

Warszawa, dnia 4.08.2023 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, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE
KOSMICZNE POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Development of Phase Reference Distribution Systems of Linear Particle Accelerators with Femtosecond Stability.

Autor rozprawy: mgr inż. Maciej Urbański

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej z dnia 23 maja 2023 roku oraz pismo Przewodniczącego Rady z dnia 26 maja 2023r. w tej sprawie.

1. Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy.

Przedstawiona rozprawa dotyczy rozwoju systemów precyzyjnej synchronizacji liniowych akceleratorów cząstek elementarnych. Autor pracy przedstawił szereg układów, w których opracowaniu brał udział, przy czym jego osobisty wkład został w pracy jasno określony.

Opisane urządzenia zostały zastosowane w akceleratorach do celów naukowych, instalowanych w dużych ośrodkach badawczych: ESS w Lund (Szwecja) oraz XFEL, FLASH2020+ i SINBAD w ośrodku DESY w Hamburgu (Niemcy). Opracowana metodyka projektowania pozwala na adaptację opisanych rozwiązań i ich wykorzystanie w układach sterowania kolejnych generacji akceleratorów.

W przedstawionej rozprawie Autor opisuje problematykę budowy i optymalizacji konstrukcji systemów generacji i dystrybucji sygnałów wysokiej częstotliwości. Szczególną wagę Doktorant przywiązuje do syntezy sygnału referencyjnego o ultra-niskim poziomie szumów fazowych oraz do krótko- i długo-terminowej stabilności fazy. Omawia wpływ stosowanych elementów systemu dystrybucji na pogarszanie się parametrów sygnałów referencyjnych. Wskazuje na wpływ parametrów środowiskowych na stabilność pracy układów RF, co m.in.

przełożyło się na projekt praktycznego rozwiązania minimalizującego wpływ temperatury i drgań mechanicznych w budowanych systemach.

Opisywana tematyka jest niezwykle aktualna we współczesnych układach sterowania akceleratorów, w których oczekuje się femtosekundowej synchronizacji elementów i podzespołów rozłożonych na obszarze kilkudziesięciu czy też kilkuset metrów.

Opracowane układy oraz sposób realizacji ich budowy i optymalizacji zostały przez Autora opisane w sposób wyczerpujący, z zastrzeżeniem wynikającym z podpisanych umów międzynarodowych, tzn. aby na podstawie rozprawy nie można było odtworzyć omawianych urządzeń.

Przedstawiona praca ma charakter doświadczalny.

2. Analiza źródeł i stanu wiedzy.

W przedstawionej rozprawie Autor uwzględnił 104 źródła, zawierające pozycje książkowe, publikacje w czasopismach naukowych, materiały konferencyjne, raporty i odnośniki do stron internetowych oraz prace magisterskie i doktorskie. Nazwisko Doktoranta pojawia się przy 8 pozycjach.

W części wstępnej pracy mgr inż. M. Urbański przybliży czytelnikowi zasadę działania akceleratorów cząstek wysokiej częstotliwości, wskazując potrzebę precyzyjnego sterowania ich parametrami m.in. poprzez układy LLRF (ang. *Low Level RF*) w oparciu o PRDS (ang. *Phase Reference Distribution System*). Kolejny rozdział zawiera wybrane zagadnienia teoretyczne dotyczące propagacji sygnałów oraz zjawisk szumów i niestabilności amplitudy i fazy sygnałów, ograniczone do zakresu wymaganego przez tematykę pracy. Autor omawia następnie poszczególne podzespoły i elementy układu PRDS oraz ich potencjalny wpływ na zachowanie parametrów całego systemu. Ta część pracy zakończona jest omówieniem rodzajów stosowanych detektorów mocy i fazy sygnałów w.cz. oraz metod kompensacji degradacji parametrów sygnałów wprowadzanych przez kable w.cz.

Doktorant przechodzi następnie do opisu ośrodków DESY i ESS oraz wymagań stawianych współczesnym układom sterowania i synchronizacji.

Dalsza część pracy zawiera opis układów zbudowanych przez Autora lub z udziałem Autora oraz uzyskane wyniki.

Wszystkie poruszone tematy znalazły swoje umocowanie w przytoczonej literaturze, z uwzględnieniem najnowszej światowej wiedzy w wymaganym zakresie.

Podsumowując, stwierdzam, iż wybór źródeł, które stanowią tło realizowanej pracy doktorskiej jest właściwy, świadczący o dobrym rozeznaniu Autora w tematyce doktoratu.

3. Rozwiązanie postawionego zagadnienia

Po dokonaniu analizy literatury oraz obecnie stosowanych rozwiązań, Autor opisuje ścieżkę realizacji opisywanych urządzeń od koncepcji poprzez projekt po wykonanie i uzyskane wyniki. Ponieważ w swojej rozprawie Doktorant przedstawił kilka różnych systemów, oceniając je zbiorczo należy stwierdzić, iż prezentują one najnowszy stan wiedzy w omawianym zakresie. Rozprawa stanowi kompendium wiedzy na temat granic i możliwości obecnych technik i technologii w zakresie PRDS i innych zbliżonych aplikacji. Opracowane

urządzenia oferują istotnie lepsze parametry niż najlepsze na rynku rozwiązania komercyjne. W podsumowaniu i wnioskach pracy zawarte zostały kierunki potencjalnego rozwoju urządzeń i opracowanej metodyki z zastosowaniem ich w innych eksperymentach i akceleratorach. Podsumowując, uważam, że Doktorant uzasadnił sposób postępowania, czerpiąc z literatury i doświadczeń zespołu przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy i rozwiązał postawione zagadnienia, stosując właściwe dla przedmiotu badań metody.

4. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek autora

Poziom rozprawy jest adekwatny do obecnego stanu wiedzy, metodyki i stosowanych technik odzwierciedlonych w literaturze światowej.

W swojej rozprawie mgr inż. M. Urbański przedstawił jasno samodzielny i oryginalny wkład Autora. Udowodnił szeroką wiedzę i doświadczenie w obszarze układów mikrofalowych. Na podkreślenie zasługuje „inżynierskie” podejście do pojawiających się wyzwań.

Doktorant opracował szereg układów, w tym:

- elementy PRDS dla XFEL,
- moduły MO (ang. *Master Oscillator*), FCM (ang. *Frequency Conversion Module*) i DISM (ang. *distribution module*) dla FLASH2020+, co stanowi główną część pracy
- elementy PRDS na częstotliwość 162.5MHz.
- elementy PRDS dla SINBAD.

Wkład Doktoranta w poszczególnych systemach był różny, ale dla głównych elementów pracy był on autorem koncepcji, projektu konstrukcyjnego oraz nadzorował przebieg realizacji i prowadził testy wykonanych urządzeń.

Opis kilka mniejszych projektów, związanych z tematyką doktoratu, znajduje się w dodatku do pracy (Appendices).

5. Redakcja rozprawy

Rozprawa jest uporządkowana logicznie i napisana w sposób zrozumiały. Doktorant jasno przekazał cel pracy, sposób przeprowadzenia badań oraz uzyskane wyniki, z zastrzeżeniem poufności szczegółów konstrukcyjnych. Wszystkie wykresy są czytelne i adekwatnie obrazują opisywane treści.

Kilka drobnych błędów, takich jak:

- 1) Rozwinięcie skrótu PRDS dopiero na str. 21
- 2) Odwołanie do Fig. 10 poniżej rysunku
- 3) Błąd we wzorze (2.53) – powinno być K_{MOD} zamiast K_{MO}
- 4) Prawdopodobny brak odnośnika w podpisie pod Fig. 31

nie umniejsza wartości pracy.

Największe zastrzeżenia redakcyjne dotyczą bibliografii, przy kilku pozycjach zabrakło pełnych odnośników, tytułów czasopism, daty ukazania się publikacji, daty dostępu. Doktorant uzupełnił te braki w prywatnej korespondencji.

Rozprawę jako całość oceniam pozytywnie.

6. Inne uwagi

-

7. Znaczenie pracy

Całokształt działań Doktoranta był konsekwencją rzeczywistych potrzeb, wynikających z realizacji ambitnych projektów akceleratorowych. Instalacja układów w DESY i przy akceleratorze ESS potwierdza najwyższy światowy poziom opracowanych rozwiązań i świadczy o tym, jak ważną pracę wykonał Autor.

Zaprojektowane układy mogą być z powodzeniem zastosowane również w innych akceleratorach, a opracowana metodyka pozwala na dalszy rozwój konstrukcji w miarę pojawiania się na rynku nowych podzespołów.

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

Podsumowanie:

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Macieja Urbańskiego spełnia wymagania formalne przepisów o rozprawach doktorskich, wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.