

Poznań, dn. 2025-03-22

Dr hab. inż. Dorota Stachowiak
Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Politechnika Poznańska

**Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej**

Tytuł rozprawy: **Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego oraz zwarciovego**

Autor rozprawy: **mgr inż. Sebastian Łapczyński**

Promotor: **dr hab. inż. Łukasz Kolimas, profesor uczelni**

Podstawą do sporządzenia niniejszej recenzji była Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej nr 907/II/2024 z dnia 10 grudnia 2024 r. Recenzja została sporządzona zgodnie z zaleceniami przekazanymi przez Politechnikę Warszawską oraz zgodnie z art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 ze zm.).

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Łapczyńskiego dotyczy modelowania zjawisk fizycznych występujących w układach stykowych oraz torach prądowych w warunkach znamionowych i zwarciovych w wybranych aparatach elektrycznych niskiego oraz średniego napięcia.

Głównym celem badań było zbudowanie modeli oraz wykonanie symulacji w celu badania zjawisk fizycznych związanych z przepływem prądu znamionowego i zwarciovego przez układy stykowe, tory prądowe aparatów elektrycznych i urządzeń rozdzielczych. Wykonane modele i symulacje miały wiernie odtwarzać warunki rzeczywistych eksperymentów.

Autor pracy sformułował następującą główną tezę badawczą: *„Istnieje możliwość badania zjawisk fizycznych związanych z przepływem prądu znamionowego i zwarciovego przez aparaty elektryczne i urządzenia rozdzielcze z wykorzystaniem szczegółowych, wiarygodnych modeli 3D oraz symulacji wykorzystujących metodę elementów skończonych. Istnieje możliwość badania zjawisk fizycznych związanych z techniką łączenia realizowaną*

przez aparaty elektryczne i urządzenia rozdzielcze na drodze symulacyjnej z dużą zbieżnością wyników.”

Dodatkowe szczegółowe tezy obejmują:

- Możliwość badania sił elektrodynamicznych w układach stykowych i torach prądowych z wykorzystaniem modeli 3D i symulacji MES.
- Możliwość analizy zjawisk termicznych w torach prądowych aparatów elektrycznych i urządzeń rozdzielczych z dużą zgodnością wyników już na etapie projektowania.
- Budowanie wiarygodnych modeli do analizy zjawisk elektromagnetycznych, mechanicznych i elektromechanicznych.
- Możliwość prototypowania urządzeń elektrycznych na podstawie wyników symulacyjnych i eksperymentalnych.

Moim zdaniem, zagadnienie naukowe, cel i tezy rozprawy zostały sformułowane przez Autora dostatecznie jasno. Cel badań jest konkretny i odnosi się do modelowania zjawisk fizycznych związanych z przepływem prądu znamionowego i zwarciovego przez aparaty elektryczne i urządzenia rozdzielcze. Główna teza jest klarowna i wskazuje na możliwość badania tych zjawisk za pomocą metod symulacyjnych z dobrą zgodnością wyników. Szczegółowe tezy rozwijają główną tezę, precyzując rodzaje zjawisk i elementów, które były przedmiotem badań. Autor precyzyjnie przedstawił zakres badań, ich cel oraz główne hipotezy, a także uzasadnił wybór metodyki badawczej.

Podsumowując, uważam, że teza i cel rozprawy zostały prawidłowo sformułowane i są zbieżne z tematyką i zakresem rozprawy.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

Załączony wykaz literatury obejmuje 110 pozycji, w tym jedną z udziałem Doktoranta. Autor recenzowanej rozprawy dokonał szerokiego przeglądu literatury, obejmującego zarówno klasyczne prace teoretyczne, jak i najnowsze badania dotyczące układów stykowych i torów prądowych. W szczególności odniósł się do kluczowych publikacji międzynarodowych dotyczących zjawisk fizycznych w zestykach i torach prądowych. Przedstawił aktualne trendy w modelowaniu numerycznym, w tym zastosowanie Metody Elementów Skończonych (MES) oraz technologii Digital Twin. Uwzględnił szeroką gamę zagadnień – od oddziaływań elektrodynamicznych po aspekty termiczne i mechaniczne, bazując na publikacjach z renomowanych czasopism, takich jak IEEE Access, Energies i Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences.

Autor nie ograniczył się jedynie do analizy akademickiej, ale także zidentyfikował luki w dotychczasowych badaniach, wskazując na niedostateczne uwzględnienie symulacji numerycznych w ocenie układów stykowych. Ponadto omówił praktyczne aspekty projektowania urządzeń elektrycznych, na przykład w kontekście optymalizacji komór gaszeniowych, czy poprawy skuteczności styków w rozłącznikach wysokiego napięcia. Doktorant zaprezentował nowatorskie rozwiązania technologiczne, które znalazły odzwierciedlenie w zgłoszeniach patentowych (np. mikropompa magnetomotoryczna, wyzwalacz elektromagnetyczny, mufa elektrotechniczna).

Podsumowując, analiza źródeł w rozprawie została przeprowadzona w sposób kompleksowy i zgodny z wymogami pracy naukowej. Autor nie tylko przedstawił przegląd literatury, ale również umiejętnie osadził swoje badania w kontekście współczesnych osiągnięć nauki i przemysłu. Odniesienia do międzynarodowych publikacji oraz praktyczne zastosowanie wyników wskazują na wysoki poziom merytoryczny rozprawy.

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

Doktorant skutecznie rozwiązał postawione zagadnienia, stosując właściwe metody badawcze i uzasadnione założenia. Autor skoncentrował się na analizie zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego i zwarciovego. W ramach badań:

- opracował modele numeryczne (3D) układów stykowych i torów prądowych aparatów elektrycznych;
- przeprowadził symulacje zjawisk fizycznych (elektrodynamicznych, termicznych, mechanicznych) z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES);
- porównał wyniki symulacji z danymi eksperymentalnymi, co pozwoliło na ich weryfikację i uwiarygodnienie;
- proponował nowe rozwiązania konstrukcyjne, co zaowocowało zgłoszeniami patentowymi (np. wyzwalacz elektromagnetyczny, mikropompa magnetomotoryczna).

Metodologia badawcza została dobrana w sposób adekwatny do rozwiązywanego problemu. Zastosowanie Metody Elementów Skończonych (MES) umożliwiło przeprowadzenie szczegółowych symulacji numerycznych i analizy parametrów układów stykowych oraz torów prądowych. Eksperymenty laboratoryjne pozwoliły na porównanie wyników symulacji z rzeczywistymi pomiarami. Zastosowanie technologii Digital Twin do modelowania układów elektromechanicznych przyspieszyło proces analiz i obniżyło koszty badań. Metody te są szeroko stosowane w inżynierii elektrycznej i ich wybór jest w pełni uzasadniony.

Autor w sposób rzetelny i kompleksowy podszedł do rozwiązania postawionego problemu. Wykorzystane metody są odpowiednie, a przyjęte założenia dobrze uzasadnione zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym. Uwzględnienie różnych rodzajów zjawisk fizycznych (elektrodynamika, termika, mechanika) pozwoliło na kompleksowe podejście do analizy torów prądowych i układów stykowych. Wyniki pracy zostały zweryfikowane eksperymentalnie, co potwierdza ich wiarygodność.

Doktorant rozwiązał postawione zadania, zastosował właściwie metody badawcze, przeprowadził badania symulacyjne i eksperymentalne. Przedstawione wyniki teoretyczne jak i pomiarowe świadczą o poprawności analiz i użytych metod pomiarowych. **Podsumowując, uważam, że przyjęte w rozprawie założenia są poprawne i uzasadnione.**

4. 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?

Oryginalność rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Łapczyńskiego polega na nowatorskim podejściu do analizy zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych aparatów elektrycznych niskiego i wysokiego napięcia i jego napięcia podczas przepływu prądu znamionowego oraz zwarciovego, z wykorzystaniem szczegółowych modeli symulacyjnych 3D i Metody Elementów Skończonych (MES).

Rozprawa cechuje się odpowiednim poziomem naukowym. Autor wykazał się dużą samodzielnością w realizacji badań. Do najważniejszych, oryginalnych osiągnięć Autora zaliczam:

- Opracowanie i wykorzystanie szczegółowych, wiarygodnych numerycznych modeli symulacyjnych do badania zjawisk fizycznych związanych z przepływem prądu znamionowego i zwarciovego przez aparaty elektryczne i urządzenia rozdzielcze. Modele te wiernie odtwarzały warunki rzeczywistych eksperymentów.
- Innowacyjne przedstawienie symulacji oddziaływań elektrodynamicznych w aparatach elektrycznych niskiego i wysokiego napięcia. W pracy zaproponowano szereg modyfikacji konstrukcji w celu analizy działania badanych aparatów i wyjaśniono ich sens fizyczny.
- Zastosowanie nowatorskiej technologii Digital Twin do analizy symulacyjnej sił elektrodynamicznych w rozłączniku wysokiego napięcia, co pozwoliło na uzyskanie wyników z bardzo złożonych modeli w znacznie krótszym czasie w porównaniu do klasycznych metod MES.
- Wykonanie oryginalnych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem własnoręcznie przygotowanych stanowisk badawczych.
- Prototypowanie wiarygodnych konstrukcji urządzeń elektromechanicznych, elektrycznych i elektronicznych na podstawie wyników eksperymentalnych i symulacji MES. Efektem tych prac jest zgłoszenie rozwiązań patentowych nowatorskich urządzeń, takich jak: mikropompa magnetomotoryczna, wyzwalacz elektromagnetyczny, reluktancyjny mechanizm udarowy, mufa elektrotechniczna, urządzenie do pomiaru rezystywności gruntu oraz urządzenie zmniejszające czas wyłączania łuku elektrycznego.

Recenzowana praca stanowi istotny wkład w rozwój nauki i techniki, m.in. wypełnia lukę badawczą w analizie sił elektrodynamicznych w układach stykowych wysokiego napięcia, gdyż dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na układach niskonapięciowych lub ograniczały się do uproszczonych analiz statycznych. Ponadto wprowadza nowatorskie podejście do modelowania numerycznego, łącząc klasyczne metody MES z technologią Digital Twin, co pozwala na szybsze i bardziej precyzyjne projektowanie urządzeń elektrycznych. Zaproponowane rozwiązania mogą być wdrożone w nowoczesnych aparatach elektrycznych, co potwierdzają zgłoszenia patentowe.

Podsumowując, Autor poprzez swoje badania pogłębia zrozumienie zjawisk fizycznych zachodzących w aparatach elektrycznych, co ma bezpośrednie przełożenie na możliwość projektowania bardziej efektywnych, niezawodnych i ekonomicznych urządzeń. Jego praca stanowi znaczący wkład w dziedzinę inżynierii elektrycznej, oferując

zarówno nowe metody analizy, jak i konkretne rozwiązania techniczne, które mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle.

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

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Łapczyńskiego składa się z cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych oraz patentów pod wspólnym tytułem „Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego oraz zwarciovego”. Zawiera omówienie osiągnięć naukowych opublikowanych w 11 artykułach oraz 5 uzyskanych patentach. Rozprawa doktorska zawiera 286 stron oraz składa się z 5 rozdziałów, przy czym w rozdziale 5 zamieszczono kopię 11 publikacji oraz 5 patentów, których współtwórcą jest Doktorant.

Przedłożona rozprawa została zredagowana w sposób jasny i przejrzysty oraz odpowiednio zilustrowana. Kluczowe zagadnienia (modelowanie, symulacje, analizy eksperymentalne) są przedstawione w sposób uporządkowany i czytelny. Wyniki badań są dobrze uzasadnione, Autor odwołuje się do literatury, wyników symulacyjnych i badań eksperymentalnych, co podnosi wiarygodność przedstawionych analiz. Autor w sposób zwięzły, jasny i przekonujący przedstawił uzyskane wyniki. Logiczna argumentacja, dobrze dobrane ilustracje i poprawność redakcyjna sprawiają, że rozprawa spełnia wysokie standardy naukowe.

W trakcie zapoznawania się z treścią rozprawy nasunęło mi się kilka pytań i uwag o charakterze dyskusyjnym. Odpowiednie uwagi zamieściłam poniżej, w podziale na dwie części: uwagi dyskusyjne oraz uwagi redakcyjne.

Uwagi dyskusyjne:

W ramach dyskusji poproszę Doktoranta o wyjaśnienie poniżej wymienionych uwag:

1. Na ile dokładnie wyniki symulacji MES i Digital Twin pokrywają się z danymi eksperymentalnymi? Czy występują jakieś istotne różnice między wynikami numerycznymi a pomiarami laboratoryjnymi?
2. Brakuje szerszej dyskusji na temat dokładności i ewentualnych ograniczeń zastosowanych metod pomiarowych. Jakie błędy pomiarowe mogły wpłynąć na końcowe wyniki i czy zostały one uwzględnione w analizie?
3. Czy zaproponowane modele numeryczne i rozwiązania konstrukcyjne są uniwersalne czy dotyczą tylko określonych typów aparatów elektrycznych?
4. Jakie są ograniczenia stosowania technologii Digital Twin w badaniach układów elektrycznych? Czy istnieją jakieś ograniczenia obliczeniowe, które mogą wpłynąć na dokładność modelowania?
5. Chociaż Autor przeprowadził szeroki przegląd literatury, brakuje bardziej szczegółowego porównania uzyskanych wyników z wcześniejszymi badaniami – np. pod kątem różnic w skuteczności zastosowanych metod symulacyjnych

i eksperymentalnych. W czym nowatorskie podejście Autora przewyższa dotychczasowe metody stosowane w literaturze światowej?

6. Autor przedstawił innowacyjne rozwiązania, jednak nie omówił szczegółowo potencjalnych barier we wdrażaniu zaproponowanych technologii (np. koszty produkcji, trudności technologiczne, zgodność z normami przemysłowymi). Jakie są potencjalne trudności we wdrażaniu zaproponowanych rozwiązań?
7. Jak można dalej rozwijać przedstawione modele i rozwiązania? Czy badania mogą mieć zastosowanie w nowoczesnych systemach energetycznych (np. sieciach inteligentnych – smart grid)? Proszę o podanie dalszych kierunków badań.

Drobne uwagi redakcyjne:

Praca nie jest pozbawiona niedociągnięć edytorsko-stylistycznych. Poniżej przedstawiłam uwagi dotyczące zauważonych uchybień i niejasności o charakterze redakcyjnym.

- W rozprawie występują drobne literówki, przykładowo: „zjawiska elektryczne – oddziaływania elektrodynamiczne” powinno być *oddziaływania elektrodynamiczne*; „eliminacją awarii oraz występowania nieporządných zjawisk fizycznych” powinno być *niepożądaných zjawisk fizycznych*.
- W pracy znaleźć można niespójności w wykazie literatury. Spis literatury powinien być zadeklarowany jednolicie dla całego wykazu.
- W rozprawie występują również drobne błędy gramatyczne, powtórzenia, oraz niezręczne sformułowania nieistotne dla jej oceny.

Wszystkie dostrzeżone błędy redakcyjne zostały zaznaczone w tekście i przekazane Autorowi, przy czym wskazane uchybienia nie wpływają na ostateczną pozytywną ocenę pracy.

6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Tematyka poruszana w pracy jest aktualna i ważna zarówno z naukowego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Wyniki badań przedstawione przez mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego są wartościowe przede wszystkim z poznawczego punktu widzenia. Praca przyczynia się do pogłębienia wiedzy na temat złożonych interakcji fizycznych zachodzących podczas przepływu prądów znamionowych i zwarciovych w aparatach elektrycznych. Autor podkreśla, że w niektórych przypadkach zaproponowany sposób modelowania jest jedynym możliwym do zrozumienia tych zjawisk. W rozprawie zaproponowano szereg modyfikacji konstrukcji aparatów elektrycznych, a ich działanie zostało przeanalizowane i wyjaśnione z punktu widzenia fizyki. Na podstawie przeprowadzonych badań Autor wraz z zespołem zgłosił rozwiązania patentowe nowatorskich urządzeń, takich jak mikropompa magnetomotoryczna, wyzwalacz elektromagnetyczny, reluktancyjny mechanizm udarowy, mufa elektrotechniczna, urządzenie do pomiaru rezystywności gruntu oraz urządzenie do zmniejszania czasu wyłączania łuku elektrycznego. Te opatentowane rozwiązania wskazują na praktyczne zastosowanie wyników rozprawy i mogą wpłynąć na rozwój nowych technologii.

Podsumowując, rozprawa doktorska mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego jest wysoce przydatna dla nauk technicznych, w szczególności w dziedzinie elektrotechniki i inżynierii materiałowej. Przyczynia się do pogłębienia wiedzy o złożonych zjawiskach fizycznych w aparatach elektrycznych, poprzez zaproponowanie nowatorskich metod modelowania i prototypowania, walidacji modeli za pomocą eksperymentów oraz opracowanie innowacyjnych rozwiązań technicznych o potencjalnym zastosowaniu przemysłowym.

7. Wniosek końcowy

W przedłożonej rozprawie mgr inż. Sebastian Łapczyński przedstawił oryginalne i wartościowe osiągnięcie naukowe. Wykazał się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych. Realizując cel pracy umiejętnie wykorzystał nowoczesne oprogramowanie pozwalające na polowe ujęcie zjawisk fizycznych zachodzących w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego oraz zwarciovego, a także zrealizował oryginalne badania eksperymentalne. Doktorant potrafi samodzielnie i poprawnie rozwiązywać trudne problemy naukowe i logicznie przedstawiać wyniki swoich badań.

Uważam, że opiniowana rozprawa przedstawiona w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 ze zm.). Do recenzji przedstawiona została praca spełniająca wymagania Art. 187 ust. 3 Ustawy, stanowiąca „zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych”.

W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie przez Radę Naukową Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej rozprawy pt. „Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego oraz zwarciovego” jako pracy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego do publicznej obrony pracy.

Dorota Stochowiak