

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Wiktorii Kalus pt.: „Eksperymentalne badania procesu generowania siły elektroadhezyjnej w kontekście zmiennych parametrów pracy padów”

opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Opolskiej, pismo z dnia 20.04.2023r. oraz na podstawie zlecenia RE00ST0012/D/2023 z dnia 26.04.2023r.

Tematyka rozprawy

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej są systemy elektroadhezyjne, z szczególnym uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa użytkowania tych urządzeń. Zdaniem doktorantki, kluczem do optymalizacji pracy systemów elektroadhezyjnych jest odpowiedni dobór materiałów konstrukcyjnych i sposób budowy padów, jak również modyfikacja algorytmu sterowania napięciem zasilania padów. Te aspekty, w opinii autorki, przyczyniają się do poprawy bezpieczeństwa personelu obsługującego system elektroadhezyjny, nie wpływając negatywnie na istotne parametry użytkowe tego typu urządzeń.

Doktorantka podjęła ambitne wyzwanie, polegające na zbadaniu zależności parametrów elektrycznych, dielektrycznych podłoża oraz materiału przyciąganego w kontekście systemów elektroadhezyjnych. Szczególną uwagę poświęciła zjawisku degradacji elektrod pod wpływem wysokiego napięcia zasilającego, które może prowadzić do występowania niepożądanych wyładowań zarówno zupełnych jak i niezupełnych pomiędzy elektrodami. Rozprawa zawiera także analizę skutków tych zjawisk.

Autorka skupiła się na budowie systemów elektroadhezyjnych, które są nie tylko efektywne, ale przede wszystkim bezpieczne dla personelu obsługującego. Rezultatem tych prac jest między innymi zgłoszenie patentowe, które otrzymało ochronę.

W swojej pracy, doktorantka w sposób szczegółowy przedstawiła także zagadnienie generacji toksycznego dla człowieka ozonu, powstającego w powietrzu podczas wyładowań niezupełnych. Kwestia ta jest istotna, biorąc pod uwagę aspekty zdrowotne personelu obsługującego systemy elektroadhezyjne.

Rozprawa doktorska zawiera również zapowiedź kontynuacji badań w przyszłości. Zaplanowano już badania dotyczące wpływu proponowanych gazów ochronnych na wartość generowanej siły elektroadhezyjnej. Znajduje się w niej również nawiązanie do wstępnych

badania, w których do optymalizacji wartości uzyskanej siły oraz redukcji ilości generowanego ozonu wykorzystano struktury nanowęglowe.

Podejmowane przez doktorantkę tematy są aktualne i istotne. Przeprowadzone badania otwierają drogę do opracowania nowych, oryginalnych rozwiązań, które mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w różnych dziedzinach techniki. Wybrane tematy badań oraz sformułowany cel pracy są oryginalne pod względem poznawczym i odpowiadają poziomowi rozprawy doktorskiej w dyscyplinie.

Ogólnie omówienie rozprawy

Niniejsza praca składa się ze: 140 stron, 6 rozdziałów oraz bibliografii oraz 2 załączników. Bibliografia jest niezwykle obszerna i zawiera 128 pozycji literaturowych. Dodatkowo praca posiada spis ilustracji (77), spis tabel (11), spis publikacji własnych (13), wykaz patentów (1) oraz 2 załączniki (Załącznik A - Oprogramowanie pomiarowe i sterujące w Matlabie oraz Załącznik B - Modelowanie danych w Matlabie) .

Praca rozpoczyna się od wprowadzenia do tematu, które zawiera opis podstaw fizycznych zjawiska elektroadhezji, motywacje badawcze, cel i zakres pracy, a także formułuje tezę rozprawy. Następnie, w drugim rozdziale, autorka dokonuje teoretycznego omówienia zjawiska elektroadhezji, prezentuje terminy związane z elektrostatyką i dielektrykami oraz przegląd literatury dotyczącej konstrukcji i działania padów elektroadhezyjnych. Przegląd literatury obejmuje również omówienie metod badań siły elektroadhezyjnej i jej modelowania, co stanowi solidne tło teoretyczne dla dalszej części pracy.

Trzeci rozdział skupia się na opisie autorskich padów elektroadhezyjnych i eksperymentalnych badań nad elektroadhezją przeprowadzonych przez autorkę. To pokazuje autorski wkład w rozwijającą się dziedzinę elektroadhezji.

Czwarty rozdział opisuje badania zjawisk elektroadhezji przeprowadzone za pomocą symulacji komputerowych przy użyciu oprogramowania ANSYS, co dodatkowo podkreśla nowoczesne i innowacyjne podejście autorki do badań.

Piąty rozdział zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych eksperymentów pod kątem bezpieczeństwa użytkowania systemu elektroadhezyjnego, co pokazuje, że autorka dokładnie rozważyła aspekt BHP.

Szósty i ostatni rozdział podsumowuje całość pracy i prezentuje wnioski wynikające z jej realizacji.

Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej tworzą spójną całość, a struktura pracy ułatwia czytelnikowi zapoznanie się z jej treścią. Praca jest napisana w jasny i zrozumiały sposób, przy użyciu odpowiednio dobranego słownictwa technicznego. Pełne zrozumienie

treści pracy ułatwia też bogata szata graficzna, składająca się z wielu ilustracji, tabel i wykresów. Praca zawiera również spis publikacji własnych i wykaz patentów.

Praca ta wykazuje solidne badanie literatury, a także przemyślane i dobrze zaprojektowane eksperymenty. Autorka pokazuje, że dokładnie przemyślała i analizowała wszystkie aspekty procesu generowania siły elektroadhezyjnej, co jest istotne dla rozwoju tej dziedziny badań.

Praca doktorska pt. "Eksperymentalne badania procesu generowania siły elektroadhezyjnej w kontekście zmiennych parametrów pracy padów" stanowi istotny wkład w dziedzinę badań nad elektroadhezą.

Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska prezentuje dogłębne zrozumienie tematyki elektroadhezyjnej i jej zastosowania, wprowadzając czytelnika w tę dziedzinę w sposób jasny i przystępny. Wykorzystana literatura została trafnie dobrana, obejmując zarówno publikacje z wiodących międzynarodowych czasopism naukowych, jak i czasopism polskich, materiałów konferencyjnych oraz monografii. Ponadto, zestawienie literatury jest aktualne, uwzględniając publikacje z ostatnich pięciu lat.

Przedstawiona praca prezentuje innowacyjne rozwiązania, które poprzez pomiar generowanych sił elektroadhezyjnych i możliwość zadawania ustalonych warunków początkowych pozwala na odpowiednie dobranie sposobu budowy padów elektroadhezyjnych oraz materiałów elementów konstrukcyjnych systemu. Rozważanie konstrukcji padów elektroadhezyjnych oraz materiałów wykorzystywanych w systemie elektroadhezyjnym jest istotne dla rozwoju tej technologii. Autorka dobrze radzi sobie z wykorzystaniem nowych technologii i innowacyjnych rozwiązań do poprawy bezpieczeństwa pracy personelu, jednocześnie zachowując kluczowe parametry użytkowe systemu, takie jak wartość generowanej siły elektroadhezyjnej czy gabaryty urządzenia. W pracy przedstawiono między innymi pady elektroadhezyjne wytwarzane z materiałów dielektrycznych i przewodzących technologią druku 3D.

Interesujące są również autorskie rozwiązania budowy pada, udokumentowane zgłoszeniem patentowym.

Opracowano również algorytm sterowania napięciem zasilania padów, pozwalający zapewnić bezpieczeństwo elektryczne i toksykologiczne personelu obsługującego system, przy jednoczesnym zachowaniu istotnych jego parametrów użytkowych.

Badania przeprowadzone w rozprawie obejmowały zarówno analizę parametrów elektrycznych i dielektrycznych podłoża oraz materiału przyciąganego, jak i zjawiska degradacji elektrod pod wpływem wysokiego napięcia zasilającego. Autorka skupiła się również na badaniu generacji ozonu, który jest toksyczny dla człowieka, a powstaje podczas wyładowań

niezapełnionych w trakcie pracy padów elektroadhezyjnych. Przeprowadzone badania mogą być wykorzystane do optymalizacji algorytmów sterujących procesem zasilania padów.

Przedstawione wnioski z badań potwierdzają postawioną tezę i stanowią istotny wkład naukowy. Autorka proponuje również dalsze badania, które skupią się na wpływie zastosowania gazów ochronnych na generowaną siłę elektroadhezyjną oraz na wykorzystaniu struktur nanowęglowych do optymalizacji siły generowanej i redukcji ilości generowanego ozonu. Te obszary badań poszerzą wiedzę i mają duży potencjał naukowy. Kierunki dla przyszłych badań, takie jak wpływ proponowanych gazów ochronnych na wartość generowanej siły elektroadhezyjnej i optymalizacja wartości siły i redukcji ilości generowanego ozonu za pomocą struktur nanowęglowych, są obiecujące i z pewnością przyniosą wartościowe wnioski.

Za najbardziej istotne osiągnięcia doktorantki uważam:

- konstrukcję układów do generowania siły elektroadhezyjnej z możliwością jej pomiaru w funkcji wybranych parametrów początkowych zasilania, docisku, czasu trwania poszczególnych sekwencji sterujących zasilania,
- badania symulacyjne określające uwarunkowania do optymalizacji wartości generowanej siły elektroadhezyjnej,
- opracowanie algorytmów zasilania padów elektroadhezyjnych w celu optymalizacji wartości generowanej siły elektroadhezyjnej,
- opracowanie konstrukcji pada elektroadhezyjnego znacząco podnoszącego bezpieczeństwo użytkownika systemu elektroadhezyjnego,
- analizę zjawiska generowania ozonu przez pady elektroadhezyjne,
- wstępne badania możliwości wykorzystania struktur nanowęglowych w konstrukcjach padów elektroadhezyjnych.

Uwagi do części merytorycznej

Lektura rozprawy doktorskiej skłoniła mnie do sformułowania kilku uwag krytycznych, które wymagają wyjaśnień doktorantki.

- W moim odczuciu - badania symulacyjne mogłyby w sposób bardziej pełny weryfikować wyniki badań eksperymentalnych,
- Badania eksperymentalne zjawiska generowania ozonu wykonano jedynie dla jednej konstrukcji pada.
- W badaniach eksperymentalnych przedstawiono również wpływ nanostruktur na zjawisko generowania ozonu. Dlaczego autorka przypuszcza, że zastosowanie nanostruktur może przynieść pożądane efekty?
- Czy uwzględniono wszystkie przypadki możliwych uszkodzeń elektrycznych pada – potencjalne drogi prądu powodujące uszkodzenie pada?

- Czy system elektroadhezyjny był testowany pod kątem zakłóceń elektromagnetycznych? Jeżeli tak, jakie środki zostały zastosowane, aby je ograniczyć?
- Czy uwzględniono wpływ różnorodności materiałów przyciąganych przez pad? Jak różne przyciągane materiały potencjalnie wpływają na wartość generowanej siły elektroadhezyjnej?
- Jakie wnioski wyciągnięto co do „znamionowego” napięcia zasilania padów elektroadhezyjnych? Jakie ograniczenia tu występują i jakie jest ich podłoże?
- W rozprawie nie omówiono potencjalnych ograniczeń w stosowalności systemów elektroadhezyjnych.

Uwagi edycyjne

W rozprawie występują drobne usterki redakcyjne. Szczegółową listę przedstawiono poniżej.

- W pracy często występuje sformułowanie „między czymś a czymś”. W tym przypadku nie stawiamy przecinka przed literą „a”;
- Rozdział 1.2 pierwszy akapit literówka w słowie „dielektrycznych”;
- Rozdział 2. pierwszy punkt w wymienianych czynnikach, brak przecinka pomiędzy „wilgotności [26] ciśnienia”;
- Rozdział 2. Str. 10 pierwsze zdanie, literówka w nazwisku „Culomba”, powinno być Coulomba;
- Tabela 2.1 kropka na końcu podpisu;
- Rozdział 2.1 str. 15, pierwszy akapit. Powinno być bez przecinka w zdaniu „między powierzchnią metaliczną, a powierzchnią półprzewodnika”;
- Rozdział 2.2 str. 22 punkt „przebiecia elektryczne w ciałach stałych”. Błędne sformułowanie w ostatnim zdaniu „przerwanie przepływu napięcia [42]” - powinno być prądu, nie napięcia;
- Rozdział 2.3 str. 23-25 licznie powtarzający się błąd w nazwisku „Culomb”, poprawna pisownia to Coulomb;
- Rozdział 2.3 str. 23 brak kropki na końcu zdania „Rezystywność objętościowa powyżej 10¹⁴ [Ω/cm] umożliwia projektowanie padów elektroadhezyjnych typu Culomba, natomiast, gdy rezystywność jest pomiędzy 10¹⁰ a 10¹² [Ω/cm] umożliwia projektowanie padów elektroadhezyjnych typu Johannes – Rahbek (J - R) [49]”;
- Rozdział 2.3 str. 24 w zdaniu „Efekt J-R występuje, gdy potencjał elektryczny jest przyłożony na granicy między powierzchnią metaliczną, a powierzchnią materiału półprzewodnikowego” - nie powinno być przecinka;
- Rozdział 2.3 str. 25 w zdaniu „Siła przyciągania generowana przez elektroadhezję typu J-R może być zatem podana [93] [41]:” nieprawidłowa kolejność cytowań;
- Rozdział 2.6 str. 32 niepoprawna numeracja tabeli w zdaniu „Poniżej przedstawiono tabelę 2.4 zawierającą poszczególne parametry w zależności od podstawowych grup.” Prawidłowy nr to 2.2. Poniżej w podpisie tabeli zbędna kropka na końcu podpisu;

- Rozdział 3.1 zbyt szeroko rozstawione podpisy pod rysunkami od 3.8 do 3.11;
- Rozdział 3.1 str. 50 brak kropki na końcu zdania” Na rysunku 3.13 przedstawiono pad elektroadhezyjny, na którym widać w powiększeniu napyłoną miedź oraz siatkę przewodzącą, wykonaną z miedzianego drutu o średnicy 0,2 mm”;
- Rozdział 3.3 str. 55 pierwszy punkt, podwójna spacja w zdaniu oraz brak przecinka na końcu „Transformator probierczy ZWARPOL typTP10-120 napięcie probiercze 50 Hz 144 kV” oraz w kolejnym punkcie również brak przecinka na końcu zdania „regulacyjny dzielnik napięcia ZWARPOL Typu DNR -150 napięcie pierwotne 150 kV 100 kV 100 MΩ”;
- Rozdział 4.1 str. 85 zbędna kropka na końcu podpisu pod rysunkiem 4.5 i 4.6;
- Rozdział 4.1 str. 87, ostatni akapit. Błędna numeracja rysunku. Powinno być rysunek 4.9;
- Rozdział 4.1 str. 88 rysunek 4.9. Podwójna spacja w podpisie rysunku „Rys. 4.9. Wyniki symulacji siły elektroadhezyjnej dla grubości warstwy dielektrycznej izolacji 0,3 mm”;
- Rozdział 4.2 str. 90 punkt pierwszy wymienionych wymiarów. Wymiary są oddzielone „x” „o wymiarach: 240 mm x 230 mm x 3 mm,” natomiast w poprzednim podrozdziale oddzielone są „/”. W tym samym punkcie brakuje przecinka na końcu zdania;
- Rozdział 4.2 str. 92 pierwszy akapit. Brak spacji w zdaniu „Najwyższy wynik otrzymano dla napięcia 10 kV, gdzie siła wynosiła ponad 1300N/m².”między 1300 a N/m²;
- Rozdział 4.3 str. 93 Dwa bardzo podobne zdania obok siebie. W rozdziale przedstawiono badania symulacyjne siły elektroadhezyjnej, zmieniającej się wraz ze zwiększającą się grubością materiału izolującego elektrody, na padzie elektroadhezyjnym. Badanie polegało na zaprojektowaniu pada oraz przeprowadzeniu symulacji zwiększania odległości materiału przyciąganego (papieru) od powierzchni pada.”;
- Rozdział 5.2 str. 102 błędna numeracja rysunku w zdaniu „Na rysunku 5.10 przedstawiono pad elektroadhezyjny podczas wyładowań występujących w kierunku uziemionej płyty.”. Prawidłowa numeracja to 5.6.

Wnioski końcowe

Powyższe uwagi krytyczne nie wpływają na merytoryczny aspekt rozprawy czy jej pozytywny odbiór. Sformułowane w recenzji uwagi mają w większości charakter dyskusyjny i nie umniejszają w żaden sposób wysokiej wartości recenzowanej rozprawy.

Dodatkowo na uwagę zasługuje fakt, iż Doktorantka jest autorką 13 publikacji naukowych, z których 1 stanowi publikację ze współczynnikiem Impact Factor, gdzie we wszystkich pełni rolę wiodącą. Jest ona także współautorką 1 patentu.

Natura osiągnięć pani magister inżynier **Wiktorii Kalus** stanowi znaczący wkład dla dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Sama autorka rozprawy wykazała się wiedzą oraz umiejętnością definiowania i rozwiązywania problemów naukowych, a także weryfikacją wybranych metod badawczych, co zostało udowodnione w pracy poprzez zastosowanie zarówno metody eksperymentalnej jak i symulacyjnej.

Uwzględniając dodatkowo dorobek publikacyjny doktorantki, na który składają się publikacje naukowe, uważam, że rozprawa ta zatytułowana „Eksperymentalne badania procesu generowania siły elektroadhezyjnej w kontekście zmiennych parametrów pracy padów” jest wolna od błędów merytorycznych czy istotnych błędów językowych i **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) oraz w art. 14 ust. 2 pkt. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (D. U. z 2017 r. poz 1789).** Wnoszę o dopuszczenie pani mgr inż. Wiktorii Kalus do publicznej obrony.

Domian Mozur