

Warszawa, dnia 20.08.2022 r.

Prof. dr hab. inż. Sławomir Wronka
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Ul. A.Soltana 7
05-400 Otwock

***RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ
DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA i ELEKTROTECHNIKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Szybka akwizycja szeregową miękkiego promieniowania X z detektora GEM w diagnostyce transportu zanieczyszczeń plazmy tokamakowej dla demonstratora elektrowni termojądrowej ITER.

Autor rozprawy: mgr inż. Piotr Kolasiński

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej oraz pismo Przewodniczącego Rady z dnia 24 czerwca 2022r w tej sprawie.

1. Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy.

Przedstawiona rozprawa dotyczy opracowania, symulacji, budowy i testów układu do szybkiej akwizycji sygnałów z detektora GEM. Kluczowym zagadnieniem podkreślanym przez autora jest konieczność bezstratnej rejestracji znacznej ilości danych diagnostycznych określających zanieczyszczenia plazmy w tokamaku. W przeciwieństwie do rozwiązań stosowanych w eksperymentach fizyki wysokich energii, przy diagnostyce plazmy nie stosuje się zaawansowanych logicznie trygerów, istotnie ograniczających ilość rejestrowanych danych. Pan Kolasiński wykazał potrzebę zastosowania koncentratorów danych o dużej przepustowości. W swojej rozprawie opisał wymagania stawiane układom do rejestracji i przetwarzania danych przy reaktorach fuzyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem budowanego tokamaka ITER. Ponieważ obecnie nie ma na rynku dostępnych rozwiązań spełniających opisane wymagania, doktorant opracował autorski model koncentratora danych pozwalającego realizować wielowymiarowe, niskolatencyjne porządkowanie danych dla akwizycji szeregowej. Dodatkowo powstał symulator pozwalający na optymalizację

projektowanego układu oraz efektywną implementację w układzie FPGA. Opracowany układ został wykonany oraz przetestowany zarówno w testach „wewnętrznych”, jak i z rzeczywistym detektorem na źródle izotopowym oraz z wykorzystaniem lampy rentgenowskiej.

Wszystkie etapy pracy zostały przez mgr Kolasińskiego opisane w sposób wyczerpujący; przedstawiona praca ma charakter doświadczalny.

2. Analiza źródeł i stanu wiedzy.

W przedstawionej rozprawie Autor uwzględnił 149 źródeł, zawierających pozycje książkowe, publikacje w czasopismach naukowych, raporty i odnośniki do stron internetowych. W części wstępnej pracy mgr inż. P. Kolasiński przybliżył czytelnikowi tematykę fuzji jądrowej oraz systemów diagnostycznych w eksperymentach gorącej plazmy tokamakowej. Omówiona została problematyka wyczerpywania się głównych źródeł energii, a w tym kontekście scharakteryzowano proces fuzji termojądrowej jako możliwość pozyskania nowego, stabilnego i bezpiecznego źródła energii. Opisano warunki wytworzenia plazmy i zajścia procesu fuzji w warunkach ziemskich z wykorzystaniem w tym celu tokamaków. W rozprawie Autor opisał również kilka reprezentatywnych eksperymentów tokamakowych oraz zaplanowaną drogę do uzyskania energii z procesu fuzji. Następnie przybliżona została czytelnikowi rola systemów diagnostycznych w eksperymentach gorącej plazmy tokamakowej ze szczególnym zwróceniem uwagi na systemy diagnostyki transportu zanieczyszczeń plazmy. Dokonano charakterystyki wybranych rozwiązań konstrukcyjnych. W dalszej części omówiony został system diagnostyki transportu zanieczyszczeń plazmy przeznaczony dla tokamaka WEST i wykazana została potrzeba stosowania bloków koncentratorów danych pomiarowych dużych rozmiarów w tego typu systemach. Autor przedstawił również obecnie wykorzystywane moduły koncentratorów danych w eksperymentach gorącej plazmy oraz w eksperymentach fizyki wysokich energii.

Kolejne rozdziały rozprawy opisują szczegółowo zaproponowany przez doktoranta model koncentratora, budowę oraz funkcjonalność każdego z elementów ze szczególnym uwzględnieniem sposobu ich implementacji w układzie FPGA, symulator modelu, implementację oraz przeprowadzone z udziałem autora badania całego systemu.

Każdy obszar poruszonej w pracy tematyki znalazł swoje umocowanie w przytoczonej literaturze, uwzględniając najnowszą światową wiedzę w wymaganym zakresie. Jedyne odwołanie do pozycji 10 wydaje się omyłkowe.

Stwierdzam zatem, iż wybór źródeł, które stanowią tło realizowanej pracy doktorskiej jest właściwy, świadczący o dobrej wiedzy i rozeznaniu Autora w tematyce doktoratu.

3. Rozwiązanie postawionego zagadnienia

Po dogłębnej analizie literatury oraz obecnie stosowanych rozwiązań, Autor skonfrontował stawiane wymagania z możliwością ich realizacji, co doprowadziło do postawienia tezy pracy: **„Możliwa jest agregacja danych oraz ich wielowymiarowe porządkowanie poprzez konfigurowalny model koncentratora danych w celu realizacji niskolatencyjnej diagnostyki promieniowania domieszek w plazmie dla tokamaka ITER z użyciem układów FPGA w elektronicznym systemie pomiarowym czasu rzeczywistego**

dedykowanym do pracy w pętli sprzężenia zwrotnego układu sterowania tokamakiem.”.

Autor wykazuje poprawność trzy poprzez spełnienie trzech celów:

- Opracowanie modelu niskolatencyjnego i parametryzowanego koncentratora danych, realizującego funkcje agregacji i wielowymiarowego porządkowania danych, z użyciem układu FPGA
- Opracowanie symulatora pozwalającego dobrać i ocenić jakościowo architekturę modelu pod kątem dopasowania jej do struktury danych oraz dostępnych zasobów w układzie FPGA
- Opracowanie i weryfikacja implementacji zaproponowanego modelu koncentratora danych w systemie diagnostyki gorącej plazmy tokamakowej, z wykorzystaniem detektora GEM dla tokamaka WEST.

Doktorant konsekwentnie realizuje postawione zadania. I tak, w rozdziale 8 opisuje autorski model koncentratora danych, jego strukturę, parametry i możliwości implementacji.

W rozdziale 9 – symulator opracowany w celu weryfikacji modelu. A w rozdziale 10 – implementację modelu w układzie FPGA xc7a200t ffg1156-2 firmy Xilinx.

Poprawność implementacji została zweryfikowana za pomocą testów z wykorzystaniem generatora wewnętrznego oraz rzeczywistego detektora GEM. Scenariusze eksperymentów były logiczne i właściwie dobrane. W podsumowaniu i wnioskach zawarto również trafne kierunki dalszych badań.

Doktorant wyczerpująco uzasadnił sposób postępowania na każdym etapie badań.

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

4. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek autora

W swojej rozprawie mgr inż. P.Kołasiński przedstawił jasno samodzielny i oryginalny wkład Autora, dotyczył on (str. 182):

1. opracowania modelu koncentratora danych pomiarowych przeznaczonego do implementacji w układzie FPGA i działającego w torze pętli sprzężenia zwrotnego układu sterowania tokamakiem;
2. zaproponowania formowania zdarzeń w ramki w celu ujednoczenia standardu transmisji i przechowywania informacji o zdarzeniach;
3. zaproponowania rozdzielenia ścieżek danych na ścieżkę danych pomiarowych podlegających buforowaniu i ścieżkę identyfikatorów zdarzeń podlegających procesowi sortowania;
4. zaproponowania rozdzielenia ścieżek krytycznych w identyfikatorze zdarzeń za pomocą układów buforujących;
5. zaproponowania symulatora do analiz obciążeniowych modelu w różnych konfiguracjach z uwzględnieniem danych pomiarowych;
6. zaproponowania odpowiedniego algorytmu sortującego dostosowanego do danych pomiarowych, eksperymentu i architektury układu FPGA.

W zakresie integracji modelu, implementacji w systemie diagnostycznym oraz przeprowadzonych badań wkład Autora dotyczył:

1. wykonania symulacji modelu na potrzeby implementacji,

2. konfiguracji modelu pod kątem dostępnych zasobów w układzie FPGA,
3. implementacji modelu w języku VHDL,
4. implementacji dodatkowych funkcjonalności na potrzeby prawidłowej integracji z istniejącym oprogramowaniem w układzie FPGA,
5. przeprowadzenia izolowanych i zautomatyzowanych testów funkcjonalnych modelu w środowisku ModelSim,
6. integracji modelu z istniejącym oprogramowaniem w układzie FPGA,
7. zaproponowania i implementacji generatora pulsów wewnętrznych na potrzeby testów obciążeniowych,
8. utworzenia skryptów generujących zdarzenia na podstawie wektorów wejściowych o zdefiniowanych rozkładach prawdopodobieństwa,
9. utworzenia skryptów do analizy danych pomiarowych zarejestrowanych przez system i weryfikacji wydajnościowej modelu.

Uzyskane rezultaty potwierdzają trafność zaproponowanego rozwiązania.

Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy, metodyki i stosowanych technik odzwierciedlonych w literaturze światowej jest aktualna.

5. Redakcja rozprawy

Rozprawa jest uporządkowana logicznie i napisana w sposób zrozumiały. Mgr Kolański jasno przekazał cel pracy, sposób przeprowadzenia badań oraz uzyskane wyniki. Wszystkie wykresy są czytelne i adekwatnie obrazują opisywane treści. Z wyjątkiem kilku drobnych błędów edytorskich redakcja pracy jest właściwa. Na podkreślenie zasługuje zamieszczenie wprowadzeń i podsumowań w poszczególnych rozdziałach, które znacznie zwiększają czytelny odbiór logiki uporządkowania treści.

Rozprawę oceniam pozytywnie.

6. Uwagi merytoryczne

Przedstawiona rozprawa nie posiada istotnych merytorycznie słabych stron. Cel pracy został osiągnięty, a wykonana praca ma istotne znaczenie dla pracy całego zespołu.

Niedosyt budzi opis części eksperymentalnej. Doktorant skupił się przede wszystkim na aspektach latencji i bezstratności danych przy znacznej liczbie przypadków i jest to zrozumiałe w kontekście tematyki pracy. Jeżeli jednak opisał eksperymenty mające zweryfikować działanie opracowanych układów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, to czytelnik mógłby oczekiwać zamieszczenia w pracy takich danych jak: aktywność wykorzystanego źródła ^{55}Fe , napięcie na lampie RTG (czyli rozkład energii fotonów), prąd lampy, ewentualnie rodzaj filtracji oraz odniesienia tych wartości do rzeczywistej sytuacji pracy detektora GEM przy tokamaku. Nie zamieszczono również żadnego zdjęcia - ani wykonanego układu ani zestawu eksperymentalnego, aczkolwiek jako usprawiedliwienie należy zauważyć, iż zamieszczone zostały odnośniki do odpowiednich pozycji literaturowych.

W podsumowaniu (str. 176) Autor stwierdza, iż testy trwające kilkadziesiąt minut pozwoliły na ocenę pracy koncentratora w dłuższym okresie czasu. Jak na układ mający pracować docelowo zapewne w reżymie 24/7, to dość odważne stwierdzenie.

7. Znaczenie pracy

Rozprawa opisuje uzyskane wyniki o dużym znaczeniu dla prowadzonych prac nad rozwojem tokamaków. Autor brał czynny udział w rozwoju systemu diagnostyki plazmy dla tokamaka WEST, a opisywany układ został w praktyce zastosowany na potrzeby badań przy tym urządzeniu.

Wyniki badań zostały opublikowane w ponad 50 publikacjach, a doktorant jest głównym autorem 15 z nich.

Zaprojektowany i wykonany układ może być zastosowany w kolejnych eksperymentach, na co pozwala zwłaszcza jego wysoka uniwersalność. W Tabeli 22 mgr inż. P.Kolasiński przedstawił podsumowanie możliwości technicznych analogicznych systemów diagnostycznych, jednoznacznie wskazując przewagi swojego układu.

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.



