

Warszawa, dnia 16.08.2023 r.

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk
Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Systemów Elektronicznych

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 21. 08. 2023

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

**KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DYSZYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA i TECHNOLOGIE KOSMICZNE
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ im. Stanisława Staszica w Krakowie**

**Tytuł rozprawy: Mikromocowe, niskopowierzchniowe, wielokanałowe układy scalone
przeznaczone do precyzyjnego pomiaru energii promieniowania jonizującego; Micro-
power low-area multichannel integrated circuits for precise measurement of ionizing
radiation energy**

Autor rozprawy: mgr inż. Piotr Kaczmarczyk

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej z dnia 6 lipca 2023 r. dotycząca powołania recenzentów wyżej wymienionej rozprawy doktorskiej. Pismo Przewodniczącego RD AEEiTK AGH, Pana dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, profesora uczelni w powyższej sprawie z dnia 6.07.2023 r. Promotorem rozprawy jest Pan dr hab. inż. Piotr Kmon, profesor uczelni. Z informacji w tym piśmie wynika, że przewód doktorski został wszczęty w dniu 23.03.2019 r.

1. Jaka jest obecność i pozycja Doktoranta w środowisku zawodowym i naukowym, zapisy bibliometryczne, publikacje w szczególności związane z pracą doktorską, zespół i otoczenie laboratoryjne Doktoranta?

Mgr inż. Piotr Kaczmarczyk, według bazy informacyjnej SKOS AGH, jest zatrudniony jako asystent w AGH, WEAlIB, Katedra Metrologii i Elektroniki. W latach 2012-2017 studiował na AGH na kierunku inżynieria Biomedyczna uzyskując tytuł inżyniera. Równolegle studiował Mikroelektronikę w Technice i Medycynie uzyskując tytuł inżyniera w 2018 r. W latach 2017-2018 studiował na studiach drugiego stopnia na kierunku Elektrotechnika i uzyskał tytuł magistra inżyniera. W latach 2018-2023 był uczestnikiem studiów doktoranckich.

W bazie danych publikacyjnych AGH BPP doktorant posiada 8 zapisów z okresu 2018-2022. Są tam także podane linki osobowe do Orcid, ResearcherID, Scopus i PBN. Publikacje konferencyjne obejmują: Mixdes, e-seminarium doktoranckie, Krajowa Konferencja Elektroniki, Workshop on Imaging Detectors w Belgii 2021 i we Włoszech w 2022. Materiały międzynarodowych konferencji detektorowych były post factum publikowane w JInst. Wykaz publikacji jest tutaj niepełny jeśli wejdzie się przez BPP? Brak np. niektórych prac tworzących listę doktorską? Natomiast w dziale BADAP AGH doktorant ma indeksowanych 11 pozycji. Skąd się bierze taka różnica? Publikacje wymienione w BPP są linkowane do źródeł. Publikacje w BADAP są szerzej abstraktowane i linkowane przez doi. W zasadzie jest wygodny dostęp do wszystkich publikacji doktoranta, także do tych spoza list

Scopus i ResearchID WoS co pozwala na szersze spojrzenie na dorobek naukowy, dydaktyczny i naukowo-społeczny. W korespondencji z doktorantem na ten temat różnice w bazach publikacyjnych zostały wyjaśnione.

W szczególności zainteresowanie recenzenta wzbudziła obecność doktoranta wśród współautorów rozdziału serii wydawniczej AGH NTT Tom.4 pt. Application-specific integrated circuits for X-ray imaging and neurobiology. Jest to rozdział przeglądowy o charakterze prezentacyjnym podsumowującym aktywność zespołu. Doktorant jest tam pierwszym autorem, ale chyba ze względu tylko na regułę alfabetyczną. W każdym razie jest to i tak znaczne docenienie wkładu doktoranta w działalność tego znakomitego zespołu naukowego, w którym członkami jest kilku profesorów, całość pod kierownictwem prof. Pawła Grybosia.

W bazie krajowej danych naukowych Polon PBN doktorant posiada skromny zapis z trzema publikacjami. Te zapisy w części oficjalnej statystycznej w zasadzie powinny uzupełniać macierzysta uczelnia, lub powinno się to uzupełniać automatycznie. W części aktywowanej przez autora jest symboliczny zapis jednej publikacji z roku 2018 UFXC32k based camera module with a custom soft procesor and USB 3.0 for large area detectors. Autor nie uzupełnia tego zapisu. Pojawia się więc pytanie ogólniejsze do czego służy taki szkieletowy PBN, w portalu sygnowanym bardzo oficjalnie przez MEiN i OPI-PIB?

W bazie bibliometrycznej Scopus Elsevier mgr inż. Piotr Kaczmarczyk posiada następujące zapisy bibliometryczne: 6 dokumentów, 11 cytowań przez 10 dokumentów, indeks Hirscha wg. Scopusa równy 2. Cztery prace są opublikowane w Journal of Instrumentation. Najliczniej cytowana praca, 6 razy, jest Design of analog pixels front-end active feedback, opublikowana w JInst. W czterech pracach jest pierwszym autorem. Prace pochodzą z okresu 2018-2023. Pięć prac jest napisanych we współautorstwie z promotorem. Doktorant nie ma poważniejszej, międzynarodowo indeksowanej, pracy jedno-autorskiej, o charakterze ogólnym, niekoniecznie przyczynkowym. Recenzent notuje to jako pewien deficyt w polityce naukowej zespołu naukowego, który nie testuje tej domeny zdolności doktoranta, samodzielnej umiejętności napisania nieco poważniejszego tekstu naukowego. Oczywiście ten deficyt jest kompensowany istotnie pozycją doktoranta jako pierwszego autora w publikacjach zespołowych, ale nie do końca. Podjęcie odpowiedzialności za samodzielną publikację recenzowaną jest jednak zupełnie czymś innym. To jeden z etapów kształcenia doktora, adiunkta naukowo-dydaktycznego. W korespondencji z doktorantem w tej sprawie uzupełnił wykaz publikacji o opublikowaną ostatnio pracę samodzielną na konferencji Mixdes indeksowaną w IEEE Xplore.

W bazie Web of Science doktorant posiada 6 indeksowanych prac w WoS Core Collection, cytowanych łącznie 8 razy. Najliczniej cytowana, 5 razy, jest praca Design of analog pixels front-ednd active feedback. Indeks H wg. WoS wynosi 2. Współautorem 5 prac jest promotor doktoranta.

W bazie ORCID jest indeksowanych 7 prac doktoranta. Dodatkowo, wobec zbioru w Scopusie, jest to rozdział w serii wydawniczej AGH Nauka – technika – Technologia, Tom 4, wydany w roku 2022. Rozdział/artykuł wieloautorski, 14 stronicowy, przedstawia wybrane przykłady zintegrowanych układów odczytu zaprojektowanych w grupie prof.P.Grybosia. Standardowo, prace indeksowane w Orcid są dobrze linkowane do źródeł. Profil doktoranta jest linkowany także do Scopus, ResearchID i bazy repozytoryjnej ResearchGate.

Baza repozytoryjna ResearchGate zawiera osiem indeksowanych prac, odczytów 201, indeks RGS równy 3,5, cytowań 7 i indeks Hirscha RG równy 2. Krótki opis zawodowy informuje publicznie o umiejętnościach doktoranta obejmujących głównie środowiska programistyczne i projektowanie układów VLSI. Doktorant deklaruje także znajomość języka

Hiszpańskiego. Najliczniej odczytywanymi artykułami były: Application-specific integrated circuits for X-ray imaging and neurobiology – ponad 30 razy i Continuous-time discriminator design in CMOS 28 nm process – ponad 20 razy. Najliczniejszymi współautorami doktoranta są profesorowie P.Kmon i R.Szczygieł.

Baza Google Scholar zawiera osobisty zapis doktoranta z następującymi danymi: 8 indeksowanych prac, cytowania 12, indeks Hirscha wg GS 2, współautorzy P.Kmon, zakres czasowy publikacji 2018-2023. Najliczniej cytowana praca, 6 razy, to Design of analog pixels front-end active feedback z 2018 roku opublikowana w JInst.

W społecznościowej, zawodowej bazie LinkedIn doktorant posiada zapis autorski. Jest tam informacja, że odbył staż w Japonii w firmie Rigaku, Tokio w grupie badawczej detektorów promieniowania X. Posiada certyfikaty, otrzymane w latach 2019-2020 roku, MEAD w zakresie HPDC i Delta-Sigma data converters, i IEEE online Training CEU/PDH. Jako umiejętności podaje SystemVerilog, Python, FPGA, itp. W korespondencji z doktorantem zapis osobisty LinkedIn został istotnie uzupełniony.

Zarówno cały dorobek publikacyjny doktoranta, jak i prace przedstawione w ramach tezy badawczej pracy doktorskiej są w odpowiedni sposób widoczne i dostępne publicznie. Najnowsze prace jeszcze nie doczekały się liczniejszych cytowań, ale prace z lat 2018-2019 posiadają umiarkowane cytowania rokujące na szerszy oddźwięk także prac późniejszych. Na podstawie dość licznych odczytów niektórych publikacji z baz danych widać, że prace cieszą się zainteresowaniem środowiska detektorowego i specjalizowanych układów scalonych. Widać także, że doktorant pozytywnie dba o uzupełnianie swoich najważniejszych publicznych repozytoriów naukowych.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że otwarta publiczna obecność doktoranta i jego dorobku w naukowych bazach danych bibliometrycznych i repozytoryjnych jest wystarczająca z nadmiarem dla młodego uczonego starającego się o stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

- 2. 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)?**

Ogólnym obszarem badawczym w którym działa doktorant jest technika rentgenowska i jej aspekty technologiczne i pomiarowe. W szczególności są to wielokanałowe sensory promieniowania jonizującego o wysokiej rozdzielczości, a więc o dużej gęstości pikseli, oraz specjalizowane układy scalone przeznaczone do odczytu sygnałów z takich sensorów. Taka para sensor matrycowy – specjalizowany układ scalony ASIC dopasowany do sensora stanowi jednolity detekcyjny system funkcjonalny. Tylko i wyłącznie integracja na tak wysokim poziomie zapewnia dobre parametry sygnałowe, szumowe i optymalnie niskie zużycie mocy.

Jest to bardzo ciekawy i złożony obszar badawczy pełen wyzwań teoretycznych, projektowych, ale i technologicznych, pomiarowych i testowych aplikacyjnych. W tym obszarze budowy systemu detekcyjnego układ ASIC jest elementem, który w pewnym sensie dopasowujemy do coraz bardziej złożonego sensora obrazowego. To dopasowanie jest złożonym procesem realizowanym na poziomie teoretycznym i technologicznym. Można oczywiście dyskutować co do czego jest dopasowywane. Oba systemy – zaawansowane detektory pikselowe promieniowania jonizującego i zaawansowane układy ASIC idą swoimi własnymi zupełnie różnymi drogami rozwojowymi, ale tutaj się spotykają i współpracują. Od

tej współpracy zależy bardzo wiele. Oba układy detekcyjny i odczytowy mogą być także w różnej skali i na różnym poziomie funkcjonalności integrowane w jeden układ i jeden system.

Postęp w dziedzinie wieloenergetycznego, multispektralnego obrazowania rentgenowskiego wyznacza stosowanie wielopikselowych detektorów zliczających fotony. Układ odczytowy detektora pikselowego rozróżnia energie pojedynczego fotonu w pojedynczym pikselu. Wymagane parametry systemu i kanału odczytowego rentgenowskiego wielospektralnego tomografu komputerowego są następujące: rozdzielczość jednofotonowa, znaczna rozdzielczość przestrzenna, rozdzielczość spektralna czyli dostatecznie dokładny pomiar energii fotonu, niski pobór mocy, niskie szумы, szybkość pracy całości systemu, a w szczególności szybkie przetwarzanie sygnału, zajętość powierzchni detektora, itp.

Coraz więcej zaawansowanych obszarów aplikacyjnych wchodzi w technologie jednofotonowe. Można wymienić kwantowe techniki czujnikowe, komputing, telekomunikację, teledetekcję, kryptografię, itp. W obszarze obrazowania wykorzystywane są takie metody jak ghost imaging, ale także nieklasyczne, niepoissonowskie światło ściśnięte. Ograniczając się do obszaru obrazowania, który jest przedmiotem niniejszej pracy, do przetwarzania informacji obrazowej wykorzystuje się zarówno kwantowe zmienne dyskretne fotonu jak i ciągle. W przypadku pracy doktorskiej wykorzystywana jest energia, ale to oczywiście nie wyczerpuje zaawansowanych metod manipulacji fotonem. Potencjał obrazowania jednofotonowego jest bardzo szeroki i dopiero od niedawna powstają praktyczne aplikacje, np. obrazowania w kwantowym układzie splecionym dwufotonowym, przy pomocy pojedynczego fotonu zwiastowanego, w ogóle nie oddziałującego z obiektem obrazowanym. Oceniana praca doktorska, poprzez rozwój kluczowych fragmentów złożonego systemu obrazowania pojedynczo fotonowego, dokłada się do rozwoju dyscypliny obrazowania kwantowego.

Rozwój omawianych w pracy systemów detektorowych będzie musiał objąć różnicowanie fotonowe nie tylko w domenie spektralnej ale także w innych domenach stopni swobody fotonu jak czasu, częstotliwości, przestrzeni. Można podać przykład wykorzystania do obrazowania spinu orbitalnego fotonu i jego ładunku topologicznego. Matryce detektorowe i kanały odczytowe muszą sobie poradzić z różnicowaniem tak wielu parametrów fotonu. Tym bardziej że np. rozwijane techniki jednofotonowych mikrogrzebieni wprowadzają do systemu przetwarzania informacji wiele zmiennych. Autor nie wspomina o tych możliwościach i kierunkach rozwoju systemów detektorowych i obrazowania jednofotonowego ze zrozumiałych względów, to nie jest przedmiotem tej pracy. Jednak jest to obszar gdzie wyniki pracy mogą być potencjalnie wykorzystane.

Zaletą pojedynczo-fotonowych matryc diod lawinowych SPAD jest możliwość ich realizacji w technologii CMOS. Obecny poziom zaawansowania technologii detektorów pozwala na subtelne działania na poziomie pojedynczego piksela i pojedynczego fotonu i odpowiednie do tego dopasowanie i sprzętowe i programistyczne kanałów odczytowych. Takie kanały przetwarzania sygnałów są coraz bardziej integrowane z pikselami. Wzrastająca, w konsekwencji, funkcjonalność systemów detektorowych uruchomiła lawinę zupełnie nowych zastosowań, w takich grupach jak znacznikowanie czasu (time stamping), mikroskopia superrozdzielcza, czasowo rozdzielcza spektroskopia Ramana, biomedyczne techniki FLIM-FRET, SPIM-FCS, NIROT, PET, itp. Recenzent zarysowuje nieco szerzej tło działania doktoranta, aby pokazać jak aktualne i ważne są prowadzone w tym zakresie prace. Potrzebne są coraz lepsze matryce SPAD/CMOS ale także coraz lepsza elektronika detektorowa. Rozwijanych jest wiele architektur takich systemów. Modułarna integracja matryc SPAD z układami FPGA pozwala na tworzenie architektur rekonfigurowalnych z obliczeniami autokorelacji i czasu życia jak najbliższej piksela. Tworzone są także, wydaje się przyszłościowe, architektury 3D.

Zagadnieniem naukowym rozpatrzonym w pracy jest kilkukierunkowe badanie nowych sposobów budowy i przetwarzania sygnałów w kanale odczytowym hybrydowego detektora pikselowego zliczającego pojedyncze fotony rentgenowskie. Badanym detektorem był submikronowy układ CMOS 28 nm o 100 pikselach 50x50 mikrometrów zapewniający znaczną rozdzielczość przestrzenną i niski pobór mocy. Pomiar energii fotonu w pojedynczym pikselu takiego zaawansowanego detektora badano metodami wielokrotnych dyskryminatorów, przetwarzania analogowo-cyfrowego oraz metodą ładunkową kompensacyjną.

Teza pracy została sformułowana w postaci wybranych przez autora kilku problemów do rozwiązania w obszarze nowej generacji elektroniki odczytowej współpracującej z zaawansowanymi, wielopikselowymi, rentgenowskimi, multispektralnymi detektorami jednofotonowymi. Ten wybór ma dwa źródła. Pierwszym jest analiza dokonana przez autora dotycząca rozwoju zaawansowanych detektorowych technologii odczytowych prowadzonych na świecie w zaawansowanych laboratoriach. Drugim są własne prace analityczne, technologiczne i pomiarowe, w tym zakresie prowadzone przez zaawansowany zespół badawczy systemów elektroniki detektorowej, w którym działa doktorant.

Rozwiązanie poszczególnych problemów przedstawionych jako teza pracy zostało przedstawione w odrębnych opublikowanych artykułach naukowych składających się na przedstawioną do oceny rozprawę doktorską. Zdefiniowane problemy naukowo-techniczne i cykl artykułów z ich dokładnym opisem stanowi jednolite rozwiązanie większego zagadnienia badawczego związanego z rozwojem zaawansowanych elektronicznych systemów elektroniki detektorowej.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że rozpatrywanym w pracy zagadnieniem naukowym jest rozwiązanie na poziomach teoretycznych i doświadczalnych szeregu szczegółowych zagadnień, dotychczas nierozwiązanych i sprawiających trudności badawcze, związanych z rozwojem zaawansowanych systemów elektroniki detektorowej nowej generacji. Rozwiązanie przedstawionych przez doktoranta problemów badawczych posiada odpowiednią wagę naukową dla uzyskania stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i inżynieria kosmiczna. Zagadnienie badawcze sformułowane w postaci ciągu problemów naukowo-technicznych zostało dostatecznie jasno sformułowane przez autora. Praca ma charakter mieszany, zarówno teoretyczny jak i doświadczalny.

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

Autor powołuje w pracy 79 pozycji literatury. Te powołania dotyczą rozszerzonej części abstraktowej pracy składającej się z dwóch rozdziałów – wstępu definiującego problemy badawcze, oraz omówieniu układów ASIC stosowanych w systemach elektroniki detektorowej. W naturalny sposób, wykaz literatury znajduje się także w każdym z osobnych artykułów naukowych składających się na rozprawę. Na początku spisu autor wymienia 7 prac składających się na osiągnięcie naukowe. Spis zawiera ponadto łącznie 16 cytowanych prac z zespołu naukowego doktoranta co jest uzasadnione faktem szerokich prac prowadzonych przez ten zespół w tym obszarze. Łatwo sprawdzić, że większość z tych prac zespołu jest licznie lub bardzo licznie cytowana, wskazując na dobry odbiór i docenienie wyników badań przez adekwatne międzynarodowe środowisko naukowe. Trudno w takim swoim własnym znakomitym środowisku badawczym, docenionym międzynarodowo, napisać słabą pracę doktorską.

Doktorant powołuje się po kolei, zgodnie z przebiegiem wywodu naukowego, w rozdziałach 1 i 2 do poszczególnych zagadnień systemów detektorowych ogólnie i elektroniki detektorowej w szczególności. Tematyka o charakterze ogólnym związanym z detekcją promieniowania jonizującego i rentgenowskiego dotyczy standardów międzynarodowych, bezpieczeństwa, oddziaływania z materią i na człowieka, detektorów medycznych, zasad tomografii komputerowej, itp. Część powołań dotyczy rozwoju historycznego i współczesnego detektorów jednofotonowych. Ścieżka rozwojowa biegła od pierwszych prostych rozwiązań pobierania danych i przetwarzania poza układem do przetwarzania coraz bliżej matrycy. Ewolucja systemów była także związana z ich transferem z laboratoriów do zastosowań klinicznych. Pierwsze zastosowanie kliniczne systemu CT z detektorem zliczającym fotony zostało ogłoszone dopiero rok temu. Systemy dwu-energetyczne i wielo-energetyczne całościowo były testowane wcześniej.

Najwięcej odwołań literaturowych dotyczy poszczególnych rodzajów układów ASIC stosowanych w elektronice detektorowej, czyli ścisłej specjalizacji zespołu w którym swoją pracę realizował doktorant. Ta część także zawiera najwięcej odwołań do znakomitych prac własnych zespołu. Ewolucję rozwiązań architektonicznych takich układów w aspekcie pomiaru energii autor przedstawia w rozdziale 2 często powołując się na rozwiązania własne zespołu na tle osiągnięć światowych. Zespół w którym działa doktorant pracuje nad rozwiązaniami badawczymi ewentualnie prototypowymi, ale także w obszarze aplikacyjnym. Systemy detekcyjne rozwijane na rzecz fizyki wysokich energii w wielkich eksperymentach dają zespołowi unikalne doświadczenia dla prac nad innymi aplikacjami np. dla medycyny. Praca doktoranta jest ukierunkowana właśnie w taki obszar.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, włączając w to literaturę światową, stan wiedzy i zastosowań. Tak szeroka analiza literatury świadczy o dobrej wiedzy autora w obszarze tematycznym systemów elektroniki detektorowej. Wnioski z przeglądu źródeł zostały sformułowane w sposób jasny i przekonujący. Sformułowanie prawidłowych wniosków i na tej podstawie wybór własnych zagadnień badawczych do rozwiązania był znacznie ułatwiony z powodu uczestnictwa doktoranta w pracach bardzo zaawansowanego zespołu badawczego. Nie umniejsza to jednak wysiłku doktoranta w takim wyborze zagadnień, wspólnie z opiekunami, aby ich rozwiązania były przydatne w linii rozwojowej technologii uprawianych aktualnie przez zespół.

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

Rozprawa doktorska jest napisana w języku angielskim. Struktura rozprawy jest następująca. Pierwsze dwa rozdziały są rozszerzonym abstraktem. Autor w takim abstrakcie wprowadza w tematykę pracy, dokonuje wyboru zagadnień badawczych, uzasadnia dokładnie taki wybór, oraz w skrócie dokonuje przeglądu najważniejszych zagadnień, w których rozwiązaniu brał udział. W przeglądzie wykonanych prac odwołuje się, nie powtarzając się, do oryginalnego opublikowanego materiału w czasopiśmie naukowych. Innymi słowy prezentowana praca doktorska posiada format krótkiego wstępu i zestawu współautorskich prac opublikowanych. Prace dobrane są w taki sposób, że tworzą spójny i logiczny ciąg badawczy. Wstęp do pracy, obejmujący rozdziały 1 i 2, jest jednak na tyle obszerny, że dodaje do zbioru artykułów płynny i istotny komentarz, uzupełniając merytorycznie opublikowany materiał.

Logiczny układ pracy jest prawidłowy przy wyborze opcji artykułowej. Pracę rozpoczynają streszczenia w języku polskim i angielskim po których znajdują się listy stosowanych skrótów i symboli. Wstępny rozdział 1 składa się z trzech części. Autor wymienia tam prace, które przedstawia jako osiągnięcie naukowe. Przedstawia w skrócie rozwój historyczny technik obrazowania rentgenowskiego, metody projekcyjne, 3D CT, detekcję pośrednią scyntylicyjną i bezpośrednią ekscytonową. Zaznacza wady i zalety metod detekcyjnych. Metody scyntylicyjne

posiadają dobrą liniowość, rozdzielczość przestrzenną i sprawność konwersji. Metody pośrednie w połączeniu z całkującymi kanałami odczytowymi są obecnie najczęściej stosowanymi rozwiązaniami w aparaturze medycznej. Metody bezpośrednie pozwalają na detekcję dużych energii fotonów w zależności od zastosowanego materiału konwertera energetycznego, czyli energii generacji ekscytonu w tym materiale. W medycynie stosowanym konwerterem jest CdTe o energii kreacji ekscytonu 4,43eV. Układ odczytowy z konwertera formuje z zebranego ładunku impuls prądowy. Gromadzenie ładunku przez pewien okres czasu prowadzi do przetwarzania całkującego w którym tracona jest informacja o indywidualnych energiach cząsteczek, ograniczany zakres dynamiczny, a także integrowane są szumy tła i elektroniki.

Autor przeciwstawia liniową metodę integracyjną, bardzo przydatną dla promieniowania o znacznym natężeniu, z metodą zliczania pojedynczych fotonów, nad którą pracuje, i która nie posiada innych wymienionych wad. Potencjał rozwojowy metod pojedynczo-fotonowych jest znaczny ze względu na dużą liczbę stanów swobody fotonu. Kodowanie informacji, w tym obrazowej, jest możliwe na każdym z takich stanów odrębnie. Rozwój detektorowych metod pojedynczo-fotonowych będzie zależał od postępu technologicznego nie tylko w sprawnej manipulacji fotonem i jego stanami, ale także od możliwości znacznego zwiększenia szybkości detektorów SPC/CMOS/MOSFET spowodowanego ograniczonym czasem przetwarzania impulsu. Systemy odczytowe elektroniki detektorowej także będą musiały podążać za poprzedzającymi komponentami funkcjonalnego systemu fotonicznego. Na przykład, jeśli aktywny obszar odczytu układu ASIC pasuje dokładnie do układu pikseli czujnika to unikamy stosowania połączeń pośredniczących, stosując wygodny bump-bonding, co prowadzi do lepszej integracji systemu detektorowo-odczytowego, poprawy parametrów, itp. W rozprawie, zestaw składający się z czujnika bezpośredniego ekscytonowego i dopasowanego do niego elektroniki odczytowej klasy SPC, autor nazywa hybrydowym detektorem pikselowym. Taki detektor jest przedmiotem rozważań w rozprawie.

W swoich analizach obszaru badawczego zaawansowanych kanałów odczytowych elektroniki detektorowej doktorant zdaje sobie sprawę z umiejscowienia i roli autorskich rozwiązań w tym wielkim obszarze nauki i techniki jednofotonowej. Są to drobne ale ważne prace przyczynkowe, powoli i systematycznie przesuujące granice poznania i technologii, a w konsekwencji pozwalające także na rozszerzenia, tak potrzebnych w tym obszarze, nowych funkcjonalności.

System detektorowy typu SPC budowany i badany przez autora posiada zdolność zachowywania i następnie przetwarzania informacji o czasie (pośrednio) i miejscu absorpcji fotonu, generacji ekscytonu, deponowanej indywidualnej energii, i natężeniu strumienia. Jakość takiego systemu jest zdeterminowana przez rozdzielczość czasową, przestrzenną, energetyczną, natężeniową, itp. Rozdzielczość przestrzenna i czasowa daje dokładność pomiaru, czyli zwiększenie rozdzielczości obrazowania. Rozdzielczość energetyczna daje możliwość skutecznej eliminacji szumu i realizacji cennego obrazowania multispektralnego. Obrazowanie multispektralne niesie znacznie więcej informacji o obiekcie niż natężeniowe. Charakter tej różnicującej informacji jest inny w zastosowaniach medycznych a inny w przemysłowych. Rozdzielczość natężeniowa pozwala unikać szkodliwych efektów piętrzenia indywidualnych impulsów (pile-up). Uzyskuje się znacznie wyższą jakość obrazowania. W praktyce, wyższa jakość wszystkich poszczególnych komponentów systemu pozwala, przy zachowaniu wymaganej jakości obrazowania, na obniżenie natężenia promieniowania w systemie, a więc obniżenia dawki w obiekcie obrazowanym. Jest to szczególnie ważne jeśli mamy do czynienia z medyczną tomografią komputerową i pacjentem.

Analizowany przez autora pojedynczy kanał odczytowy SPC składa się, w uproszczeniu, z fotodiody jednofotonowej, wzmacniacza ładunkowego, dyskryminatora progowego zbudowanego na wzmacniaczu operacyjnym oraz licznika. Zmiana progu pozwala na zliczanie fotonów powyżej niego, a więc na dyskryminację spektralną. To stanowi znaczny postęp wobec rentgenowskiego obrazowania monochromatycznego. Jednak trzeba sobie zdawać sprawę, że

technika rentgenowskiej „kolorymetrii dwubarwowej”, nagrodzonej nagrodą Nobla, jest dopiero początkiem drogi rozwojowej rentgenowskiego obrazowania multispektralnego - multienergetycznego. W wyniku, detektorowy system wieloenergetyczny generuje znacznie więcej danych, które lepiej przetwarzać wstępnie na miejscu w układzie zintegrowanym. Tego typu rozważania, zupełnie oczywiste dla specjalisty systemów elektroniki detektorowej, autor przedstawia jako motywację pracy w rozdziale 1.1.2.. To jest dominujący kierunek rozwojowy i trudno z nim dyskutować.

Dokładniejszy portret tego kierunku rozwojowego autor przedstawia w rozdziale 1.1.3. Pokazuje przy tym znajomość tematu, wywodzącą się z szerszej analizy literatury światowej, prac zespołu, a w tym prac własnych. Dyskutuje ograniczenia systemów wieloenergetycznych związane z dostępną powierzchnią pikseli i budżetem mocy, i pokazuje liczne rozwiązania architektur wielo-dyskryminacyjnych w systemach dwu-energetycznych. Klasyfikuje systemy jako dyskryminacyjne wielo-poziomowe, ToT, ADC, TDC/ADC, SAR/ADC, SAR/ADC z histogramem, CFC, z konwersją na chipie i poza chipem. Porównuje te układy opracowane w czołowych laboratoriach światowych np. CERN, CEA, CEA-Leti, KAIST, Philips, itp., i pozycjonuje na tym tle swoją pracę, oraz prace zespołu z AGH. To pozycjonowanie jest ważne gdyż pokazuje dokładnie usytuowanie własnego wkładu badawczego w rozwój systemów elektroniki detektorowej klasy SPC.

Dokonane analizy porównawcze, w zestawieniu z możliwościami własnego laboratorium technologicznego i pomiarowego, oraz laboratoriów współpracujących, pozwala autorowi sformułować realistyczne problemy naukowe, oraz ocenić wagę ich wkładu w rozwój systemów SPC. Według opinii recenzenta sformułowane w rozdziale 1.2. problemy i oczekiwany własny oryginalny wkład badawczy w ich rozwiązanie, choć przedstawione bardzo ostrożnie i dotyczące bardzo wąskich zagadnień są bardzo przydatne i wartościowe na tym etapie rozwoju, zarówno ogólnie, technologii SPC jak i rozwoju szczególnych możliwości badawczych zespołu. Są to bez wątpienia problemy, których rozwiązanie ma poziom doktorski. Zbiór, tak a nie inaczej, sformułowanych problemów ma związek z ciągiem kilkuletnich prac doktoranta w zespole. Wyniki tych recenzowanych prac opublikowano i tam znajdujemy dokładne opisy rozwiązań. Artykuły mają charakter nowatorski, przyczynkowy, i według recenzenta mają wysoką jakość naukowo-techniczną z deklarowanym wysokim wkładem własnym doktoranta.

W rozdziale 2 autor wymienia już ściśle ograniczone trzy obszary badań własnych związane z pomiarami energii i przypisuje do nich opublikowane prace składające się na listę osiągnięcia naukowego. Są to układy z: 1. multiple continues-time bandwidth-extended discriminators, 2. in-pixel synchronous differential SAR ADC, 3. asynchronous pulse generator-based ADC. W rozdziale tym autor po kolei opisuje dość szczegółowo podstawowe właściwości tych układów, powołując się odpowiednio licznie na literaturę zespołu z AGH i laboratoriów międzynarodowych. Skupia się na ich wadach i zaletach oraz możliwościach działania tych rozwiązań w obszarze detekcyjnych systemów jednofotonowych. Dokonuje po kolei skrótego przywołania osiągnięć własnych, jednak kierując po szczegóły rozwiązań i osiągnięte parametry i charakterystyki do opublikowanych artykułów. To stanowi według recenzenta o prawidłowej formie tego rozdziału.

W rozdziale 3 zawarte są kopie artykułów składających się na osiągnięcie naukowe wraz z dokładnym komentarzem o wkładzie własnym autora. Jedna praca konferencyjna z tej listy jest jedno-autorska a pozostałe we współautorstwie z prof. P.Kmonem promotorem doktoranta. Kilka prac było przedstawianych na konferencji Mixdes i zostały opublikowane bądź w materiałach tej konferencji bądź w związanym z konferencją i jej organizatorami czasopiśmie JMCS. Kilka prac było prezentowanych na międzynarodowych konferencjach elektroniki detektorowej i zostały opublikowane w czasopiśmie JInst. Jedna praca została opublikowana w Przeglądzie Elektrotechnicznym w języku polskim. Brawo, może język polski nie zaniknie w zaawansowanych publikacjach naukowo-technicznych z elektroniki. Jedna praca z listy została

zgłoszona do publikacji do IEEE Trans. on Circuit and Systems.

Podsumowując analizę treści merytorycznej pracy złożonej z części wprowadzającej i załączonych opublikowanych artykułów, recenzent stwierdza że doktorant rozwiązał właściwie postawione zagadnienie, użył do tego właściwych metod naukowo-technicznych, oraz przyjęte założenia były prawidłowe.

5. 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?

Na fragmenty własne, oryginalne, autor wskazuje w kilku miejscach pracy. W rozdziale 1.2, definiując problemy badawcze, wskazuje na te części które stanowią o nowości naukowej. Analizując te deklaracje doktoranta i czytając załączone i połączone z nimi tematycznie artykuły, recenzent zgadza się z opinią autora. Praca jest w całości przeniknięta różnymi nowatorskimi przyczynkami dokładającymi się w wymienionych przez autora trzech obszarach do postępu w rozwoju systemów detektorowych klasy jednofotonowej. Ten dobrze ukierunkowany nurt postępu jest wyraźny także w innych pracach znakomitego zespołu elektroniki detektorowej z AGH. Recenzent rezygnuje intencjonalnie w niniejszym tekście z opisu tych nowatorskich szczegółów, gdyż rozwinęłoby to znacznie jego objętość. Zawartość szeregu ciekawych i nowatorskich rozwiązań w załączonych publikacjach jest znaczna, przekraczająca formalne i zwyczajowe wymagania odnośnie prac doktorskich z dziedziny nauk technicznych i inżynierskich w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika, i technologie kosmiczne.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że oryginalność rozprawy polega na samodzielnym rozwiązaniu przez doktoranta, we współpracy z zespołem badawczym elektroniki detektorowej AGH, między innymi takich problemów jak: zagadnienia szumowe i zastosowanie konwertera o negatywnej impedancji w dyskryminatorze; projekt dwustopniowego, dynamicznego komparatora zatraskowego; nowa metoda kompensacji offsetu komparatora dynamicznego w dziedzinie czasu, i testy metody w chipie SAR ADC; gigahercowe testy laboratoryjne w technologii dużej rozdzielczości 28 nm. Wymienione zagadnienia stanowią samodzielny i oryginalny dorobek autora. Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową jest bardzo dobra.

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

Praca doktorska jest złożona z relatywnie krótkiego wstępu i zbioru artykułów. To narzuca odpowiednie wymagania wobec takiego wstępu, gdzie część merytoryczna i wyniki badawcze są w artykułach i nie powinno się ich powtarzać we wprowadzającym rozszerzonym abstrakcie. Autor rozwiązał to zadanie prawidłowo, co omówiono dokładniej powyżej. Wstęp zawiera tylko te treści które są odpowiednim wprowadzeniem, tezą i kontekstem oraz krótkim przewodnikiem po publikacjach.

Podsumowując, recenzent uważa, że autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników. Praca w części wstępnej jest odpowiednio zwięzła i jasna. Poprawność redakcyjna rozprawy w części wstępnej nie budzi zastrzeżeń.

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

Rozprawa stanowi zbiór rozwiązań kilku nieco różnych zagadnień związanych z rozwojem systemów elektroniki detektorowej nowej generacji. I jest przedstawiona w formie zbioru artykułów przyczynkowych. Czy to jest wadą? Autor realizuje rozprawę w dużym zespole badawczym, aktywnym w szerszych badaniach przyczynkowych i systemowych. Front prac jest ustawiany przez kierownictwo zespołu i w takim układzie pracuje się wspólnie nad pojawiającymi się czasami na bieżąco, zagadnieniami. Pełna swoboda działania doktoranta w takich warunkach jest ze zrozumiałych względów nieco ograniczona przez wymagane działania wspólne. Czy to jest wadą? Praca doktorska będąca zbiorem przyczynków jest jej pełnoprawną i wartościową formą.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Systemy detektorowe promieniowania jonizującego w obecnym czasie podlegają bardzo interesującym przemianom, np. w kierunku kwantowym. Obszar aplikacyjny obejmuje wiele pól badawczych jak fizykę wysokich energii, technikę akceleratorową, astronomię, i wiele innych. Obszar aplikacyjny obejmuje także wiele pól praktycznych, przemysłowych, medycznych, związanych z bezpieczeństwem i obronnością, i wiele innych. Oceniana rozprawa doktorska posiada potencjalnie wkład rozwojowy w kilka z wymienionych obszarów.

9. Podsumowanie, 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**

Recenzent wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów procesu doktoryzowania. Rozprawa doktorska spełnia wszelkie warunki zwyczajowe i formalne odnośnie wymaganego zakresu i poziomu badawczego i naukowo-technicznego przedstawionych wyników w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych i dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Rozprawa doktorska jest dobrze osadzona w nurcie rozwojowym systemów elektroniki detektorowej i w opublikowanym dorobku naukowym zespołu badawczego z AGH. Publikacje przedstawione jako osiągnięcie naukowe są dobrze skupione wokół jednolitej tematyki i rokuja nadzieje na dalszy efektywny rozwój prac naukowo-technicznych w tym kierunku.

W zależności od przebiegu obrony i otwartej dyskusji nad doktoratem, recenzent będzie wnioskował o wyróżnienie tej pracy jako wybitnie dobrej.

/R. Romanuk

