

Dariusz Bocian, dr hab., prof. IFJ PAN
Instytut Fizyki Jądrowej PAN
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

Kraków, 14.08.2023 r.

WPŁYNEŁO
dn..... 2023 -09- 05

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Macieja Urbańskiego zatytułowanej: **„Development of Phase Reference Distribution Systems of Linear Particle Accelerators with Femtosecond Stability”**

Recenzja ww. rozprawy doktorskiej została wykonana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z dnia 26.05.2023r. Recenzowana rozprawa została zrealizowana w Zakładzie Układów i Aparatury Mikrofalowej Instytutu Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Krzysztof Czuba, profesor uczelni.

1. Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy

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

Po zakończeniu konstrukcji i uruchomieniu w 2008 roku Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC – *Large Hadron Collider*) w CERN, Szwajcaria, nastąpił na świecie bardzo dynamiczny okres rozwoju nowych akceleratorów liniowych, w tym przede wszystkim urządzeń dedykowanych badaniom multidyscyplinarnym. W Europie w ostatnim dziesięcioleciu zbudowano i uruchomiono europejski rentgenowski laser na swobodnych elektronach (E-XFEL - *European X-ray Free Electron Laser*) w DESY, Niemcy (2017) oraz rozpoczęto budowę europejskiego źródła spalacyjnego (ESS – *European Spallation Source*) w Lund, Szwecja (2014). W obu tych wielkich europejskich przedsięwzięciach znaczący wkład wniosły i nadal wnoszą polskie zespoły badawczo-inżynierskie, w tym też Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej Pan mgr inż. Maciej Urbański.

Tematyka pracy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Urbańskiego dotyczy rozwoju technologii systemów precyzyjnej synchronizacji liniowych akceleratorów cząstek elementarnych. Systemy generacji i dystrybucji sygnałów synchronizacji są niezwykle istotne dla właściwego i zgodnego z bardzo wymagającą specyfikacją techniczno-użytkową działania akceleratora. Rozprawa ma charakter doświadczalno-konstrukcyjny, nie zawiera tez, natomiast zawiera jasno sformułowane i dobrze określone cele.

Celem głównym pracy była identyfikacja krytycznych komponentów dużych systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia oraz opracowanie nowych metod umożliwiających synchronizację na poziomie femtosekundowym wielu urządzeń wysokiej częstotliwości (w. cz.). Autor omawia wyniki swoich badań na podstawie prac wykonanych dla europejskiego rentgenowskiego lasera na swobodnych elektronach E-XFEL (*European X-ray Free Electron Laser*), akceleratorowej infrastruktury testowej technologii TESLA - FLASH (*Freie-eLectronen LASer in Hamburg*), prototypu linku do kompensacji dryftów fazy sygnałów oraz eksperymentu SINBAD (*Short INnovative Bunches and Accelerators at DESY*). Drugim z celów tej rozprawy było rozwinięcie technologii i uniwersalnych metod projektowania nowoczesnych podzespołów systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia, przy uwzględnieniu szeregu efektów, takich jak: stabilizacja temperaturowa, hermetyczność, ekranowanie, zagadnienia mechaniczne oraz podatność na czynniki środowiskowe np. drgania. W przyszłości rozwinięte technologie oraz metody projektowania mają pomóc przyszłym projektantom

takich i podobnych systemów między innymi zminimalizować niestabilności fazy sygnału. Oba wskazane cele tej rozprawy zostały osiągnięte. W rozprawie opisano systemy i podzespoły dla generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia oraz opracowano nowe metody umożliwiające synchronizację na poziomie femtosekundowym wielu urządzeń w. cz. dla infrastruktur akceleratorowych w DESY i ESS, jak również przedstawiono rozwinięcie technologii i uniwersalnych metod projektowania dla nowoczesnych podzespołów systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia, uwzględniając szereg efektów termicznych, elektromagnetycznych i środowiskowych.

2. Analiza źródeł i stanu wiedzy

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 104 źródła, zawierające pozycje książkowe, publikacje w czasopismach naukowych, raporty techniczne i odnośniki do stron internetowych. Autor wskazuje 10 pozycji literaturowych w których albo był pierwszym autorem albo partycypował w nich jako współautor. Obszerne wprowadzenie teoretyczne do tematu rozprawy oraz opis podstawowych zjawisk mających wpływ na podzespoły i wydajność systemu generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia stanowi prawie 30% objętości pracy.

Stwierdzam, że źródła zostały dobrane właściwie i logicznie oraz należycie wykorzystane w tekście. Każdy obszar poruszony tematyki został dobrze wsparty literaturą zawierającą najnowszą światową wiedzę w wymaganym zakresie. Wprowadzenie teoretyczne i wybór źródeł świadczy o dobrej wiedzy i rozeznaniu Autora w tematyce doktoratu.

3. Rozwiązanie postawionego zagadnienia

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

W recenzowanej rozprawie doktorskiej przedstawiono kompletną ścieżkę badawczą. W części teoretycznej rozprawy dokonano przeglądu dostępnej literatury i na jej podstawie opisano najważniejsze zagadnienia systemów generacji i dystrybucji sygnałów synchronizacji, model propagacji sygnału, rodzaje zaburzeń wpływających na wydajność sygnału oraz metody kompensacji dryftu fazy w liniach transmisyjnych w. cz. W części doświadczalno-konstrukcyjnej przedstawiono wyniki prac dla poszczególnych akceleratorów i eksperymentów. Dla infrastruktury E-XFEL Autor zaprojektował prototyp zautomatyzowanego modułu odbiornika dla linku interferometrycznej kompensacji fazy, który to link umożliwił 200-krotną kompensację dryftu fazy z 10 ps do 50 fs. Jednocześnie Autor zaprojektował, wykonał i przetestował ultra niskoszumowy moduł referencyjnego dzielnika częstotliwości w. cz. Rezultaty tych prac przedstawiono między innymi na wykresach w rozdziale 4 pracy. Zasadniczą część pracy doświadczalno-konstrukcyjnej w latach 2020-2022, stanowi kompletne unowocześnienie systemu generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia w infrastrukturze FLASH2020+. Unowocześniony system pozwala na 10 fs sygnał referencyjny co stanowi znaczącą, ponad 5 krotną, poprawę w stosunku do starego systemu. Ponadto Autor wykonał szereg prac dla prototypu linku do kompensacji dryftów fazy sygnałów, na które złożyło się: projekt struktury systemu, obliczenia budżetu w. cz. i symulacyjna weryfikacja koncepcji systemu. Autor zaprojektował też system dystrybucji sygnałów odniesienia w eksperymencie SINBAD. Z powodu bardzo wysokich wymagań w specyfikacji projektu przeanalizował kluczowe ograniczenia podzespołów systemu dystrybucji sygnałów odniesienia, które bezpośrednio limitowały długo-terminową stabilność fazy sygnału referencyjnego.

Stwierdzam, że w przedstawionej rozprawie Pan mgr inż. Maciej Urbański właściwie rozwiązał postawione zagadnienia, wyczerpująco uzasadnił sposób postępowania na każdym etapie badań, przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy i osiągnął zamierzony przez siebie cel.

4. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek autora

Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową.

Tematyka badań prowadzonych przez Pana mgr inż. Macieja Urbańskiego w jego pracy doktorskiej jest aktualna. Osiągnięte wyniki są nową wiedzą i mają duży potencjał aplikacyjny. Temat pracy został wybrany prawidłowo. Zagadnienia w przedstawionej rozprawie są niezwykle złożone i wymagają zaangażowania różnych zespołów fachowców przez dłuższy okres czasu. Niemniej jednak w rozprawie Autor wyraźnie zaznaczył swój wkład do badań prowadzonych E-XFEL, FLASH2020+, prototypu linku do kompensacji dryftów fazy sygnałów oraz eksperymentu SINBAD. Oryginalnym dorobkiem autora w tej pracy jest projekt prototypu zautomatyzowanego modułu odbiornika dla linku interferometrycznej kompensacji fazy oraz ultra niskoszumowy moduł referencyjny dzielnika częstotliwości w. cz. dla projektu E-XFEL; projekt struktury systemu, obliczenia budżetu w. cz. i symulacyjna weryfikacja koncepcji systemu dla prototypu linku do kompensacji dryftów fazy sygnałów oraz projekt systemu dystrybucji sygnałów odniesienia w eksperymencie SINBAD. Stwierdzam, że treść zawarta w rozprawie odpowiada kryteriom pracy doktorskiej w zakresie samodzielnego i oryginalnego dorobku Autora.

5. Redakcja rozprawy

Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Praca ma 176 stron, zawiera 8 rozdziałów głównych podzielonych na podrozdziały. Praca posiada ponadto 9-ty rozdział zawierający 4 załączniki. Praca napisana jest w języku angielskim. Układ rozdziałów i ich zawartość należy uznać za prawidłowy. Ocenie nie podlegały język, poprawność stylistyczna oraz gramatyczna pracy. Praca jest napisana językiem zrozumiałym.

W rozdziale 1 – Wstęp – Autor przedstawił krótkie wprowadzenie do akceleratorów cząstek, ze wskazaniem, że Autor w swojej pracy skupi się na akceleratorach liniowych. Bardzo dobre poglądowe wprowadzenie do zagadnień poruszanych w pracy doktorskiej jest przedstawione na rys. 2. Dalsza część wstępu jest poświęcona wprowadzeniu do zasadniczego tematu rozprawy, czyli systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia w akceleratorach liniowych. Rozprawa nie zawiera też, przedstawia ona opis rozwiązań złożonego problemu badawczo-technicznego. W podrozdziale 1.2 przedstawione są cele rozprawy. Rozdział 2 zawiera wprowadzenie teoretyczne do tematu rozprawy oraz opis podstawowych zjawisk mających wpływ na podzespoły i wydajność systemu generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia. Rozdział trzeci poświęcony jest opisowi głównych założeń systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia wybranych infrastruktur akceleratorowych w DESY (FLASH, E-XFEL i SINBAD) i Lund (ESS).

Najważniejszą częścią pracy są rozdziały 4, 5, 6 i 7. Zawierają one element twórczy, który stanowi około 50% objętości pracy. Rozdziały te szczegółowo przedstawiają opis rozwiązań dla poszczególnych akceleratorów (FLASH, E-XFEL), eksperymentu (SINBAD) oraz prototypu linku do kompensacji dryftów fazy sygnałów.

Rozdział 8 przedstawia wnioski wyciągnięte z poszczególnych etapów realizacji badań naukowych, zaś rozdział 9 zawiera informacje dodatkowe.

Autor nie uchronił się przed kilkoma niedociągnięciami, z których za najbardziej istotne uważam: (1) brak dobrego wyjaśnienia informacji, którą niesie ze sobą wykres przedstawiony na rys. 1. Wykres przedstawia jak nowe idee i nowe technologie pozwalały na zwiększanie energii wiązki oraz porównuje energię, która byłaby potrzebna w eksperymentach na stałej tarczy do energii potrzebnej eksperymentach z wiązkami przeciwbieżnymi. Biorąc pod uwagę tylko kryterium wzrostu energii

zderzeń to dominują akceleratory z wiązkami przeciwbieżnymi (np. TEVATRON, LHC). Natomiast biorąc pod uwagę intensywność wiązki oraz multidyscyplinarność prowadzonych badań to zdecydowanie dominują cyklotrony i akceleratory liniowe.

(2) podsumowanie i konkluzje umieszczone są w rozdziale 8 a nie rozdziale 9 jak jest to napisane w podrozdziale 1.3.

(3) brak odnośnika internetowego w pozycji [13].

(4) brak jest wyjaśnień niektórych skrótów jak np. TTF. W pracy brakuje bardzo tabeli skrótów i ich objaśnień.

6. Znaczenie pracy

Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżyniersko-technicznych?

Wyniki badań prowadzonych dla europejskiego rentgenowskiego lasera na swobodnych elektronach E-XFEL, akceleratorowej infrastruktury testowej technologii TESLA - FLASH, prototypu linku do kompensacji dryftów fazy sygnałów oraz eksperymentu SINBAD miały duże znaczenie dla ośrodka akceleratorowego DESY. Identyfikacja krytycznych komponentów dużych systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia oraz opracowanie nowych metod umożliwiających synchronizację na poziomie femtosekundowym wielu urządzeń w. cz. ma również znaczenie dla nowobudowanej infrastruktury ESS.

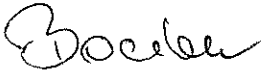
Rozwinięcie technologii i uniwersalnych metod projektowania dla nowoczesnych podzespołów systemów generacji i dystrybucji sygnałów odniesienia, uwzględniając szereg efektów takich jak: stabilizacja temperaturowa, hermetyczność, właściwe ekranowanie, zagadnienia mechaniczne oraz podatność na czynniki środowiskowe jak np. drgania jest kluczowe dla dalszego rozwoju technologii akceleratorowych oraz technologii pochodnych rozwijanych m.in. dla przemysłu i medycyny. Autor słusznie zauważa, że w przyszłości rozwinięte technologie oraz metody projektowania mogą pomóc przyszłym projektantom takich i podobnych systemów między innymi zminimalizować niestabilności fazy sygnału.

7. Do której z wymienionych 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**

Wniosek końcowy

Pomimo wystąpienia kilku niedociągnięć, praca prezentuje materiał o dużej wartości poznawczej, wskazującej na oryginalne i twórcze podejście do problematyki przedstawionej w celach rozprawy. Poziom zawartego w pracy materiału i zaprezentowane wyniki spełniają warunki stawiane rozprawom doktorskim. Podsumowując, stwierdzam że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Urbańskiego spełnia warunki określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 ze zm.) i wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Macieja Urbańskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


.....
podpis recenzenta