cavity detuning controller both realized using the MicroTCA.4 technology.

Presented system was successfully tested at Deutsches Elektronen-Synchrotron in Hamburg, using the E-XFEL type cryomodule and prototype IOT. Demonstrated accelerating field stability during the tests was comparable to the E-XFEL specification.

Warszawa, dnia 15.11.2016 r.

Dr hab. inż. Sławomir Wronka
Profesor nadzwyczajny

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Ul. A.Soltana 7
05-400 Otwock

***KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Stabilizacja pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych zasilanych klistrodami przy dużych dobrociach zewnętrznych

Autor rozprawy: mgr inż. Radosław Rybaniec

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej z dnia 27 września 2016r, oraz pismo Pana Dziekana w tej sprawie z dnia 7.10.2016 r.

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

Obszarem badawczym przedstawionej pracy doktorskiej jest rozbudowany system sterowania opracowywany na potrzeby nowoczesnego źródła promieniowania synchrotronowego E-XFEL. Zlokalizowane w Niemczech urządzenie oparte jest na nadprzewodzącym akceleratorze elektronów. Nadprzewodzące struktury przyspieszające uzyskują bardzo wysoką dobroć, co przekłada się na wąską charakterystykę częstotliwościową. Bardzo ważnym zagadnieniem staje się zatem precyzyjne utrzymywanie właściwej częstotliwości rezonansowej, zgodnej z częstotliwością źródła w.cz. tak, aby

zapewnić maksymalne wykorzystanie dostępnej mocy mikrofalowej oraz stabilną pracę akceleratora. Autor staje przed wyzwaniem, jakim jest przejście akceleratora z pracy w modzie impulsowym do pracy ciągłej (CW).

Pan mgr. Rybaniec w bardzo przystępny sposób, jednak unikając nadmiernej infantylizacji, przybliży czytelnikowi tematykę synchrotronowych źródeł światła, zasadę działania oraz obszary ich zastosowań. W pracy opisane zostały główne podzespoły akceleratora, w zakresie niezbędnym do zrozumienia przedstawionej tematyki. Autor płynnie przechodzi do coraz bardziej szczegółowych zagadnień, takich jak zjawiska wpływające na stabilność wiązki, systemy Low-Level RF (LLRF), proces detekcji pola w.c.z. aż do przedstawienia celu i tez rozprawy.

Jako główny cel Autor wskazuje opracowanie i eksperymentalne zbadanie systemu stabilizacji pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur przyspieszających z falą stojącą, mających dużą dobroć zewnętrzną. Cel ten został sformułowany jasno i jak wspomniano – jego sformułowanie poprzedzone zostało wyczerpującym wstępem przybliżającym wszystkie aspekty pracy. Postawione tezy pracy to możliwość wykorzystania klistrody jako elementu stabilizacji pola przyspieszającego oraz opracowanie aktywnej kompensacji odstrojenia nadprzewodzących struktur rezonansowych jako sposobu na poprawę jakości pracy systemu stabilizacji pola przyspieszającego.

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

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

W przedstawionej rozprawie Autor uwzględnił 87 źródeł, zawierających pozycje książkowe, publikacje w czasopismach naukowych (w tym konferencyjne), raporty wewnętrzne, odnośniki do stron internetowych oraz inne prace doktorskie. Nazwisko Autora pojawia się przy 8 pozycjach.

Każdy obszar poruszonej w pracy tematyki znalazł swoje umocowanie w przytoczonej literaturze, uwzględniając najnowszą światową wiedzę w wymaganym zakresie. Stwierdzam zatem, iż wybór źródeł, które stanowią tło realizowanej pracy doktorskiej jest właściwy, świadczący o bardzo dobrej wiedzy Autora w obszarze elektroniki cyfrowej, teorii sterowania, cyfrowego przetwarzania sygnałów, układów FPGA, jak również podstaw akceleracji cząstek elementarnych i specyfiki nadprzewodzących struktur przyspieszających. Wnioski z przeprowadzonej analizy źródeł pozwoliły Autorowi na wybór własnej ścieżki realizacji prac.

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

Autor w pracy przedstawił model matematyczny struktury przyspieszającej, następnie wykorzystał go do symulacji występujących w trakcie pracy akceleratora zjawisk. Zapropował sposób poprawy stabilności pola przyspieszającego poprzez zastosowanie

dwóch pętli sprzężenia zwrotnego. Pierwsza z nich steruje amplitudą i fazą sygnału w. cz. wzmacnianego przez klistrodę, a druga używa tunerów piezoelektrycznych do kompensacji odstrojenia struktur od częstotliwości generatora wzorcowego. Po pomyślnym zakończeniu symulacji, system został zaimplementowany w standardzie MicroTCA.4, po czym nastąpiła faza testów poprawności działania algorytmów oraz wykonanych układów w warunkach rzeczywistych. Mgr Rybaniec w pełni uzasadnił sposób postępowania na każdym etapie swojej pracy.

Uważam, że Autor przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy i rozwiązał postawione zagadnienia stosując właściwe dla przedmiotu badań metody.

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?

Oryginalność rozprawy polega na zbudowaniu i przetestowaniu na stanowisku testowym kompletnego systemu do stabilizacji wartości pola przyspieszającego w nadprzewodzących strukturach przyspieszających, pod kątem zastosowania go w najnowocześniejszych na świecie źródłach promieniowania synchrotronowego.

W przedstawionym modelu matematycznym Autor zaproponował nowatorskie podejście, wprowadzając niespotykane wcześniej w literaturze współczynniki KB i KG. Model ten umożliwia wykonanie obliczeń parametrów pracy struktury przyspieszającej w czasie rzeczywistym i może być stosowany również w przypadku utraty nadprzewodnictwa w strukturze. Implementacja tych formuł w układzie FPGA była jednym z elementów opracowanego systemu stabilizacji.

Cennym fragmentem pracy jest opis części badawczej. Oryginalność rozprawy potwierdza uzyskanie znacznej poprawy stabilności wartości pola przyspieszającego, przy jednoczesnym zmniejszeniu strat pola w.cz. Autor pokazuje dalsze możliwości rozwoju zaproponowanej przez siebie metody i zastosowania jej w innych ośrodkach akceleratorowych.

Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową jest aktualna. Potwierdzają to uwzględnione w spisie literatury wystąpienia i prezentacje tematu na poważnych światowych konferencjach.

Autor pracy ma nadzieję, „że opisane w rozprawie rozwiązania znajdą szerokie zastosowanie w dziedzinie laserów na swobodnych elektronach [...]”, co znajduje w pracy całkowite uzasadnienie i czego Autorowi szczerze życzę.

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

Rozprawa jest napisana poprawnie i przekonująco. Na podkreślenie zasługuje bardzo dobre wprowadzenie w zagadnienie oraz płynne przejście „od ogółu do szczegółu”, jasne przekazanie celu i tez pracy oraz opis wykonanych zadań. Przedstawienie

szczegółowych niuansów implementowanych pętli sprzężenia w przejrzysty sposób nie było zadaniem łatwym, jednak Autor wywiązał się z niego bardzo dobrze.

Doktorant nie ukrywa napotykaných trudności, czy też zjawisk, których przyczyna nie została dokładnie określona. W wielu zagadnieniach obejmujących badania eksperymentalne i prace rozwojowe, zwłaszcza w tak skomplikowanych zagadnieniach, z jakimi zmierzył się mgr. Rybaniec, takie sytuacje się zdarzają. Ich zaprezentowanie, wraz z przytoczonymi rozważaniami na temat możliwych przyczyn, wskazują na dojrzałość naukową Autora.

W pracy zdarzają się drobne redakcyjne uchybienia, jak np. opisy rysunków na str. 32, 41 i 48, czy też powołanie się na str. 16 na rys. 1.3, podczas, gdy chodziło o rys. 1.5, jednak nie umniejszają one jasności przekazu. Pracę jako całość oceniam bardzo pozytywnie.

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

Przedstawiona rozprawa nie posiada istotnych słabych stron. Jak wspomniano, napisana jest w przejrzysty sposób, a poruszane zagadnienia zostały zbadane kompleksowo. Autor opisał wyczerpująco postawione wymagania, wykonane układy oraz wyniki testów przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych na stanowisku pomiarowym CMTB w DESY. Szkoda jedynie, iż cenne wyniki eksperymentalne zostały ograniczone – nie z winy Autora – jedynie do jednego kriomodulu. Również wyniki działania algorytmów kompensacji na tzw. mikrofonowanie zostało wykazane jedynie częściowo, z uwagi na zastosowanie pasywnych metod tłumienia. Autor wskazuje jednak, iż w przypadku całego ciągu połączonych struktur przydatność opracowanego algorytmu będzie znacznie większa, z czym całkowicie się zgadzam.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przydatność rozprawy dla nauk technicznych jest znaczna. Autor nie tylko zaprojektował i wykonał układy realizujące założone pętli sprzężenia, ale również przeprowadził ich pełne testy z wykorzystaniem rzeczywistego kriomodulu. Uważam, że wykonane prace wnoszą istotny wkład w dziedzinę sterowania złożonymi układami akceleratorowymi, zwłaszcza nadprzewodzącymi, uwzględniając cyfrowe przetwarzanie sygnałów, implementację algorytmów, cyfrowe układy sterujące.

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 nadmiarem
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. inż. Andrzej Napieralski

Łódź, dn. 22.11.2016 r.

tytuł, stopień, imię i nazwisko

data

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych
Politechnika Łódzka

miejsce pracy

KWESTIONARIUSZ-RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Tytuł rozprawy: *“Stabilizacja pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych zasilanych klistrodami przy dużych dobrociach zewnętrznych”*

Autor rozprawy: **mgr inż. Radosław Rybaniec**

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

Rozprawa doktorska dotyczy bardzo aktualnej tematyki metod stabilizacji parametrów pola przyspieszającego w nadprzewodzących strukturach rezonansowych z falą stojącą pracujących w trybie ciągłym. Wspomniane rezonatory pracujące w temperaturze kriogenicznej stanowią podstawowy element wielu akceleratorów liniowych laserów na swobodnych elektronach.

W laserach na swobodnych elektronach (takich jak np. FLASH czy też Europejski X-FEL) przejście z impulsowego trybu pracy o krótkich impulsach pola przyspieszającego na tryb pracy ciągłej umożliwi uzyskanie zarówno większej liczby paczek elektronowych (czyli efektywnie również większej liczby błysków światła laserowego) jak i zastosowanie mniej złożonych a więc tańszych detektorów – dzięki możliwości zwiększenia odstępów czasowych pomiędzy kolejnymi błyskami.

Aby określić zakres oraz koszt modyfikacji istniejących akceleratorów, niezbędny do zmiany trybu pracy w tryb ciągły, zdefiniowano kilka warunków (ograniczeń), które muszą zostać spełnione w celu osiągnięcia korzystnej równowagi pomiędzy uzyskiem światła laserowego a stopniem modyfikacji akceleratora i jego infrastruktury. Z punktu widzenia systemów sterowania polem przyspieszającym najbardziej krytyczne warunki to te dotyczące:

- kosztownych systemów chłodzenia (ograniczenie wartości mocy rozpraszanej w module kriogenicznym – do wartości możliwej do regulacji przez istniejący system),
- sprzęgaczy wejściowych struktury nadprzewodzącej (ograniczenie mocy średniej dla sprzęgacza – projektowanego i wykonanego na potrzeby pracy w trybie krótkich impulsów – ok. 2 ms).

Jednym z zaproponowanych rozwiązań mających na celu zmniejszenie obciążenia sprzęgaczy wejściowych jest zmiana współczynnika dobroci układu (wnęka + sprzęgacz). Wiąże się to jednakże ze

znaczną zmianą (zawężeniem) pasma przepustowego rezonatorów i w konsekwencji zwiększeniem ich czułości na odstrojenie od częstotliwości rezonansowej. Niesie to za sobą bardziej restrykcyjne wymagania dotyczące wydajności regulacji parametrów pola przyspieszającego jak również kontroli rezonansu (niż te przewidziane dotychczas w akceleratorze lasera XFEL).

Recenzowana praca doktorska ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Autor zaproponował metodę aktywnej kompensacji odstrojenia wnęk oraz eksperymentalnie zweryfikował jej poprawność.

Tezy rozprawy zostały sformułowane w rozdziale 3 (punkt 3.5):

Tezy rozprawy

1. Klistroda może zostać wykorzystana jako element systemu stabilizacji pola przyspieszającego w nadprzewodzących strukturach rezonansowych pracujących w modzie ciągłym przy dużych dobrociach zewnętrznych.

2. Aktywna kompensacja odstrojenia nadprzewodzących struktur rezonansowych pozwala poprawić jakość systemu stabilizacji pola przyspieszającego.

Tezy te zostały udowodnione w rozdziale 8, w którym przedstawione zostały wyniki eksperymentów przy zastosowaniu systemu w rzeczywistym układzie w skład którego wchodziła klistroda i moduł kriogeniczny akceleratora E-XFEL.

Moim zdaniem tematyka rozprawy jest bardzo aktualna i dobrze wpisuje się w prace naukowo-badawcze dotyczące stabilizacji pola w trybie pracy ciągłej. Rozważania teoretyczne przedstawiono w rozdziale 6 a projekt systemu stabilizacji i wyniki praktycznych eksperymentów w CMTB opisano w rozdziale 8.

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

Autor odwołuje się w rozprawie do 87 pozycji literaturowych. Zawarta bibliografia obejmuje pozycje od roku 1959 (pozycja [70]), przy czym absolutną większość (ponad 80%) stanowią prace opublikowane po roku 2000, co dowodzi dobrej znajomości aktualnej literatury przez Doktoranta.

Wśród cytowanych w pracy pozycji znajduje się 8 pozycji współautorskich Doktoranta. W dwóch z nich Autor rozprawy występuje na pierwszym miejscu. Jeden z wymienionych artykułów opublikowany został w recenzowanym czasopiśmie „IEEE Transactions on Nuclear Science”.

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

Głównym efektem pracy Doktoranta było opracowanie komponentów systemu do stabilizacji pola przyspieszającego z zastosowaniem dwóch pętli sprzężenia zwrotnego. Szczególny wkład Autora, w infrastrukturę systemu sterowania dotyczy adaptacji i implementacji metody aktywnego kompensowania odstrojenia wnęki rezonansowej wynikającego z efektu mikrofonowania. Zaproponowana i wykorzystana metoda adaptacyjnego regulatora sprzężenia w przód dla minimalizacji odstrojenia wnęki z użyciem elementów piezoelektrycznych jest jak najbardziej odpowiednią metodą zapewniającą polepszenie

warunków zasilania rezonatorów polem RF w przypadku ich pracy w konfiguracji wąskiego pasma przenoszenia (wysoki współczynnik dobroci wnęki obciążonej).

Opracowany przez Doktoranta system kompensacji został przetestowany w ośrodku DESY przy zastosowaniu modułu kriogenicznego akceleratora XFEL i prototypowej klistrody. Testy potwierdziły poprawność zaproponowanej metody.

Autor rozprawy wykonał również pracę poświęconą modelowaniu elementów układu sterowania (komponentów zarówno pętli sprzężenia zwrotnego odpowiedzialnej za regulację parametrów pola w.cz. jak i systemu do regulacji częstotliwości rezonansowej). Uzyskane w ten sposób modele poddał pozytywnej weryfikacji z wykorzystaniem danych pomiarowych z systemu rzeczywistego.

Doktorant opracował oraz zaimplementował ponadto metodę estymacji odstrojenia w czasie rzeczywistym (z wykorzystaniem układu FPGA), która znalazła zastosowanie w algorytmach kompensacji odstrojenia.

Metoda badań przyjęta przez Doktoranta jest prawidłowa i świadczy zarówno o dogłębnej wiedzy w zakresie opisywanych systemów sterowania akceleratorów liniowych, jak i o jego dojrzałości naukowej.

Cenne są również badania mające na celu charakteryzację toru w.cz., klistrody oraz badania dynamiczne elementów piezoelektrycznych (pracujących jako sensor i aktuator), a także badania dotyczące analizy źródeł zakłóceń jak mikrofonowanie oraz siły Lorentza.

Sam system sterowania wykorzystuje urządzenia wykonane w standardzie MicroTCA.4 (zaprojektowane przez kilkanaście osób) oraz oprogramowanie VHDL realizujące dobrze znane algorytmy stabilizacji pola w.cz. we wnękach rezonansowych wykorzystujące mechanizmy sterowania PI oraz algorytmy sterowania ze sprzężeniem w przód. Nowością jest kompensacja mikrofonowania z zastosowaniem algorytmów sterowania ze sprzężeniem w przód.

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?

Do samodzielnego i oryginalnego dorobku Autora należy przede wszystkim zaliczyć:

1. Zastosowanie metody kompensacji odstrojenia wnęki rezonansowej wywołanego zjawiskiem mikrofonowania oraz oddziaływaniem siły Lorentza,
2. Współdziałanie w opracowaniu i eksperymentalnym badaniu systemu stabilizacji pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych z falą stojącą, mających dużą dobroć zewnętrzną, (rzędu $1,5 \cdot 10^7$),
3. Charakteryzacja i komplementarne modelowanie komponentów układu systemu sterowania pola przyspieszającego,
4. W celu umożliwienia pracy w trybie ciągłym Doktorant musiał ponadto rozwiązać problemy takie jak:
 - estymacja odstrojenia struktur przyspieszających w czasie rzeczywistym,
 - współdziałanie dwóch pętli sprzężenia zwrotnego (jednej regulującej parametry pola przyspieszającego modułu ośmiu wnęk rezonansowych oraz drugiej - kompensującej mechaniczne odstrojenie każdego z rezonatorów osobno).

Oceniając rozprawę Doktoranta na tle aktualnego stanu wiedzy stwierdzam, że stanowi ona cenny wkład w badania nad metodami stabilizacji pola przyspieszającego w torze sterowania modułów

kriogenicznych nadprzewodzących wnęk rezonansowych przy pracy w trybie ciągłym dla akceleratorów liniowych.

Nowością jest stabilizacja pola w pracy ciągłej z wykorzystaniem klistrody oraz kompensacja mikrofonowania przy użyciu piezoelementów jak również analiza teoretyczna systemu sterowania oraz jego praktyczna weryfikacja na stanowisku testowym CMTB.

Cenne są również badania mające na celu charakteryzację toru w.cz., klistrody oraz badania dynamiczne elementów piezoelektrycznych (pracujących jako sensor i aktuator), jak również zbadanie i analiza źródeł zakłóceń: mikrofonowanie i siły Lorentza, opisane w rozdziale 8.

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

Rozprawa zawiera dziewięć rozdziałów oraz wykaz literatury i dwa dodatki. Praca napisana jest poprawnie. Podział rozdziałów jest logiczny. Wyniki zostały zaprezentowane w sposób czytelny i przejrzysty. Drobne błędy językowe oraz nieczytelne napisy na rysunkach (patrz punkt Uwagi Szczegółowe) nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy. Pewnym utrudnieniem przy czytaniu pracy jest fakt, że często skrótów rozwijane są zbyt późno i są używane wcześniej bez wyjaśnienia. Sytuację ratuje lista skrótów na stronach 10–12.

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

Słabą stroną rozprawy jest brak precyzyjnego uwypuklenia tego co stanowi własny, indywidualny wkład doktoranta a co jest wynikiem pracy zespołowej. Nie wiadomo kto dokładnie jest pomysłodawcą i autorem poszczególnych części rozwiązania będącego systemem sterowania parametrami pola oraz częstotliwością rezonansową wnęk nadprzewodzących.

W pracy doktorskiej nie powinno się też tłumaczyć braku wyjaśnienia pewnych zjawisk brakiem czasu: „*Z uwagi na ograniczony czas trwania eksperymentów przyczyna wzrostu zakłóceń na tej częstotliwości pozostaje nieznaną*”. (str. 146). Autor rozprawy miał prawdopodobnie na myśli brak możliwości weryfikacji zakładanych (i w późniejszej części opisanych) przyczyn narastania zakłóceń o pomierzonej częstotliwości, w kolejnych testach w środowisku akceleratora?

W niektórych fragmentach recenzowana rozprawa doktorska przypomina raport techniczny z wykonanego zadania i jest udokumentowaniem opracowania bardzo ciekawego zagadnienia dotyczącego stabilizacji pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych zasilanych klistrodami. Moim zdaniem zabrakło tutaj umiejętnego napisania samej treści rozprawy, w sposób podkreślający zakres samodzielnego rozwiązania problemu naukowego przez Doktoranta.

Pewien problem dotyczy sformułowania tezy 1. Klistroda w tym systemie nie jest bowiem “elementem systemu stabilizacji pola przyspieszającego” lecz jest jednym z elementów wykonawczych - wzmacniaczem sygnału w.cz. (aktuatorem). To, że klistrodę (IOT) można wykorzystać do zasilania modułów pracujących w trybie ciągłym – wykazane zostało już dawno i jest kilka publikacji z lat wcześniejszych, gdzie jest ona wymieniona jako wzmacniacz sygnału w.cz. dla wnęk rezonansowych pracujących w trybie ciągłym (oraz długich impulsów).

Do samodzielnego dorobku Autora należy zaliczyć:

- Przeprowadzenie analizy źródeł zaburzeń.
- Opracowanie modeli matematycznych elementów systemu sterowania akceleratorów i zidentyfikowanie ich parametrów według opisu w rozdziale 5.
- Symulacje komputerowe systemu sterowania i jego elementów – rozdział 6.
- Implementacja praktyczna komponentów sterowania w języku VHDL.
- Badania praktyczne w CMTB.
- Opracowanie komponentów oraz modułów w języku VHDL: protokołów transmisji danych między modułami, algorytmów estymacji parametrów pracy struktur, układów kompensacji odstrojenia. Autor brał również udział w implementowaniu regulatora pola w. cz. oraz innych bloków funkcjonalnych FPGA na potrzeby platformy programistycznej dla systemów LLRF stosowanej w DESY.

Przy czytaniu pracy nasunęło mi się też kilka pytań:

- Czy charakterystyka z rysunku 5.10 uwzględnia histerezę i jak duża jest ta histereza dla pełnego zakresu sterowania? Jakie jest maksymalne napięcie sterowania piezoelementu w temperaturze kriogenicznej?
- Czy Autor dysponuje pełną charakterystyką wychylenia piezoelementu w zakresie -100..+100 V?
- Brak jest jakiejkolwiek informacji na temat użytego podczas testów piezoelementu, charakteryzacji (rys. 5.10, 5.11) oraz kompensacji efektów mikrofonowania, co uniemożliwia analizę i ustosunkowanie się do wyników badań.
- Niektóre elementy piezoelektryczne obciążone są szeroką pętlą histerezy (typowo 20% dla Noliac NCE46). Czy metoda kompensacji zaproponowana przez Autora uwzględnia efekt histerezy? Pomiary wykonano chyba dla jednego rodzaju piezoelementu. Jakie są ograniczenia zaproponowanej metody i czy możliwe jest użycie dowolnego elementu piezoelektrycznego?
- Jak zmienia się histereza w miarę starzenia elementu piezo i czy ma to wpływ na kompensację mikrofonowania?

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Lasery E-XFEL, którego budowa obecnie dobiega końca, został zaprojektowany do osiągnięcia swoich nominalnych parametrów pracy w trybie impulsowym. Zastosowana w nim technologia nadprzewodzących wnęk rezonansowych TESLA umożliwia jednak także pracę maszyny w trybie ciągłym, po odpowiednim dopasowaniu parametrów pracy rezonatorów. Aby efektywnie wykorzystać taki sposób sterowania, zastępuje się klasyczne impulsowe klistrony przez nowe źródła mocy, zdolne do pracy przy dużym współczynniku wypełnienia - klistrody. Ich zastosowanie przy dobrociach struktur przyspieszających rzędu $2 \cdot 10^7$ wymaga zaawansowanej modyfikacji systemu stabilizacji pola przyspieszającego. W ramach rozprawy opisany został system do stabilizacji pola przyspieszającego wykonany w standardzie MicroTCA.4. Doktorant był odpowiedzialny za modyfikację i adaptację opracowanej konfiguracji FPGA umożliwiającej implementację wspólnie opracowanych metod sterowania. Autor osiągnął postawiony cel pracy i wykazał zasadność obu zaproponowanych przez siebie tez. Jest to niewątpliwym sukcesem Autora, bardzo dobrze udokumentowanym i wnoszącym istotny wkład w rozwój nauk technicznych.

8. Ocena końcowa

Rozprawa doktorska mgr inż. Radosława Rybańca ma charakter doświadczalno-teoretyczny a sposób rozwiązywania problemów świadczy o głębokiej wiedzy i umiejętnościach Autora w zakresie sterowania i stabilizacji pola przyspieszającego w akceleratorach laserów na swobodnych elektronach. Cel rozprawy osiągnięto przy użyciu właściwych metod badawczych.

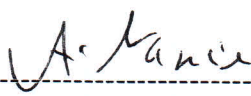
W konkluzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Radosława Rybańca pt.: „*Stabilizacja pola przyspieszającego nadprzewodzących struktur rezonansowych zasilanych klistrodami przy dużych dobrociach zewnętrznych*” spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania Ustawy o tytule i stopniach naukowych stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje, zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

9. Uwagi szczegółowe:

Nr str.	Nr wiersza	Jest	Powinno być / komentarz
3	Kilka pozycji	dr./mgr.	dr/mgr
5	1 od góry	FLASH/E-XFEL	<i>brak rozwinięcia skrótów FLASH/E-XFEL, pojawia się dopiero na stronie 17</i>
5	2 od góry	1.5 ms	1,5 ms
5	10 od góry	1.3 GHz	1,3 GHz
5	10 od góry	TESLA	<i>brak rozwinięcia skrótu TESLA, pojawia się dopiero na stronie 27</i>
12	9 od dołu	DESY niem. Deutes ...	DESY niem. Deutsches ...
16	12 od góry	femtosekund (trylionowe części sekundy)	femtosekund (biliardowe części sekundy)
16	12 od dołu	(rys. 1.3)	(rys. 1.5)
16	12 od dołu	(rys. 1.3)	(rys. 1.5)
24	10 od dołu	ona z poziomu 1mW do ok. 5–10nW	ona z poziomu 1 mW do ok. 5–10 nW
29	1 od góry	ilości paczek	liczby paczek
32	Rysunek 2.6	<i>Nieczytelne napisy</i>	
33	16 od góry	stanowiła duży problem	stanowiło duży problem
33	17 od góry	pracy na częstotliwości	<i>Określenie żargonowe...</i>
37	17 od dołu	przenikalnością elektryczna próżni	przenikalnością elektryczną próżni
41	Rysunek 3.6	<i>Nieczytelne napisy</i>	
44	Rysunek 3.8	<i>Nieczytelne napisy</i>	
44	5 od góry	ich odstrojenia od częstotliwości	ich odstrojenie od częstotliwości
48	Rysunek 3.12	<i>Niektóre napisy</i>	
49	11 od dołu	jest ich zamiana	jest zamiana
53	7 od góry	jest zamieniany na postać cyfrową za pomocą przetworników C/A	<i>Jak na postać cyfrową to chyba A/C</i>
63	4 od góry	dobroć obciążona	dobroć układu obciążonego
65	14 od góry	Przy niższych założeniach	Przy wyższych założeniach
66	15 od dołu	Wyprowadzenie	Wprowadzenie
71	6 od dołu	jako różnica faz	jako różnicy faz
74	4 od dołu	klistroda (IOT)	Angielski skrót IOT powinien się pojawić podczas pierwszego użycia terminu

			klistroda
77	1 od góry	Faza układu IOT	Faza sygnału wyjściowego układu IOT
86	9 od dołu	W wyniki	W wyniku
102	11 od góry	mniejszych 1 Hz	mniejszych od 1 Hz
127	1 od dołu	z przez	przez
131	2 od góry	W ten sposób uzyskując niskie	W ten sposób uzyskuje się niskie
138	7 od góry	komunikacja z	komunikację z
138	13 od góry	napisane w	napisana w
146	4 od góry	dla każdego dla każdego	dla każdego
164	16 od dołu	pseudo random binary signal	pseudorandom binary sequence
	Występuje w wielu miejscach	wysokiej częstotliwości	wielkiej częstotliwości

Poza wymienionymi uwagami, należy także zwrócić uwagę na pewne problemy redakcyjne, występujące w niemalże całej treści rozprawy. Jednym z nich są podwójne spacje, kolejnym, zastosowanie kropki do oddzielania części całkowitej od ułamkowej w zapisie liczb. W mojej opinii nadużywanym jest też zapożyczone z j. angielskiego słowo „mod”, gdzie polski odpowiednik często byłby bardziej odpowiedni.



 podpis