



WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,
TELEKOMUNIKACJI
I INFORMATYKI

Katedra Systemów Mikroelektronicznych

prof. dr hab. inż. Stanisław Szczepański
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Budnarowskiej pt. *Symulacyjne badania numeryczne wnikania impulsów elektromagnetycznych dużej mocy do małej obudowy ekranującej z perforacją technologiczną - skuteczność ekranowania wnętrza obudowy przed impulsami elektromagnetycznymi*

Niniejszy dokument zawiera recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Budnarowskiej, Doktorantki w Katedrze Elektroniki Morskiej na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Przedstawiona przez Doktorantkę do oceny rozprawa pt. *Symulacyjne badania numeryczne wnikania impulsów elektromagnetycznych dużej mocy do małej obudowy ekranującej z perforacją technologiczną - skuteczność ekranowania wnętrza obudowy przed impulsami elektromagnetycznymi* została zrealizowana pod opieką naukową prof. dr. hab. inż. Jerzego Mizeraczyka (promotor) oraz dr. inż. Ryszarda Studańskiego (promotor pomocniczy). Umocowaniem prawnym sporządzenia dokumentu jest zawiadomienie pisemne z dnia 11.10.2024 roku, jakie otrzymałem od Dziekana Wydziału Elektrycznego UMG, dotyczące wyznaczenia mojej osoby na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora zainteresowanej. Rozprawa została oceniona zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2023 r. poz. 724).

1. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została przygotowana w języku polskim w formie monografii zawierającej 254 stron. Składa się z dziesięciu rozdziałów merytorycznych i rozdziału jedenastego z wnioskami końcowymi. Pełne opracowanie zaczyna się rozszerzonym streszczeniem, co ułatwia czytelnikowi szybkie zapoznanie się z zakresem badań zaprezentowanych w rozprawie. Lekturę pracy ułatwia dołączony wykaz ważniejszych oznaczeń i

skrótów, spis rysunków z opisami oraz zestaw wybranych 63 pozycji z literatury przedmiotu. Doktorantka przedstawiła także listę 21 publikacji naukowych własnych.

Struktura pracy wyraźnie dzieli się na dwie części: pierwsza zawiera treści ogólne, druga merytorycznie dotyczy zagadnień związanych z problemami symulacji zaburzeń elektromagnetycznych (EM). Rozdział 1 wprowadza czytelnika w podejmowaną tematykę badawczą, zawiera motywację oraz uzasadnienie prowadzenia badań z postawioną tezą oraz jej celami. W tym rozdziale podano także podstawowe informacje dotyczące klasyfikacji naturalnych i intencjonalnych zaburzeń elektromagnetycznych dużej mocy oraz opisano metody ekranowania promieniowania EM z ukierunkowaniem na obudowy ekranujące. Ponadto omówiono definicje skuteczności ekranowania obiektów chronionych przed promieniowaniem EM. Wprowadzono dwie formuły globalnej efektywności ekranowania, odrębnie dla pola elektrycznego oraz dla pola magnetycznego. W następnym rozdziale 2 zaprezentowano opis komercyjnego środowiska symulacyjnego pod nazwą *CST Studio Suite*, przydatnego do prowadzenia wielostronnych badań, w tym symulacji oddziaływania promieniowania EM na obiekty trójwymiarowe (3D). Choć można się zgodzić, że Autorka w sposób racjonalny wybrała metodę symulacji numerycznych to w tekście rozprawy kilkakrotnie pojawia się stwierdzenie: "środowisko symulacyjne *CST Studio Suite* radzi sobie z tym przypadkiem". Należałoby tutaj podać raczej konkretne kryteria w ramach których dokonana zostanie ewaluacja wyników uzyskanych przy pomocy symulatora. Uważam, że samo stwierdzenie "radzi sobie" nie jest odpowiednim dla pracy doktorskiej. W kolejnym rozdziale 3 przedstawiono propozycję prostopadłościenną metalowej obudowy ekranującej z perforacją technologiczną o kształcie prostokątnego otworu w przedniej ścianie obudowy, wybranej na użytek badań jako obiekt symulowanego ataku subnanosekundowego impulsu płaskiej fali EM. W rozprawie wielokrotnie pojawiają się określenia "małej lub niewysokiej" obudowy (np. na stronie 5). Stwierdzenia tego typu nie są precyzyjne. Na podstawie opisów zawartych w rozprawie trudno jest się domyślić w stosunku do czego przyjęte wymiary obudowy są "małe" bądź "niewysokie". W ostatnim rozdziale 4 należącym do części pierwszej opisano charakterystykę wybranego do symulacji zaburzającego subnanosekundowego impulsu płaskiej fali EM o kształcie gaussowskim. Parametry tego impulsu zgodnie z danymi z literaturowymi są zbliżone do parametrów najbardziej prawdopodobnych intencjonalnych zaburzeń elektromagnetycznych.

Rozdział 5 wprowadza czytelnika do drugiej części rozprawy, w większości poświęconej badaniom symulacyjnym z wykorzystaniem oprogramowania dostępnego w pakiecie *CST Studio Suite*. W tym rozdziale przedstawiono model fizyczny oddziaływania impulsu EM z powierzchniami metalowymi, który opracowano na podstawie literaturowej wiedzy empirycznej. Z kolei w rozdziale 6 zaprezentowano istotne wyniki z przeprowadzonych przez Doktorantkę badań symulacyjnych procesu wnikania EM impulsu zaburzającego do metalowej obudowy z otworem oraz rozwoju pola EM w jej wnętrzu dla przypadku impulsu o polaryzacji pionowej. Na podstawie uzyskanych wyników przedstawiono autorski model wnikania impulsu

elektromagnetycznego o polaryzacji pionowej do wnętrza obudowy z otworem. W następnym rozdziale 7 zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych procesu wnikania EM impulsu zaburzającego do metalowej obudowy z otworem oraz rozwoju pola EM w jej wnętrzu dla przypadku impulsu zaburzającego o polaryzacji równoległej. Podobnie jak dla polaryzacji pionowej, opracowano model procesu wnikania impulsu elektromagnetycznego o polaryzacji równoległej do wnętrza obudowy z otworem. W rozdziale 8 podjęto próbę uzyskania wyników testowych oraz ich wizualizacji 3D i 2D rozwoju pola EM wewnątrz obudowy ekranującej z perforacją technologiczną dla przypadku impulsu zaburzającego z tzw. polaryzacją skręconą. W rozdziale 9 przedstawione zostały wyniki analizy skuteczności ekranowania wnętrza obudowy z otworem. Skupiono się na lokalnej i globalnej skuteczności ekranowania obiektów chronionych przed promieniowaniem EM. Opisano zalety map globalnej skuteczności ekranowania. W rozdziale 10 zawarto uwagi dotyczące walidacji wyników symulacji numerycznych. Rozdział 11 zawiera podsumowanie i wnioski końcowe pracy doktorskiej.

Pomimo pewnych niedociągnięć uważam, że poszczególne części rozprawy, a także rozdziały i sekcje są większości jednoznacznie wyróżnione i określone. Rysunki, zależności oraz tabele, są odpowiednio ponumerowane i wskazane w tekście. Treść całej pracy jest przemyślana i odpowiednio uporządkowana. Zastosowano język prosty i zrozumiały dla czytelnika, a terminologia jest właściwa dla podjętego tematu. Skróty i oznaczenia są stosowane konsekwentnie. Do stylu piśmiennictwa także nie mam większych zarzutów, oczywiście Autorka nie uniknęła tzw. "literówek" czy drobnych błędów językowych, ma je one jednak charakter incydentalny. Podsumowując: układ pracy jest właściwy, zrozumiały, spójny i logiczny.

2. Teza oraz ocena celu pracy kandydata do stopnia doktora

W niniejszej pracy doktorskiej zawarto następującą tezę: *Możliwe jest określenie skuteczności antyelektromagnetycznego ekranowania wnętrza niewysokiej metalowej obudowy z perforacją technologiczną na podstawie analizy symulacji procesu wnikania subnanosekundowego impulsu płaskiej fali EM dużej mocy do jej wnętrza.* Chociaż tak zdefiniowana teza jest wystarczająco jasna to niewielkie zastrzeżenie nasuwa się w postaci pytania dlaczego Doktorantka nie zdefiniowała jej w sposób bardziej ogólny. W pracy naukowej bardziej naturalnym podejściem wydaje się formułowanie stosunkowo ogólnych tez lub hipotez, co zapewnia autorom/autorkom swego rodzaju elastyczność z punktu widzenia ich udowodnienia. Bardziej ogólne tezy pozwalają także na potencjalne generalizowanie uzyskanych wyników.

Zdefiniowany w rozprawie cel naukowy znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w poszczególnych rozdziałach pracy i jest w istocie doprecyzowaniem przedstawionej powyżej tezy. Poprzez realizację wielu zadań oraz testów Doktorantka konsekwentnie dążyła do pogłębionego poznania mechanizmów wnikania subnanosekundowego impulsu płaskiej fali EM do wnętrza metalowej obudowy ekranującej i rozwoju w nim pola elektromagnetycznego jak również do określenia ilościowej oceny skuteczności ekranowania wnętrza obudowy przed tym

impulsem. Uważam, że do realizacji zadań celu badawczego oraz udowodnienia tezy rozprawy doktorskiej Autorka w sposób racjonalny wybrała metodę symulacji numerycznych. Szkoda, że swoich osiągnięć uzyskanych w procesie symulacji nie próbowała poprzeć, chociaż w części, wynikami z badań eksperymentalnych.

3. Ocena zastosowanej metody badawczej i osiągniętych wyników

Współcześnie w badaniach zjawisk szeroko pojętego elektromagnetyzmu często wykorzystuje się zaawansowane technologicznie narzędzia komputerowe do symulacji numerycznych określanych terminem elektromagnetyka obliczeniowa, z ang. *Computational Electromagnetic* (CEM). Z takim podejściem wybrane przez Doktorantkę środowisko *CST Studio Suite* firmy Computer Simulation Technology oferuje szerokie możliwości symulacji pełnych struktur 3D w paśmie od pojedynczych herców do pasma optycznego. Może być użyte także do realizacji innych zadań, np. do projektowania, analizy oraz optymalizacji zarówno pojedynczych elementów jak i złożonych urządzeń elektronicznych. Uważam, że Doktorantka w swojej pracy kompetentnie wykorzystwała możliwości operacyjne wybranego oprogramowania komputerowego.

W mojej ocenie, uzyskane przez Doktorantkę wyniki z prac badawczych są interesujące zarówno od strony poznawczej, jak i aplikacyjnej. Istotnym osiągnięciem jest pogłębione rozpoznanie mechanizmów wnikania i rozwoju pola EM indukowanego wewnątrz metalowej obudowy ekranującej wywołane działaniem subnanosekundowego impulsu płaskiej fali EM. Przeprowadzone badania wykazały, że zarówno w przypadku polaryzacji pionowej, jak i równoległej, impuls zaburzający inicjuje we wnętrzu obudowy z otworem serię sprzężonych ze sobą pól elektrycznych i magnetycznych tworzących ciąg subnanosekundowych EM impulsów wewnętrznych, rozchodzących się od otworu do tylnej ściany obudowy. Wyniki symulacji rozkładów pola elektrycznego i magnetycznego, ładunku elektrycznego i prądu powierzchniowego na ścianach zewnętrznych obudowy pozwoliły na analizę zjawisk elektromagnetycznych, które mają wpływ na procesy zachodzące we wnętrzu obudowy i na ich podstawie opracowanie autorskich modeli wnikania impulsu zaburzającego do wnętrza obudowy dla polaryzacji pionowej i równoległej.

W obu przypadkach polaryzacji impulsu zaburzającego, powstają podobne ciągi subnanosekundowych EM impulsów wewnętrznych. Stąd ważne spostrzeżenie Doktorantki o znaczeniu praktycznym: pomimo ekranowania amplitudy EM impulsów wewnętrznych mogą być dostatecznie duże, aby spowodować niepożądane oddziaływania elektromagnetyczne wewnątrz badanej obudowy. Wynika z tego także wniosek, że zastosowanie obudowy z perforacją może być tylko pozorną ochroną przed zewnętrznym subnanosekundowym impulsem EM. Uważam jednak, że pełne potwierdzenie znaczenia praktycznego uzyskanych wyników wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań eksperymentalnych.

Podsumowując uważam, że przedstawione przez Doktorantkę wyniki badań symulacyjnych mechanizmów wnikania i rozwoju pola EM wewnątrz obudowy ekranującej z

otworem oraz analizy skuteczności ekranowania wnętrza obudowy przed impulsem zaburzającym potwierdzają, że postawiona teza została udowodniona a cel pracy osiągnięty. W podsumowaniu rozprawy Autorka swoje najważniejsze wyniki wyszczególniła w 11 punktach, podkreśliła nowe aspekty przeprowadzonych badań, a także wskazała kierunki dalszych prac, w tym potrzebę kontynuowania badań z zastosowaniem metod optymalizacyjnych.

4. Podsumowanie

Pomimo pewnych niedostatków uważam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Budnarowskiej stanowi spójne i istotne pod względem naukowym podejście do problemu symulacyjnych badań numerycznych w zakresie oddziaływań pól elektromagnetycznych. Zaprezentowany w pracy przegląd literatury, dobór i realizacja wielu zróżnicowanych zadań badawczych oraz analiza uzyskanych wyników potwierdzają, że Doktorantka nie tylko jest rozeznana w podjętej tematyce ale posiada wiedzę i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Należy podkreślić, że wyciągnięcie właściwych wniosków i udowodnienie przyjętej tezy wymagało wiedzy i wygenerowania oraz interpretacji dużej liczby danych, uzyskanych w wielowątkowym procesie badań. Uważam, że istotnym osiągnięciem Doktorantki jest również liczba 10 opublikowanych współautorskich prac naukowych powiązanych z rozprawą, w tym 3 artykułów w czasopismach z listy JCR.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska spełnia wymagania określone w art.187 ust. 1-4 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2023 r. poz. 724). **Dlatego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy mgr inż. Magdaleny Budnarowskiej do publicznej obrony.** Jednocześnie mając na uwadze znaczenie praktyczne uzyskanych wyników, a także ponadprzeciętną liczbę opublikowanych przez Doktorantkę artykułów naukowych (także spoza zakresu rozprawy) wnoszę o wyróżnienie przedstawionej pracy doktorskiej.

Gdańsk, 4 listopada 2024 r.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Stanisław Szczęśliwi'.