

Dr hab. inż. Dariusz Makowski

tytuł, stopień, imię i nazwisko

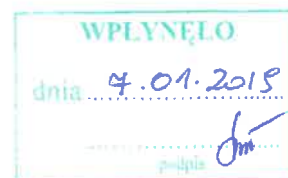
Łódź, dn. 03.01.2019 r.

data

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych

Politechnika Łódzka

miejsce pracy



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I
INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy: **„Development of high-speed hybrid pixel detectors for experiments with synchrotron radiation”.**

„Budowa i rozwój szybkich detektorów hybrydowych dla potrzeb eksperymentów synchrotronowych”.

Autor rozprawy: **mgr inż. Anna Koziol**

- 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 ważnej i aktualnej tematyki projektowania detektorów pracujących w zakresie promieniowania X oraz systemów akwizycji obrazu. Do detekcji promieniowania X wykorzystywane są matryce CCD, CMOS, detektory zliczające pojedyncze fotony oraz hybrydowe detektory matrycowe. Koherentne promieniowanie X o wysokiej jasności wytwarzane jest z wykorzystaniem synchrotronów oraz laserów na swobodnych elektronach (ang. FEL). W takich zastosowaniach zachodzi potrzeba detekcji pojedynczych grup fotonów (ang. photon bunch), co wymusza użycia sensorów charakteryzujących się niewielkim czasem martwym oraz szybkością pracy dochodzącą do milionów zdjęć na sekundę.

Tematyka badań naukowych, którą podjęła Doktorantka, jest niezwykle aktualna i w wielu zagranicznych laboratoriach badawczych takich jak: CERN, PSI, DESY, KIT, SOLEIL, APS, jak również polskich, np. Solaris, czy AGH prowadzone są intensywne prace w tym zakresie.

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Koziol poświęcona jest zagadnieniom badawczym i praktycznym zastosowaniom systemów detekcji jak również akwizycji promieniowania

synchrotronowego. Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Badania naukowe prowadzone przez Autorkę dotyczą optymalizacji kluczowych parametrów systemów detekcji promieniowania takich jak: szybkość akwizycji obrazów, jednorodność kanałów pomiarowych, zakres dynamiczny, czas odpowiedzi, czy rozdzielczość czasowa. W pracy przedstawiono również metodykę projektowania autonomicznych systemów detekcji promieniowania na przykładzie kamery promieniowania X charakteryzującej się dużą szybkością akwizycji obrazu zbudowanej w oparciu o jedną platformę programową. Zakres pracy obejmuje zarówno część teoretyczną, projektową oraz bogatą część eksperymentalną.

Przedstawione w rozprawie wyniki badań są rezultatem udziału Autorki w następujących projektach krajowych i międzynarodowych:

1. Grantu badawczego PBS1/A3/12/2012: „Ultraszybka cyfrowa kamera promieniowania X z odczytem ciągłym pracująca w trybie zliczania pojedynczych fotonów”.
2. Międzynarodowej współpracy z ośrodkami synchrotronowymi SOLEIL we Francji w ramach eksperymentu Pump-Probe-Probe (Px2P) oraz Argonne National Laboratory w Stanach Zjednoczonych, synchrotron Advanced Photon Source w ramach eksperymentu Small-Angle XPCS.

Zagadnienie naukowe omawiane w pracy zostało jasno sformułowane w 3 тезach zamieszczonych w rozdziale 3 na stronie 27:

1. A single-photon counting hybrid pixel detectors are suitable for operation in a pump-probe-probe-kind experiment, when a short integration time allowing single bunch separation together with high energy resolution, low spread of gain and DC offsets and sufficient noise performance are kept with synchrotron radiation.
2. A single-photon counting hybrid pixel detector with very high frame-rate and short dead-time of the front-end electronics allows to greatly increase time resolution and the measured contrast for multi-speckle X-ray photon correlation spectroscopy,
3. The use of universal, visual programming platform in the design of an embedded and a low-cost hybrid pixel detector readout system allows to unify design process, to reduce complexity of design and to reduce the number of software tools.

Rozprawa doktorska składa się z 8 rozdziałów poprzedzonych wykazem skrótów oraz uzupełnionych wykazem literatury. Układ merytoryczny pracy obejmuje część teoretyczną oraz właściwą część badawczą. W drugiej części pracy Autorka opisuje 3 projekty obejmujące badania eksperymentalne dowodzące słuszności postawionych тез.

Rozdział 1 zawiera opis struktury pracy. W pierwszej części rozdziału 2, który stanowi wprowadzenie teoretyczne, Autorka opisuje właściwości koherentnego promieniowania X oraz sposoby jego wytwarzania z wykorzystaniem synchrotronów. W drugiej części opisane zostały metody detekcji promieniowania synchrotronowego z użyciem matryc CCD, detektorów zliczających pojedyncze fotony (ang. SPC), w szczególności hybrydowych detektorów matrycowych (ang. HPAD). W rozdziale drugim znajduje się również omówienie kluczowych parametrów sensorów promieniowania X oraz porównanie wybranych układów odczytowych ASIC dedykowanych dla detektorów zliczających pojedyncze fotony. W rozdziale 3 zostały sformułowane trzy тезы. W rozdziale 4 opisana została budowa oraz właściwości hybrydowego detektora bazującego na układzie odczytowym ASIC UFXC32k wykorzystywanego wraz z krzemową matrycą o rozdzielczości 128x256 pikseli przez Doktorantkę w pracach badawczych. W rozdziale tym przedstawione zostały autorskie algorytmy pozwalające na precyzyjne i szybkie strojenie

wzmocnienia oraz korekcji składowej stałej układu UFXC32k, opracowane pod kątem implementacji z użyciem systemów wbudowanych, dysponujących niewielką ilością pamięci danych oraz wyniki przeprowadzonych badań. Właściwą część badawczą stanowią rozdziały 5, 6 i 7. W rozdziale 5 Autorka zawarła wprowadzenie do eksperymentu Pump-Probe-Probe, realizowanego z wykorzystaniem synchrotronu SOLEIL, opisuje budowę i realizację systemu akwizycji danych oraz przedstawia obszernie wyniki badań mających na celu charakteryzację i optymalizację parametrów detektora UFXC pod kątem zastosowania w tym eksperymencie. Rozdział 6 poświęcony jest dalszej optymalizacji systemu akwizycji danych, parametrów detektora UFXC w celu zwiększenia szybkości pracy w trybie impulsowym (ang. burst mode) oraz zwiększenia rozdzielczości czasowej oraz wydłużenia czasu akwizycji danych pod kątem zastosowania w eksperymencie spektroskopii korelacji czasowych z wykorzystaniem wiązki koherentnego promieniowania X (ang. X-ray Photon Correlation Spectroscopy). Prototypowy detektor został zainstalowany w synchrotronie Advanced Photon Source w Stanach Zjednoczonych, gdzie Autorka przeprowadziła badania eksperymentalne. Opis metodyki projektowania systemów akwizycji obrazu zbudowanego z wykorzystaniem platformy NI LabView oraz komercyjnego sterownika wbudowanego sbRIO-9651 zawarto w rozdziale 7. Autorka przedstawiła projekt zbudowanej kamery o rozdzielczości 256x256 pikseli, pracującej w zakresie promieniowania X, wyposażonej w interfejs Full Camera Link, architekturę oprogramowania dla układu FPGA, systemu wbudowanego oraz komputera sterującego i gromadzącego dane. W rozdziale 7 zawarto również przykładowe wyniki pomiarów wykonanych z użyciem źródła promieniowania X, obrazujące poprawną pracę kamery. Rozdział 8 zawiera podsumowanie przeprowadzonych badań, testów oraz wypływające z nich wnioski i osiągnięcia Autorki pracy.

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?

Autorka odwołuje się w pracy do 79 pozycji literaturowych. Bibliografia obejmuje prace od roku 1974, przy czym ponad 90% stanowią prace opublikowane po roku 2000, co świadczy o aktualności zagadnień podjętych w rozprawie oraz dobrej znajomości aktualnej literatury. W bibliografii znajduje się ponad 70% publikacji pochodzących z czasopism z listy filadelfijskiej.

W pracy dokonano szczegółowej analizy oraz porównania detektorów promieniowania X, obejmujących zarówno matryce CCD, detektory zliczające pojedyncze fotony, hybrydowych detektorów matrycowych oraz porównanie ich kluczowych parametrów. W rozdziale 2 zamieszczono porównanie 5 wybranych układów odczytowych ASIC dedykowanych dla detektorów zliczających pojedyncze fotony wraz z licznymi odwołaniami do literatury. Wśród przytoczonych publikacji znajdują się również prace poświęcone projektowaniu i optymalizacji sensorów przeznaczonych do detekcji promieniowania X.

Wnioski wynikające z przeglądu są przejrzyste i przekonujące oraz zostały prawidłowo wykorzystane przez Autorkę w części badawczej pracy.

Wśród cytowanych prac znajduje się 7 pozycji autorstwa lub współautorstwa Doktorantki. Dwie z powyższych prac zostały zaprezentowane na konferencjach międzynarodowych (NSS/MIC oraz MIXDES), natomiast 5 publikacji pochodzi z listy filadelfijskiej: Journal of Synchrotron Radiation (IF=3.2) oraz Journal of Instrumentation (IF= 1.3).

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

Głównym zadaniem Doktorantki było przeprowadzenie badań naukowych hybrydowego detektora pikselowego UFXC, pracującego w trybie zliczania pojedynczych fotonów oraz systemów akwizycji i przetwarzania obrazów z tego detektora pod kątem użycia w eksperymentach typu time-resolved. Takie eksperymenty wymagają zastosowania detektora pracującego z bardzo krótkim czasem otwarcia migawki (poniżej 150 nanosekund), dużą częstotliwością rejestrowania obrazów (ponad milion zdjęć na sekundę), bardzo dobrej rozdzielczości energetycznej oraz możliwości pracy z dużą intensywnością promieniowania X.

Autorka przeprowadziła analizę oraz optymalizację krytycznych parametrów detektora takich jak: czas martwy, czas integracji, rozdzielczość energetyczna, jednorodność parametrów poszczególnych kanałów pomiarowych, minimalnej wartości progu dyskryminacji oraz szybkość akwizycji obrazów. Powyższe parametry zostały praktycznie zweryfikowane, co pozwoliło na wyznaczenie rzeczywistych wartości podczas testów z użyciem synchrotronu SOLEIL oraz potwierdziły przydatność systemu dla planowanego eksperymentu mając na uwadze specyficzne wymagania tego eksperymentu.

Autorka przeprowadziła analizę zakresu dynamicznego detektora UFXC w trybie impulsowym, co pozwoliło na ograniczenie zakresu do 2 bitów. Takie założenie umożliwiło pracę detektora w trybie impulsowym z maksymalną szybkością 1,2 miliona zdjęć na sekundę oraz umożliwiło wydłużenie czasu akwizycji o 3 rzędy wielkości w porównaniu do wcześniej wykorzystywanego detektora. Wyniki zarejestrowane podczas eksperymentów na linii badawczej 8-ID-I synchrotronu Advanced Photon Source w Argonne National Laboratory potwierdziły prawidłową pracę detektora w trybie ciągłym, impulsowym burst mode i hybrydowym oraz przydatność dla eksperymentu spektroskopii korelacji czasowych fotonów promieniowania X (ang. X-ray Photon fluorescence Correlation Spectroscopy).

Przeprowadzone przez Doktorantkę badania i eksperymenty wykonane z użyciem 2 synchrotronów wykazały, że możliwe jest wykorzystanie hybrydowych detektorów pikselowych w eksperymentach typu wzbudzenie-próbkowanie-próbkowanie (synchrotron SOLEIL) oraz eksperymentu spektroskopii korelacji czasowych fotonów promieniowania X (synchrotron APS), co dowodzi słuszności tezy 1 oraz 2.

Potwierdzeniem tezy 3 jest opracowana metodyka projektowania systemów akwizycji danych z wielokanałowych detektorów pikselowych z użyciem pojedynczej platformy programistycznej. Metodyka została praktycznie zweryfikowana na przykładzie autonomicznej kamery promieniowania X zbudowanej przez Doktorantkę, jako urządzenie wbudowane z użyciem narzędzi programistycznych LabView oraz sterownika sbRIO-9651.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że metoda badań przyjęta przez Doktorantkę jest jak najbardziej prawidłowa i świadczy o jej dojrzałości naukowej. Tezy rozprawy sformułowane przez Autorkę zostały udowodnione. W rozdziałach 5-7 zawarto cenne wskazówki przydatne podczas projektowania i optymalizacji detektorów oraz całych systemów akwizycji promieniowania X. Należy podkreślić, że wyniki badań eksperymentalnych zostały opublikowane w czasopiśmie z tzw. listy filadelfijskiej Journal of Synchrotron Radiation oraz Journal of Instrumentation, co również świadczy o wysokim poziomie przeprowadzonych badań. W 2 pracach doktorantka występuje jako pierwszy autor.

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?

Za oryginalne osiągnięcie Autorki w odniesieniu do obecnego stanu wiedzy należy zaliczyć przede wszystkim przeprowadzenie pełnej analizy parametrów hybrydowych detektorów pikselowych oraz ich optymalizację pod kątem użycia w eksperymentach synchrotronowych typu time-resolved. Doktorantka skupiła się na analizie parametrów ważnych dla eksperymentów, takich jak: czas martwy, czas integracji, rozdzielczość energetyczna, jednorodność parametrów poszczególnych kanałów pomiarowych, minimalnej wartości progu dyskryminacji oraz szybkość akwizycji obrazów. Efektem przeprowadzonych badań było zaprojektowanie 2 systemów pomiarowych, wykorzystywanych w synchrotronach SOLEIL oraz APS.

Do samodzielnego i oryginalnego dorobku Autorki należy ponadto zaliczyć:

- Opracowanie nowych algorytmów dla systemów wbudowanych, dysponujących ograniczoną mocą obliczeniową oraz niewielką ilością pamięci danych, pozwalających na zapewnienie jednorodności parametrów poszczególnych kanałów pomiarowych hybrydowych detektorów pikselowych. Iteracyjna metoda korekcji rozrzutu napięć stałych na wejściach dyskryminatorów oraz wzmocnień poszczególnych kanałów pomiarowych detektora UFXC32k, zaproponowana przez Autorkę, pozwala na kilkukrotnie szybszą kalibrację niż metody dostępne w literaturze.
- Projekt oraz implementacja systemu pomiarowego dla eksperymentu wzbudzenie-próbkowanie-próbkowanie dla linii CRISTAL synchrotronu SOLEIL. Autorka wykonała projekt oraz realizację cyfrowego systemu akwizycji obrazów zbudowanego w oparciu o platformę FlexRIO oraz oprogramowanie układu FPGA Kintex-7 firmy Xilinx. Zbudowany system spełnia ostre wymagania czasowe eksperymentu Pump-Probe-Probe oraz stanowi jedną z najszybszych implementacji, wykorzystywanych przez jednostki naukowo-badawcze, bazującej na pikselowych detektorach hybrydowych. W rozwiązaniu Autorka zaproponowała nowy tryb pracy detektora z bardzo krótkim czasem otwarcia przesłony poniżej 150 ns.
- Projekt oraz realizację systemu akwizycji i przetwarzania danych na potrzeby eksperymentu X-ray Photon Correlation Spectroscopy synchrotronu APS. Autorka zaimplementowała i eksperymentalnie przetestowała nowy tryb pracy detektora UFXC. Pozwoliło to na zwiększenie liczby rejestrowanych ramek na sekundę o ponad dekadę w porównaniu z innymi rozwiązaniami detektorów zliczających pojedyncze fotony prezentowanymi w literaturze międzynarodowej. Ponadto doktorantka zaproponowała nowy hybrydowy tryb pracy detektora UFCX, który pozwolił na dwukrotne zwiększenie czasu analizy korelacji w porównaniu z dotychczasowymi rozwiązaniami.
- Opracowanie metodyki projektowania systemów akwizycji i przetwarzania obrazów w oparciu o systemy wbudowane oraz pojedynczą platformę programistyczną. Doktorantka zaprojektowała cały system akwizycji danych, włączając w to pełną realizację oprogramowania sterująco-odczytowego, zarówno dla samej kamery, jak i urządzenia sterującego oraz gromadzącego dane. Zaproponowana metodyka wyróżnia się spośród innych rozwiązań potrzebą użycia pojedynczej platformy sprzętowej i

programistycznej, przedstawiając tym samym nowe podejście do budowy prototypowych specjalizowanych urządzeń o wysokim poziomie złożoności.

- Należy podkreślić, że zbudowane i praktycznie wdrożone przez Autorkę systemy pomiarowe wykorzystujące hybrydowe detektory pikselowe z powodzeniem konkurują z najlepszymi rozwiązaniami spotykanymi w literaturze pod względem uzyskanych parametrów.

Oceniając rozprawę doktorantki w stosunku do stanu wiedzy zawartej w literaturze stwierdzam, że stanowi ona cenny wkład w badania dotyczące projektowania wielokanałowych systemów pomiarowych, dedykowanych do pomiaru promieniowania X.

Wart podkreślenia jest fakt, że doktorantka samodzielnie zaprojektowała obwody drukowane, zbudowała urządzenia elektroniczne niezbędne do przeprowadzenia testów, analiz oraz badań eksperymentalnych. Doktorantka opracowała również oprogramowanie dla układów FPGA i systemu wbudowanego w środowisku LabView oraz aplikacje sterujące oraz zbierające dane pracujące na komputerze PC.

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

Struktura rozprawy jest poprawna i przejrzysta. Praca napisana jest zwięźle w poprawnym języku angielskim, sporadycznie zdarzają się błędy językowe, np. niewłaściwe użycie przedimków, lub ich brak. Praca zawiera 56 czytelnych rysunków, w tym wykresów, diagramów, schematów i zdjęć obrazujących wyniki przeprowadzonych badań. Praca została napisana w przemyślany sposób, podział rozdziałów jest logiczny i konsekwentny.

Rezultaty badań, wyniki praktycznych eksperymentów przeprowadzonych z wykorzystaniem synchrotronów SOLEIL oraz APS zostały opisane w 4 rozdziałach zakończonych podsumowaniem. Rezultaty badań oraz wnioski zostały przedstawione w sposób przejrzysty i przekonujący.

Jedynym mankamentem jest brak schematu blokowego układu ASIC UFXC32k, obrazującego przepływ danych (buforowanie oraz interfejs odczytu danych). Taki schemat znacznie ułatwiłby zrozumienie zależności oraz ograniczeń czasowych w systemach akwizycji danych opisanych w rozdziałach 5 i 6 pracy.

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

W pracy dostrzeżono pewną liczbę błędów, głównie edytorskich, które nie mają znaczącego wpływu na wartość merytoryczną pracy doktorskiej. W rozdziale 1, opisującym strukturę pracy, nie zgadzają się numery rozdziałów, paragraf 2 odnosi się do tej pracy, natomiast w samej pracy w rozdziale 2 znajduje się wstęp. Dodatkowo rozdział 7 powtarza się. W pracy występują niewłaściwe odwołania do rysunków, np. odwołanie do rysunku 3.2 na stronie 39 (powinno być odwołanie do rysunku 4.2), niewłaściwe odwołanie do wzoru 4.1 na stronie 52 (powinno być odwołanie do rysunku 5.1). Powyższe pomyłki są łatwe do wychwycenia i nie wpływają negatywnie na wartość merytoryczną pracy.

Kolejnym problemem są powielone oraz niekonsekwentne rozwinięcia skrótów, np. hybrid pixel array detector (HPAD) na stronie 7, Photon Counting Hybrid Pixel Area Detectors

(HPAD) na stronie 19, hybrid pixel area detectors (HPADs) na stronie 21. Skróty pisane są zwykle małymi literami, jednak czasami występują wyjątki, np. strona 19.

Referencja na stronie 43 odnosząca się do strony ogólnej firmy National Instruments nie wnosi żadnej wartości merytorycznej. Referencje powinny odnosić do kart katalogowych urządzeń wykorzystywanych w trakcie badań.

W rozdziale 5 pracy Autorka posługiwała się modułem FlexRIO PXIe-7962R firmy NI. W pracy na stronie 43 pada stwierdzenie, że urządzenie wyposażone jest układ FPGA firmy Xilinx z rodziny Kintex 7. Według mojej wiedzy moduły z serii PXIe-796x zbudowane są w oparciu o układy Virtex SX50T. Cyfrowy moduł wejścia-wyjścia NI 6589 dedykowany jest dla systemów FlexRIO, wyposażonych w układ FPGA z rodziny 7. Proszę Autorkę o ustosunkowanie się do tej rozbieżności.

Do detekcji promieniowania X stosuje się również matryce CMOS z aktywnymi pikselami (ang. active pixel sensors). Jednak w pracy Autorka o nich nie wspomina. Prosiłbym o porównanie sensorów matrycowych CMOS z detektorami zliczającymi pojedyncze fotony.

W rozdziale 4 Autorka opisała dwa autorskie algorytmy, pozwalające na precyzyjne i szybkie strojenie wzmocnienia oraz przesunięcia składowej stałej układu UFXC32k, opracowane pod kątem implementacji z użyciem systemów wbudowanych, dysponujących niewielką ilością pamięci danych. W wynikach badań opracowanych algorytmów brakuje informacji o ich szybkości oraz zapotrzebowaniu na pamięć operacyjną. Proszę Autorkę o porównanie opracowanych algorytmów z istniejącymi rozwiązaniami pod kątem szybkości ich realizacji oraz zapotrzebowania na pamięć? W pracy doktorskiej nie odnalazłem takiego porównania, jest tylko informacja dotycząca szybkości dla algorytmu strojenia.

Na rysunku 6.3 na stronie 63 przedstawione są zależności czasowe dla ciągłego oraz impulsowego burst mode trybu pracy kamery. W przypadku trybu burst mode odczytanie danych z układu zajmuje 1,16 ms, co pozwala na rejestrowanie obrazów z częstotliwością powtarzania 862 ramek na sekundę. Natomiast Autorka podaje w pracy częstotliwość powtarzania równą 11950 obrazów na sekundę (frames per second). Proszę o wyjaśnienie skąd wynika różnica i jaka częstotliwość obrazowania jest poprawna.

W rozdziale 6 została opisana budowa systemu detektora 2D pracującego w trybie impulsowym z szybkością rzędu 1 200 000 zdjęć na sekundę. Proszę Autorkę o wskazanie kierunków pozwalających na dalsze zwiększenie szybkości kamery pracującej w trybie impulsowym. Jakie parametry systemu akwizycji danych (np. zwiększenie szybkości transmisji danych na liniach odczytowych LVDS, użycie transmisji DDR) oraz układu odczytowego UFXC32k można zmodyfikować w celu uzyskania większej szybkości akwizycji obrazów?

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Należy podkreślić praktyczne znaczenie pracy. W ramach wykonanych badań Autorka podjęła się optymalizacji kluczowych parametrów hybrydowego detektora matrycowego oraz budowy systemów akwizycji, pozwalających na rejestrowanie obrazów w eksperymentach prowadzonych z użyciem synchrotronów. W pracy zawarto analizy oraz wyniki licznych eksperymentów wykonanych z układami akwizycji obrazów zaprojektowanymi przez Autorkę.

Autorka pokazała możliwość wykorzystania szybkich detektorów zliczających pojedyncze fotony dla eksperymentów typu time-resolved. Praca Doktorantki umożliwiła użycie

detektora zbudowanego w oparciu o układ UFXC32k w eksperymencie Pump-Probe-Probe na synchrotronie SOLEIL, co pozwoli na badanie fizyki (dynamiki) sieci krystalicznych materiałów.

Drugim przykładem praktycznego zastosowania wyników badań jest system spektroskopu pracującego w zakresie promieniowania X wykorzystywany w synchrotronie Advanced Proton Source na linii badawczej 8-ID-I.

Zawarta w rozdziale 7 metodyka projektowania systemów z wykorzystaniem pojedynczej platformy programowej LabVIEW pozwala na szybkie budowanie prototypowych systemów akwizycji i przetwarzania danych dla systemów obrazowych. Metodyka pozwala na opracowanie systemu w znacznie krótszym czasie i bez potrzeby budowania skomplikowanych urządzeń elektronicznych. Wykorzystanie graficznego języka programowania znacznie upraszcza programowanie układów FPGA i nie wymaga od programisty dokładnej znajomości struktury układu, jak i języków opisu sprzętu, takich jak VHDL, czy też Verilog. Takie podejście posiada jednak wady związane z dużymi kosztami licencji oraz narzuconymi ograniczeniami sprzętowymi, jednak jest w pełni uzasadnione na etapie budowania prototypowych systemów.

Praca doktorska może być również przydatna podczas projektowania innych dedykowanych systemów obrazowych wykorzystywanych w synchrotronach, laserach na swobodnych elektronach FEL oraz w aplikacjach medycznych.

8. Ocena końcowa

Uważam, że przedstawiona do recenzji praca zawiera wartościowy i oryginalny dorobek naukowy. Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością budowy hybrydowych detektorów pikselowych, systemów akwizycji i przetwarzania obrazów.

Rozprawa mgr inż. Anny Kozioł ma charakter teoretyczno-doświadczalny, a sposób rozwiązywania problemów świadczy o bardzo dobrej wiedzy w zakresie elektroniki cyfrowej, informatyki oraz fizyki. Doktorantka wykazała się doskonałą znajomością zagadnień teoretycznych, jak i praktycznych, o czym najlepiej świadczą praktyczne zastosowanie zbudowanych systemów pomiarowych. Cel rozprawy osiągnięto przy użyciu właściwych metod badawczych.

W podsumowaniu stwierdzam, że praca mgr inż. Anny Kozioł pt. „Budowa i rozwój szybkich detektorów hybrydowych dla potrzeb eksperymentów synchrotronowych”, napisana w dyscyplinie elektronika, spełnia warunki określone w art. 13 ust.1 ustawy o stopniach i tytule naukowym. Wnioskuje, zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Doceniając osiągnięcia Autorki, wysoki poziom naukowy rozprawy oraz praktyczną użyteczność uzyskanych wyników badań dla potrzeb eksperymentów synchrotronowych wnioskuje o wyróżnienie przedstawionej rozprawy.

Dariusz Makowski
podpis