

WPLYNEŁO

dn..... 2023 -11- 0 8 .....

dr hab. inż. Waldemar SUSEK, prof. WAT  
Wojskowa Akademia Techniczna  
Wydział Elektroniki  
Instytut Radioelektroniki, Zakład Mikrofal

Warszawa, 6 listopada 2023 r.

*RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY  
NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I  
TECHNOLOGIE KOSMICZNE  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ*

Tytuł rozprawy: **Selected Methods of Improving Precision of Superconducting Linear Particle Accelerators Control System**

Tytuł Polski: **Wybrane metody poprawy precyzji sterowania nadprzewodzącymi liniowymi akceleratorami cząstek**

Autor rozprawy: **mgr inż. Igor RUTKOWSKI**

Recenzję przygotowano w związku z uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 27.06.2023 r. oraz pismem Przewodniczącego Rady Naukowej prof. dr. hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 06.09.2023 r. Recenzja została przygotowana zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016, poz. 882).

**Pkt 1.**

Mgr inż. Igor Rutkowski w przedstawionej rozprawie doktorskiej „*Selected Methods of Improving Precision of Superconducting Linear Particle Accelerators Control System*” porusza ważne dla techniki, nauki i inżynierii zagadnienia związane z pracą akceleratorów cząstek takich jak lasery na swobodnych elektronach (FEL), które obecnie stanowią najnowocześniejsze maszyny wytwarzające koherentne promieniowanie rentgenowskie dla materiałoznawstwa, fizyki, biologii, chemii i innych zastosowań. FEL wymagają bardzo stabilnej i powtarzalnej wiązki elektronów (zbioru naładowanych cząstek o znacznej energii kinetycznej). Do stabilizacji pola wykorzystywany jest między innymi system sterowania częstotliwością fali elektromagnetycznej z wykorzystaniem pasma podstawowego sygnału. Dyplomant podjął się trudnego zadania między innymi zbadania wpływu parametrów szumowych układów elektronicznych wchodzących w skład systemów sterowania polem elektromagnetycznym liniowych akceleratorów cząstek, ze szczególnym uwzględnieniem systemów LLRF (Low-Level Radio Frequency).

Doktorant zdefiniował w pracy trzy cele do osiągnięcia rozwiązując problemem badawczy jakim jest możliwość poprawy stałości parametrów wiązki elektromagnetycznej przyspieszającej elektrony w nadprzewodzących wnękach rezonansowych. Poprawę tą zrealizował poprzez równoczesną korekcję odpowiedzi impulsowej systemu regulującego pole wprowadzając sprzężenie wprzód bazującego na informacji z systemu detekcji ładunku wiązki oraz zmniejszenie szumów własnych detektora pola.

Pierwszy z nich obejmował sprawdzenie parametrów zaproponowanej architektury sterowania pod kątem optymalizacji odpowiedzi impulsowej w jednownękowych systemach CW LLRF.

Drugim celem realizacji pracy było eksperymentalne ustalenie zależności pomiędzy poziomami mocy sygnałów na wejściu mieszacza a szumem fazowym na jego wyjściu.

Trzeci cel to opracowanie nowej metody ilościowego określania wtrąceniowego szumu fazowego w elementach elektronicznych.

W mojej ocenie Doktorant pomieszał pojęcia celu pracy i tez badawczych. Cel pracy można było jasno zdefiniować na podstawie przedstawionego problemu badawczego, natomiast w celu jego rozwiązania, opisane przez Doktoranta cele pracy powinny stać się tezami lub hipotezami, jako pytaniami szczegółowymi, które w czasie realizacji badań powinny być udowodnione.

## **Pkt 2.**

W rozprawie zamieszczono 81 pozycji literaturowych z czego Doktorant jest współautorem 17 pozycji. W pracy w sposób jak najbardziej właściwy przywołano poszczególne pozycje literaturowe, korespondują one z treściami zamieszczonymi w rozprawie i pozwalają na rozszerzenie wiedzy z omawianego zagadnienia jak i na weryfikację przekazywanych w rozprawie informacji. Na liście pozycji literaturowych znajdują się opracowania fundamentalne dotyczące dziedziny wiedzy poruszanej w doktoracie. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że Autor rozprawy przeprowadził w sposób właściwy analizę źródeł literaturowych i zapoznał się ze stanem wiedzy w dziedzinie analizy i projektowania układów sterowania polem elektromagnetycznym liniowych akceleratorów cząstek, co świadczy o posiadaniu przez niego dużego zasobu wiedzy na ten temat.

### **Pkt. 3.**

Autor rozprawy po zapoznaniu się z istniejącymi metodami poprawy parametrów pracy akceleratorów cząstek poprzez stabilizację pola elektromagnetycznego za pomocą metody LLRF i po przeanalizowaniu ich zalet i wad przedstawił własne rozwiązanie zwiększenia stabilizacji pola w rezonatorach akceleratora liniowego. Z analizy treści zawartych w rozprawie oraz przywoływanej przez Autora literatury wynika, że większość wykonanych przez Doktoranta badań miała charakter doświadczalny. Były to przede wszystkim pomiary szumów fazowych i amplitudowych, które były wykonywane w skonstruowanych przez Doktoranta stanowiskach pomiarowych. Badania odpowiedzi impulsowej systemu regulującego pole elektromagnetyczne przyspieszające elektrony w nadprzewodzących wnękach rezonansowych bez oraz po zastosowaniu sprzężenia wprzód bazującego na informacji z systemu detekcji ładunku wiązki były wykonywane w akceleratorze liniowym ELBE. W związku z tym należy stwierdzić, że do rozwiązania problemu badawczego przyjęto metodę eksperymentalną. Jest to właściwie przyjęta metoda badawcza a przyjęte założenia są uzasadnione.

### **Pkt 4.**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Igora Rutkowskiego jest niewątpliwie rozprawą oryginalną. Oryginalność ta przejawia się przede wszystkim w tym że:

- Wprowadzono nową metodę poprawy stabilności pola elektromagnetycznego przyspieszającego elektrony w nadprzewodzących wnękach rezonansowych poprzez równoczesną korektę odpowiedzi impulsowej systemu regulującego pole oraz zmniejszenie szumów detektora pola elektromagnetycznego.
- Przeprowadzono badania eksperymentalne, których wyniki potwierdzają poprawę odpowiedzi impulsowej systemu po zastosowaniu powyższej metody.
- Udowodniono tezę w badaniach eksperymentalnych o nieliniowym i niemonotonicznym wpływie mocy sygnału oscylatora lokalnego na poziom szumów fazowych na wyjściu mieszacza pasywnego wykorzystującego diody Schottky'ego.
- Zaproponowano metodę estymacji wtrąceniowych szumów fazowych syntezerów częstotliwości opartą o estymację modułu transmitancji szumów fazowych oraz przeprowadzono praktyczną weryfikację tej metody.

Analizy i wyniki analiz przedstawione w rozdziałach 3,4 i 5 stanowią samodzielny i oryginalny dorobek Autora rozprawy, które ponad to zostały udokumentowane publikacjami (poz. bibliografii 75, 76, 78). Rozprawa doktorska mgr. inż. Igora Rutkowskiego stanowi pozycję

rozszerzającą stan wiedzy i poziom techniki raportowany w literaturze światowej, a dotyczący tematyki stabilizacji pracy liniowych akceleratorów cząstek.

#### **Pkt 5.**

Jeżeli chodzi o poprawność redakcyjną, zwięzłość, jasność i przekonywujące przedstawienia przez siebie uzyskanych wyników to należy to ocenić krytycznie. Całość rozprawy, zarówno jej lektura jak i układ sprawia wrażenie, jakby powstała ona z luźno sklejonych treści z różnych artykułów, których autorem lub współautorem jest Doktorant.

W strukturze rozprawy brakuje natomiast metodycznego podejścia do planowania i realizacji badań w postaci:

- jasnego zdefiniowania celu pracy oraz tezy lub hipotez,
- definicji zakresu pracy wraz z zadaniami cząstkowymi, które były niezbędne do realizacji w celu udowodnienia tezy,
- jasnego sformułowania własnych i oryginalnych efektów badań podkreślających samodzielne i oryginalne rozwiązanie problemu badawczego

Recenzent lub czytelnik muszą poszukiwać tych informacji nie tylko z samego tekstu rozprawy ale także z analizy treści przywoływanych w niej publikacji. Rozdziały 2.21 i 2.2.2 stanowią niejasną pozycją w strukturze rozprawy: czy opisywane w nich kwestie należą do stanu techniki czy opracowań własnych.

W treści rozprawy można znaleźć także uwagi co do części merytorycznej, a mianowicie:

- Rozdział 2.5 str. 38 wzór (2.34). W mierze decybelowej definiowanej jako  $20\log_{10}$  błędem jest podnoszenie modułu  $H(j\omega)$  do kwadratu,
- Dlaczego przy opisie quasi harmonicznego sygnału we wzorze (2.11) użyto podwójnej częstości oscylacji tego sygnału  $2\omega_0$ ?
- Brak w pracy objaśnienia do używanego skrótu PI na str. 19 prawdopodobnie (Proportional and Integral)
- Na str. 42 Dyplomant stwierdza, że „... rysunku 3.6 wynika, że kształt obwiedni impulsu wiązki jest taki sam jak w przypadku przebiegów pola RF przedstawionych na rysunku 3.1. oraz 3.2. Tak samo trudno ocenić stwierdzenie, że „Po zaniku wiązki pole RF oscyluje, zaczynając od początkowego skoku niezależnego od wzmocnienia regulatora PI, jak to widać na rys. 3.6”
- W jakim sensie, według jakiego kryterium sformułowano końcowe stwierdzenie rozdziału 3.2 na str. 42, że „poprawia i ulepsza odpowiedź skokową systemu sterowania LLRF?

- W pracy w rozdziale 2 i 3 analizowany jest mieszacz pasywny na przykładzie diody. Można domyślać się, że, dotyczy to jednej diody. Konstrukcje mieszaczy mogą być bardziej złożone np. pojedynczo- (dwie diody), podwójnie- (cztery diody) czy potrójnie- (osiem diod) zrównoważone, co oczywiście wpływa na ich parametry.
- Układ przemiany częstotliwości w odbiornikach superheterodynowych powinien być tak konstruowany aby z punktu widzenia sygnału podlegającego przemianie można go było traktować jako czwórnik liniowy, mimo, że do jego pracy wymagany jest element z charakterystyką nieliniową. Aby to było możliwe moc oscylatora lokalnego powinna być na odpowiednim poziomie mocy bezwzględnej, jak również w stosunku do mocy sygnału wejściowego. W związku z tym charakterystyki przedstawione na rys. 4.6 nie wnoszą nowych informacji, potwierdzają jedynie jakie warunki powinny być spełnione aby uzyskać jak największą liniowość pracy mieszacza i wynikają z danych katalogowych układu.
- W rozdz. 4.1.1 oraz 4.1.2 - przedstawiono pomiary dwóch konkretnych komercyjnie dostępnych układów mieszaczy. Czy Doktorant dowodzi ogólnych naukowych tez pracy poprzez pomiar pojedynczego zakupionego elementu, który ma ściśle określoną strukturę diodowego układu mnożącego? Jeżeli taki dowód jest niezbędny i jest częścią pracy to czy dowiedzenie postulowanych zależności szumowych nie powinno być zrealizowane poprzez badania analityczne i wyprowadzenie ogólnej zależności?

#### **Pkt 6.**

Pomimo zauważonych nieścisłości i dyskusji polemicznych stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska ma istotne znaczenie dla nauk inżynieryjno-technicznych a szczególnie dla technik stabilizacji pola w akceleratorach cząstek. Jak wspomniano na wstępie, lasery na swobodnych elektronach (FEL), które wytwarzają koherentne promieniowanie rentgenowskie mają duże znaczenie praktyczne w badaniach naukowych z obszaru materiałoznawstwa, fizyki, biologii, chemii i innych zastosowań. Przedstawione w niniejszej rozprawie metody stabilizacji pola EM wypełniają lukę w zakresie analizy szumowej układów elektronicznych ze względu na szumy typu  $1/f$ , których pochodzenie nie jest jeszcze do końca wyjaśnione i opisane. Przedstawione badania eksperymentalne poszerzają więc zakres wiedzy w tym obszarze. Niniejsza rozprawa ma również znacznie praktyczne, ponieważ zaproponowano w niej uproszczoną metodę pomiarów szumów fazowych ze szczególnym uwzględnieniem składnika  $1/f$  co ma duże znaczenie dla praktyki inżynierskiej.

## Pkt 7.

Rozprawę zaliczam do następującej kategorii:

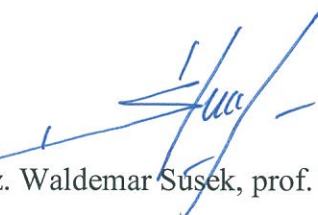
- a) nie spełnia wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) **spełnia wymagania**
- d) spełnia wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

## Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Igora Rutkowskiego spełnia kryteria oryginalności rozwiązania problemu naukowego i umiejętności prowadzenia pracy badawczej sformułowane w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*. Doktorant wykazała się wysokim poziomem wiedzy teoretycznej, oraz odpowiednimi kompetencjami badawczymi. Warto podkreślić, że wynik prowadzonych przez Doktoranta może być aplikowany do już działających akceleratorów cząstek.

Z uwagi na to, że przewód doktorski był wszczęty przed terminem 30.04.2019 r. osiągnięcia naukowe Doktoranta w zakresie dyscypliny **elektronika** w pełni wpisują się w osiągnięcia naukowe w dyscyplinie **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**.

Mając powyższe na uwadze wnoszę o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Igora Rutkowskiego do publicznej obrony.

  
dr hab. inż. Waldemar Susek, prof. WAT