

Dr hab. inż. Dariusz Zieliński, prof. uczelni
Zakład Przetwarzania i Magazynowania Energii Elektrycznej
Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin
tel. 81 5384597; e-mail: d.zielinski@pollub.pl

Lublin, 05.01.2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafał Jacukowicz pt. „Opracowanie algorytmów optymalizujących wykorzystanie bateryjnych lub superkondensatorowych zasobników energii wraz z energoelektronicznymi układami konwersji mocy w systemie elektromobilnego transportu celem poprawy parametrów zasilania”

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Karkowskiej z dnia 15 października 2025 r.

1. Ocena problematyki rozprawy

Układy przekształtnikowe AC/DC współpracujące z magazynami energii elektrycznej znajdują obecnie szerokie zastosowanie, w szczególności w systemach integrujących trójfazowe sieci dystrybucyjne z odnawialnymi źródłami energii oraz w procesie elektryfikacji transportu. Pomimo dużej dostępności rozwiązań komercyjnych, wciąż poszukiwane są nowe koncepcje pozwalające na poprawę efektywności energetycznej oraz stabilności pracy systemów trakcyjnych, w tym napędów kolejowych zasilanych napięciem 3 kV DC. Wskazane potrzeby stanowiły bezpośrednią inspirację do podjęcia tematyki ocenianej rozprawy doktorskiej.

Doktorant przeprowadził analizę zasady działania oraz budowy komercyjnego przytorowego zasobnika energii opartego na przetwornicy typu FSBB firmy ABB. Na tej podstawie zaproponował metodę obliczania wymaganej pojemności zasobników oraz ich optymalnego rozmieszczenia wzdłuż sieci trakcyjnej, wykorzystując autorski skrypt obliczeniowy opracowany w środowisku MATLAB.

Prace badawcze doktoranta koncentrowały się na analizie systemów trakcyjnych prądu stałego z uwzględnieniem procesów hamowania rekuperacyjnego oraz ograniczonej receptywności sieci trakcyjnej. Jest to zagadnienie o istotnym znaczeniu praktycznym, szczególnie w kontekście relatywnie niskiej efektywności energetycznej systemów kolejowych eksploatowanych w Polsce.



Należy podkreślić, że samo zastosowanie zasobników energii nie stanowi uniwersalnego rozwiązania problemów efektywności i stabilności zasilania transportu elektrycznego. Kluczowe znaczenie ma opracowanie odpowiednich modeli obwodowych oraz algorytmów optymalizujących zarówno lokalizację, jak i parametry techniczne przytorowych zasobników energii, z uwzględnieniem maksymalizacji efektów eksploatacyjnych oraz aspektów ekonomicznych. Z tego względu niezbędne jest prowadzenie systematycznych badań symulacyjnych umożliwiających ocenę wpływu magazynów energii na parametry pracy systemu trakcyjnego.

Analiza literatury przedmiotu jednoznacznie wskazuje, że zastosowanie systemów magazynowania energii (ESS) w sieciach trakcyjnych nie jest wyłącznie koncepcją teoretyczną, lecz rozwiązaniem praktycznie wdrażanym i zweryfikowanym w warunkach eksploatacyjnych. Potwierdza to zasadność badań podjętych w niniejszej rozprawie, które skupiają się na opracowaniu modeli oraz algorytmów umożliwiających integrację i optymalizację pracy ESS w sieciach prądu stałego.

Istotnym i aktualnym kierunkiem badań są również zagadnienia związane z doбором lokalizacji oraz pojemności zasobników energii w systemach trakcyjnych. W literaturze analizowano optymalne rozmieszczenie ESS z uwzględnieniem ograniczeń napięciowych, kosztowych oraz dynamicznych warunków ruchu pojazdów. Uzyskane wyniki wskazują, że właściwie zaprojektowany system magazynowania energii umożliwia nie tylko poprawę jakości zasilania, lecz także ograniczenie nakładów inwestycyjnych związanych z budową dodatkowych podstacji trakcyjnych.

Jednocześnie przegląd literatury potwierdza, że nowoczesne układy energoelektroniczne stanowią nieodzowny element integracji ESS z sieciami trakcyjnymi. Ich rozwój umożliwia poprawę jakości energii, redukcję strat oraz implementację zaawansowanych strategii sterowania przepływem mocy. Nadal jednak zauważalny jest niedobór kompleksowych opracowań łączących modele obwodowe sieci trakcyjnej, charakterystyki zasobników energii oraz specyfikę układów konwersji mocy w jednym, spójnym narzędziu inżynierskim.

W literaturze poświęconej optymalizacji systemów zasilania trakcyjnego oraz integracji ESS prezentowany jest szeroki wachlarz metod obliczeniowych. Tradycyjnie stosowane są metody deterministyczne, takie jak modelowanie liniowe i nieliniowe, które zapewniają wysoką dokładność rozwiązań, jednak ich praktyczne zastosowanie bywa ograniczone ze względu na dużą złożoność obliczeniową oraz problemy ze zbieżnością w przypadku modeli nieliniowych i nieliniowych charakterystyk zasobników energii. Coraz większą rolę odgrywają również metody oparte na uczeniu maszynowym, w tym optymalizacja bayesowska, umożliwiająca efektywne przeszukiwanie wielowymiarowych przestrzeni parametrów.

W kontekście praktycznych zastosowań inżynierskich szczególne znaczenie ma jednak kompromis pomiędzy dokładnością a prostotą implementacji. Z tego względu w niniejszej rozprawie przyjęto podejście oparte na systematycznym próbkowaniu oraz przeszukiwaniu

Zimm Dan

przestrzeni parametrów, które – mimo pewnych ograniczeń – cechuje się przejrzystością, powtarzalnością oraz wysoką użytecznością w realnych wdrożeniach przemysłowych.

Podsumowując, podjęcie przez Doktoranta badań obejmujących analizę, modelowanie oraz eksperymenty laboratoryjne w zakresie określonym tytułem rozprawy należy uznać za w uzasadnione i trafne z punktu widzenia aktualnych potrzeb naukowych i aplikacyjnych w obszarze systemów zasilania trakcyjnego i elektromobilnego transportu.

2. Ocena tezy badawczej, zadań naukowych, struktury rozprawy oraz zastosowanego piśmiennictwa

Układ ocenianej pracy doktorskiej odpowiada strukturze rozpraw naukowych. Po przedstawieniu motywacji, z akcentami zasadności zainteresowania się podjętym tematem, Doktorant przedstawił cel i zakres badań, metodykę badawczą oraz przegląd literatury. W końcowej części tego przeglądu uwagę skierował na metody próbkowania i modelowania, tj: Metoda Monte Carlo oraz Latin Hypercube Sampling, które umożliwiają ocenę wpływu niepewności na parametry systemu. Przeprowadzoną kwerendę skonkludował: „Podsumowując, literatura oferuje szeroki wachlarz metod, jednak w praktycznych zastosowaniach inżynierskich szczególnie istotny jest kompromis między dokładnością a prostotą implementacji.”. W niniejszy sposób uzasadnił wybór implementowanych metod.

Problem badawczy w postaci dwóch hipotez naukowych Doktorant sformułował w rozdziale 1.1, które brzmią:

1. *Zastosowanie optymalizacji parametrycznej modeli systemu trakcyjnego z przytorowymi zasobnikami energii pozwala na praktyczne wykorzystanie wyników analiz w procesie projektowania tego typu systemów.*
2. *Odpowiednie rozmieszczenie oraz właściwy dobór progów zadziałania przytorowych zasobników energii poprawia parametry zasilania linii trakcyjnej poprzez ograniczenie strat, przeciążeń podstacji i stabilizację napięcia.*

Pierwsze stwierdzenie przedstawione przez Doktoranta ma charakter oczywisty i nie może być uznane za hipotezę naukową, natomiast punkt drugi został udowodniony w rozdziale 7 ocenianej pracy.

Doktorant zaplanował w czterech rozdziałach zadania naukowe mające na celu udowodnienie hipotezy 2. Składają się na nie prace związane z tworzeniem modelu matematycznego, jego analizą, symulacją, badaniami rzeczywistymi i formułowaniem wniosków. Zadania te dotyczą przede wszystkim obszaru topologii FSBB oraz modelowania wycinka sieci trakcyjnej.

Dla wybranego układu sterowania Doktorant zaplanował serię badań symulacyjnych. Poza wskazanymi zadaniami modelowymi i oceną wyników obliczeniowych Doktorant, przeprowadził badania i porównał uzyskane wyniki. Dalej dokonał analizy uzyskanych

wyników i sformułował końcowe wnioski. Wyszczególnione zadania odzwierciedlone są w strukturze pracy.

Wykaz literatury obejmuje 83 pozycji bibliograficznych. Niemal wszystkie te pozycje napisane są w j. angielskim. Źródłem wielu z nich są przede wszystkim artykuły z renomowanych czasopism IEEE. Aktualność tych pozycji jest różna. Większość obejmuje aktualną wiedzę naukowo-techniczną ściśle powiązaną z zakresem rozprawy. Jedną z wyszczególnionych pozycji to opracowania współautorskie Doktoranta. Dostyć dużym mankamentem pracy jest powoływanie się na źródła internetowe lub książki związane z ogólną wiedzą techniczną.

1. Podrozdział 1.3 – Metodyka badań

Podrozdział 1.3 poświęcony jest prezentacji metodyki badań. Autor deklaruje przeprowadzenie prac związanych z modelowaniem systemu trakcyjnego w środowisku MATLAB, obejmujących modele podstacji trakcyjnych, pojazdów trakcyjnych, przekształtników energoelektronicznych oraz przytorowych magazynów energii. Analiza treści rozprawy ujawnia jednak istotne niespójności pomiędzy zaproponowaną metodyką a rzeczywiście zrealizowanymi badaniami. W szczególności:

W części metodycznej stwierdzono, iż „*podstacje reprezentowane są jako źródła napięciowe*”. Założenie to budzi poważne wątpliwości z punktu widzenia modelowania systemów trakcyjnych. Jednocześnie w rozdziale 5.2.3 autor wskazuje, że „*zasilacz podstacyjny odwzorowano jako źródło Nortonowskie, składające się z prądowego źródła sterowanego oraz równoległej przewodności, przy czym model zasilacza jest jednokierunkowy*”. Powyższe opisy są ze sobą sprzeczne i nie zostały w pracy wyjaśnione.

W metodyce zadeklarowano, że „*przekształtnik hamowania i ESS odwzorowane są jako elementy energoelektroniczne aktywujące się w zależności od parametrów pracy systemu*”. Natomiast w rozdziale 5.2.3 przyjęto uproszczony opis tych elementów w postaci źródeł Nortonowskich, co pozostaje w sprzeczności z wcześniej zapowiedzianym podejściem modelowym. Ponadto autor wskazuje w metodyce etap „*wyznaczania trajektorii ruchu pojazdów*”, podczas gdy w rozdziale 5.1.1 („*Założenia modelu*”) przyjmuje, że ruch pojazdu odbywa się wzdłuż jednoznacznie zdefiniowanej trasy, bez wskazania procedury jej wyznaczenia i definiowania.

Recenzent nie znajduje jednoznacznych dowodów na opracowanie przez autora autorskiego solvera numerycznego. Z przedstawionego opisu wynika raczej, że autor przygotował zestaw modeli elementów systemu trakcyjnego w środowisku MATLAB, które następnie były rozwiązywane z wykorzystaniem standardowych iteracyjnych procedur obliczeniowych. Dodatkowo odnosi się wrażenie, że rozdział poświęcony metodyce badań został opracowany przed wykonaniem zasadniczych prac modelowych i symulacyjnych, co skutkuje jego niespójnością z faktycznym zakresem przeprowadzonych badań.

2. Rozdział 2 – Analiza literatury

Rozdział drugi zawiera przegląd literatury przedmiotu. Znaczna część przywołanych pozycji to publikacje o charakterze ogólnym, obejmujące podstawy energoelektroniki i teorii obwodów, a także źródła internetowe nie mające charakteru naukowego, np. materiały branżowe OpenTrack, Siemens, RMCON, ABB [33, 34, 35, 76], czy nierecenzowane strony wikipedii [82], Itwiki [80] czy włoskiej regionalnej codziennej e-gazety ForliToday [60]. W ograniczonym stopniu wykorzystano aktualne publikacje naukowe bezpośrednio odnoszące się do parametrów opisywanych elementów, zagadnień modelowania i optymalizacji magazynów energii w systemach trakcyjnych.

3. Rozdział 3 – Technologie magazynowania energii

Rozdział trzeci poświęcony jest charakterystyce elektrochemicznych technologii magazynowania energii (NMC, LFP oraz LTO). Analiza ma charakter powierzchniowy, a zaprezentowane dane i trendy technologiczne są w wielu miejscach nieaktualne lub błędne.

Tabele 3-1 oraz 3-2 zawierają błędy merytoryczne. Autor powołuje się na normę IEC 60850 bez podania jej rewizji. Recenzent bazując na aktualnej (edycja 4.0 z 2014 r.), stwierdził, że dane przytoczone w pracy nie są z nią zgodne. Rozdział kończy się ilustracją oraz nieprzetłumaczoną tabelą pochodzącą z noty katalogowej firmy ABB, przy czym parametry prezentowanego zasobnika nie korespondują z danymi zamieszczonymi w tabeli 3-1.

W podrozdziale 3.2 autor omawia superkondensatory jako alternatywną metodę magazynowania energii. Charakterystyka ta ogranicza się do ogólnych, nieopartych analizą stwierdzeń dotyczących pojemności, gęstości energii oraz czasu odpowiedzi. Taka ogólnikowość odbiega od standardów obowiązujących w pracach naukowych.

Podrozdział 3.3 poświęcono kryteriom wyboru technologii magazynowania energii. Autor wymienia czynniki techniczne i ekonomiczne, jednak nie dokonuje ich ilościowej analizy ani nie przeprowadza porównania technologii w oparciu o spójne kryterium decyzyjne. Rozdział kończą wykresy przedstawiające nieopisane zdarzenia zarejestrowane na fragmencie linii kolejowej, bez podania informacji o aparaturze pomiarowej, warunkach pomiaru oraz bez podstawowych schematów sytuacyjnych. W konsekwencji interpretacja przedstawionych wyników nie jest możliwa i ma charakter pogładowy.

W ocenie recenzenta rozdział trzeci wymaga zasadniczej przebudowy lub całościowego usunięcia z rozprawy.

4. Rozdział 4 – Układy energoelektroniczne

Rozdział czwarty rozpoczyna się krótkim omówieniem prostowników trakcyjnych, po czym autor przechodzi do analizy czteroprzełącznikowego konwertera buck-boost (FSBB). Uzasadnienie wyboru tego układu ogranicza się do stwierdzenia możliwości pracy dwukierunkowej oraz funkcji podwyższająco-obniżającej.

Recenzent nie znajduje uzasadnienia dla rozbudowanej analizy teoretycznej tego układu, skoro w dalszej części rozprawy (rozdz. 5.2.3) został on zastąpiony uproszczonym modelem w postaci źródeł Nortonowskich. Przedstawione schematy sterowania oraz wyniki symulacyjne nie zawierają kompletu informacji umożliwiających ich weryfikację. Brak jest danych dotyczących parametrów elementów, zakresów pracy oraz warunków symulacji. Autor prezentuje również fotografię stanowiska badawczego, jednak nie precyzuje własnego wkładu w jego opracowanie ani zakresu przeprowadzonych badań. Stwierdzenie, że autor „opracował metodę FSBB”, nie zostało w sposób wystarczający uzasadnione, zwłaszcza że układ ten jest powszechnie znany i szeroko opisany w literaturze przedmiotu. Recenzent stwierdza, że Doktorant odwzorował pracujący układ FSBB w MATLABIE, natomiast z uwagi na tajemnice przedsiębiorstwa nie może ujawnić jego istoty i przedstawić parametrów.

5. Rozdział 5 – Modelowanie systemu trakcyjnego

Rozdział piąty ma charakter opisowy i dotyczy modeli systemu trakcyjnego opracowanych w środowisku MATLAB. Pomimo zaprezentowania wyników symulacyjnych, brak opisów osi, legend oraz schematów sytuacyjnych w istotny sposób ogranicza możliwość ich interpretacji.

Recenzent odnosi wrażenie, że znaczna część informacji została pominięta z uwagi na ochronę własności intelektualnej, co uniemożliwia ocenę poprawności modeli oraz jednoznaczne określenie wkładu autora. Walidacja modelu została przeprowadzona z wykorzystaniem środowiska LTspice, jednak również w tym zakresie brak jest pełnej informacji o przyjętych parametrach i założeniach.

6. Rozdział 6 – Algorytmy optymalizacji

Rozdział szósty poświęcony jest zagadnieniom optymalizacji systemów trakcyjnych. Autor porównuje wybrane metody optymalizacyjne (m.in. MILP, LHS), jednak prezentacja wyników jest w wielu miejscach nieczytelna. Przykładem jest rysunek 6-2, na którym jednocześnie przedstawiono 42 przebiegi, co uniemożliwia ich analizę.

Po przeanalizowaniu czterech przypadków za pomocą opracowanych algorytmów, autor wskazuje, że optymalna całkowita pojemność użytkowa zasobników energii powinna wynosić 12,3 kWh. Wnioski te nie zostały jednak dostatecznie szeroko omówione ani odniesione do wcześniejszych założeń pracy. Brak analizy szczegółowej nie pozwala recenzentowi stwierdzić czy uzyski wykazane przez Doktoranta nie są obarczone błędem.

7. Rozdział 7 – Analiza systemu komercyjnego

Rozdział siódmy dotyczy analizy komercyjnego systemu magazynowania energii firmy ABB. Autor zaznacza ograniczenia wynikające z charakteru projektu wdrożeniowego i braku możliwości ujawnienia pełnych danych technicznych. Zaprezentowane informacje (fragmenty not katalogowych, zdjęcia oraz przykładowy przejazd pociągu) są jednak niewystarczające do przeprowadzenia niezależnej weryfikacji uzyskanych wyników.

8. Rozdział 8 – Wnioski końcowe

Rozdział ósmy zawiera wnioski końcowe. Autor stwierdza, że wyniki badań zostały wdrożone w przedsiębiorstwie i stanowią użyteczne narzędzie inżynierskie. Wnioski mają jednak charakter opisowy i sprowadzają się do wyliczenia wykonanych prac, bez jednoznacznego wskazania kluczowych rezultatów oraz bez jednoznacznego potwierdzenia, czy postawione hipotezy badawcze zostały dowiedzione.

3. Ocena adekwatności zastosowanych metod badawczych

Zastosowane metody badawcze są zgodne z wymaganiami. Składają się na nie:

- a) Studia literaturowe wraz z interpretacją i analizą oraz formułowanie wniosków, które wyznaczają decyzje o zakresie i przedmiocie badań, kształcie tezy naukowej oraz planowanych zadaniach badawczych;
- b) Badania modelowe i symulacyjne;
- c) Planowanie badań eksperymentalnych i ich przeprowadzenie;
- d) Analiza, interpretacja i dyskusja uzyskanych rezultatów oraz formułowanie wniosków w zakresie spełnienia oraz osiągnięcia celów naukowych.

Zastosowanie tych metod w wystarczającym stopniu zapewnia realizację postawionych zadań badawczych, co uzasadniają wymienione niżej rezultaty.

Studia literaturowe są ukierunkowane na analizę metod modelowania i obliczeń rozptyłów mocy w systemach trakcyjnych prądu stałego, z uwzględnieniem dynamiki ruchu pojazdów oraz procesów hamowania rekuperacyjnego, a także na przegląd technologii magazynowania energii stosowanych w sieciach trakcyjnych, w tym baterii litowo-jonowych, superkondensatorów i rozwiązań hybrydowych. Obejmują one również charakterystykę nowoczesnych układów energoelektronicznych umożliwiających integrację zasobników energii z siecią trakcyjną oraz sterowanie przepływem mocy, jak również ocenę metod i algorytmów optymalizacji wykorzystywanych w doborze parametrów i lokalizacji ESS, ze szczególnym uwzględnieniem kompromisu pomiędzy dokładnością a złożonością obliczeniową. Analiza literatury prowadzi do identyfikacji luki badawczej polegającej na braku kompleksowych opracowań łączących modelowanie obwodowe sieci trakcyjnych, modele ruchu pojazdów, odwzorowanie magazynów energii poprzez układy energoelektroniczne oraz praktyczne algorytmy optymalizacyjne dostosowane do wymogów wdrożeniowych. Badania modelowe zrealizowane były z wykorzystaniem środowiska MATLAB. Po dokonaniu pogłębionej analizy stwierdzam, że znaczna większość przedstawionych wyników badań to wyniki badań modelowych. Badania te polegały na formułowaniu opisów matematycznych, często na podstawie nieznanego schematu elektrycznego, z uwzględnieniem architektury i proponowanej metody sterowania.

Sformułowane przez Doktoranta równania umożliwiły bezpośrednią realizację badań symulacyjnych. Efekty tych badań są podane po raz pierwszy w podrozdziale 4.1, jednak

Doktorant nie wyjaśnił jakie narzędzie symulacyjne zostało zbudowane do sporządzenia tych przebiegów, zasłaniając się tajemnicą przedsiębiorstwa.

Analizując całokształt pracy stwierdzam, że Autor w pewnej części dowiódł umiejętności posługiwania się metodą badań symulacyjnych jak i planowaniem tych badań. Niestety zabrakło oczekiwanych informacji o stworzonym oprogramowaniu, przyjętych uproszczeniach i ograniczeniach. Nie jest oczywiste, w jakim stopniu model symulacyjny stworzony został samodzielnie przez Doktoranta.

Wyniki badań rzeczywistych i ich porównanie z symulacjami Doktorant przedstawił w rozdziale 7. Sposób przedstawienia tych wyników jest nieweryfikowalny z uwagi na nieujawnienie modelu, brak schematów i brak podstawowych informacji na temat stanowiska badawczego i warunków eksperymentu, co uniemożliwia ich pełną walidację. W ocenie recenzenta rozbieżności pomiędzy mocami uzyskanymi eksperymentalnie a wynikami modelu przedstawionymi na rysunku 7-3 są znaczące, a brak dodatkowych scenariuszy nie pozwala w pełni ocenić końcowych konkluzji.

Wykonanie przewidzianych w doktoracie badań Doktorant potwierdził przedstawiając wyniki i formułując oceny i wnioski. Ostateczne konkluzje zredagował w rozdziale ósmym.

Zdaniem recenzenta, zawartość oraz układ przedstawionej pracy spełniają wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. Jednocześnie sposób prezentacji wyników, formatowanie grafiki i tekstu, stosowanie żargonowego języka oraz brak podstawowych parametrów eksperymentu w istotnym stopniu odbiegają od standardów właściwych dla tego typu opracowań.

4. Ocena oryginalności osiągnięcia naukowego i jego przydatności dla nauk inżynierjno-technicznych

Doktorant podejmuje niezwykle istotny aspekt modelowania przytorowych zasobników energii ESS w węzłach kolejowych. Ma to charakter wdrożeniowy i opiera się na matematycznym i symulacyjnym modelowaniu systemu trakcyjnego w środowisku MATLAB, z uwzględnieniem podstacji, pojazdów trakcyjnych, pojazdowych przekształtników układu hamowania z rezystorem oraz przytorowych magazynów energii.

Do oryginalnych osiągnięć zaliczam:

- opracowanie modeli numerycznych umożliwiających obliczenia napięć oraz rozprywu prądów w stanie ustalonym,
- implementację procedury optymalizacji parametrycznej. W ramach tego działania przeprowadzono przeszukiwanie przestrzeni parametrów systemu z wykorzystaniem metody MILP z dyskretyzacją zmiennych oraz Monte Carlo, obejmujące m.in. nastawy przekształtników hamowania oraz charakterystyk i progów zadziałania ESS. W każdej iteracji wyznaczono wartości funkcji celu:
 1. minimalizację strat energii w liniach,
 2. minimalizację spadków napięcia w punktach przyłączenia pojazdów,
 3. określenie wymaganej, użytecznej pojemności zasobników energii.

5. Ocena sposobu przedstawienia uzyskanych wyników, uwagi problemowe oraz zauważone wątpliwości recenzenta

Praca zawiera znaczącą liczbę błędów redakcyjnych. Większość rysunków oraz wyników badań przedstawiono w sposób nieczytelny, bez zachowania należytej staranności. Przesłana praca jest niespójna pod względem formatowania niesformatowana, zastosowano różne czcionki i style, a rozdzielczość oraz jakość opracowania graficznego pozostawiają wiele do życzenia. Tabele z danymi podstawowymi, przedstawiające parametry przebiegu symulacji, parametry ogniów oraz wyciągi z norm, zawierają liczne błędy, omyłki pisarskie lub są całkowicie nieaktualne. Wklejone przez Doktoranta pochodzące ze źródeł komercyjnych nie zostały przetłumaczone i nie posiadają wspólnego mianowania, przez co stanowią jedynie dodatek do pracy, a nie wiarygodne źródło porównania prezentowanej technologii. Brak przejrzystych schematów oraz analizy sytuacyjnej badanego obiektu utrudnia ocenę pracy, a niekiedy uniemożliwia interpretację wyników. Doktorant nie przedstawia istotnych parametrów symulacyjnych, takich jak indukcyjność dławika, pojemność szyny DC, częstotliwość kluczowania i inne parametry tego typu, co uniemożliwia recenzentowi ocenę poprawności uzyskanych wyników. Recenzent rozumie, że praca ma charakter wdrożeniowy, że Doktorant powołuje się na tajemnicę przedsiębiorstwa, jednak brak tych danych uniemożliwia odtworzenie rezultatów. W konsekwencji przedstawione wyniki należy traktować jedynie jako poglądy, pozbawione wartości naukowej.

Wyniki badań symulacyjnych zaprezentowano w sposób mało przejrzysty, co w wielu przypadkach uniemożliwiło recenzentowi ocenę poprawności uzyskanych wyników. Brakuje jednoznacznego wskazania, w jakich warunkach prowadzono symulacje, a w jakich badania rzeczywiste oraz czy i jaka zachodzi między nimi korelacja przy uwzględnieniu rozbieżnych warunków testowych. W pracy brakuje punktu odniesienia w postaci parametryzacji badanych układów, wspólnej skali lub ujednoliconej metodyki prowadzenia badań. Doktorant popiera wnioski licznymi symulacjami, jednak ich ocena jest utrudniona z powodu braku tabelarycznego zestawienia parametrów układu. Z uwagi na powołanie się na tajemnicę przedsiębiorstwa recenzent nie jest w stanie jednoznacznie określić wkładu merytorycznego Doktoranta.

Wybrane uwagi szczegółowe:

1. Praca jest napisana językiem żargonowym. Przykładowo Doktorant używa wymienienie: chopper, hamulec elektrodynamiczny, przekształtnik hamowania rezystancyjnego, przekształtnik hamowania, pojazdowe przekształtniki hamowania.
2. Rys. 3-1 – tabela zawiera błędy i jest nieaktualna co najmniej od 4 lat. Dane wstawione w tabeli przeczą informacjom zamieszczonym na rysunku 3-1.
3. Tabela 3-2 Dopuszczalny przedział zmienności napięć w systemach trakcyjnych prądu stałego wg. normy [70] – omyłki pisarskie.
4. Rys. 3-1 i 3-2 - brak podpisów zdjęć, brak podpisu tabeli, brak tłumaczenia.

5. Rys 4-16 – przedstawia poglądowy układ testowy, na podstawie którego nie można stwierdzić, czy badania są poprawne.
6. Nieprecyzyjny opis uzyskanych wyników: np. „4-17 do 4-21 uzyskano szybkie sterowanie mocą i prądem przy dobrej dokładności w stanie ustalonym.”
7. Rysunek 5-6 - jest praktycznie nieczytelny.
8. Rysunek 7-4 – dlaczego ten rysunek nie został przerysowany? Skrajnie zła jakość prezentowanej grafiki

Przedstawione poniżej uwagi krytyczne mają formę pytań, w których Doktorant proszony jest o wyjaśnienie sposobu prowadzenia badań jak i sposobu prezentacji wyników.

- a) Na podstawie rysunków 3-3 do 3-5 można stwierdzić, że naturalny poziom rekuperacji w analizowanym wycinku podstacji wynosi ok. 50%. Czy Doktorant uwzględnił ten fakt w algorytmie doboru pojemności magazynu energii? Czy Doktorant może przedstawić schemat podstacji z informacją, w jaki sposób rozptył prądu rekuperacji na sąsiednie odcinki wpływa na wyniki obliczeń?
- b) Dlaczego Doktorant przyjął, bez przeprowadzenia jakiegokolwiek analizy, że rozwiązanie przetwornicy FSBB z superkondensatorem jest optymalne? Proszę odnieść się do innych topologii przetwornic i uzasadnić wybór. Warto zauważyć, że w Polsce od kilku lat funkcjonuje zasobnik energii bazujący na technologii NMC. Praca ma charakter wdrożeniowy, dlatego brak analizy techniczno-ekonomicznej jest dużym mankamentem tej pracy.
- c) Doktorant poruszył zagadnienia prostowników aktywnych AFE przyłączonych do sieci prądu przemiennego. Dlaczego zatem rozwiązanie to zostało całkowicie pominięte jako potencjalna opcja w analizie problemu badawczego?
- d) Zaprezentowana w rozdziale 4.1.3 struktura sterowania przetwornicą FSBB ma charakter poglądowy. Proszę przedstawić schemat modelowanego układu oraz parametry elektryczne takie jak indukcyjność, częstotliwość kluczowania, czasy martwe, miejsca dokonywanych pomiarów i uproszczenia modelowe. Ponadto proszę odnieść się do cytowanych stwierdzeń i wskazać, jaki sposób przekładają się one na dalsze wyniki pracy:

- „Zastosowano regulator PI z możliwością dodania członu sprzężenia w przód (feedforward) napięcia wyjściowego, co poprawia odpowiedź dynamiczną zwłaszcza w przypadku magazynów energii o dużej pojemności (baterie, superkondensatory).”
- „Dla aplikacji dużej mocy uwzględniono pracę wielofazową (np. trzy fazy), z przesunięciem fazowym sygnałów PWM w celu redukcji tętnień i zawartości harmonicznych prądów. Sterowanie obejmuje zarówno „wirtualny” prąd średni wszystkich faz, jak i dodatkowy układ równoważenia prądów międzyfazowych.”

- „Regulator zamkniętej pętli jest regulatorem PI, do którego zmierzone napięcie wyjściowe może być dodane jako składowa wyprzedzająca (feed-forward) lub służyć do ustalenia warunków początkowych całki.”

Większość powyższych stwierdzeń jedynie sygnalizuje, że pewne działania wykonano lub że dany układ może funkcjonować w określony sposób. W takim razie co dokładnie było przedmiotem badań Doktoranta i w jaki sposób można zaliczyć te elementy do jego dorobku, skoro jest nie znajduje odzwierciedlenia w dalszych rozdziałach pracy?

- e) Z uwagi na brak parametrów symulowanego obwodu oraz informacji dotyczących przyjętych uproszczeń modelowych, recenzent nie ma możliwości rzetelnej oceny wyników przedstawionych na rysunkach 4-7 do 4-28. Całkowity brak analizy uzyskanych rezultatów dodatkowo uniemożliwia ich walidację.
- f) Na rysunku 4-37 przedstawiono stanowisko wykonane z wykorzystaniem gotowego, komercyjnego układu FSBB firmy ABB. W pracy brakuje informacji dotyczących tego stanowiska, w tym daty jego powstania oraz zakresu udziału Doktoranta w pracach. Jaki był cel modelowania konwertera FSBB? Czy celem było odwzorowanie komercyjnego urządzenia w środowisku MATLAB? Recenzent rozumie potrzebę odwzorowania modelu na potrzeby komercyjne, jednak nie dostrzega w tych działaniach wartości naukowej. Mają one wyłącznie charakter inżynierski.
- g) Proszę wyjaśnić wyniki przedstawione na rysunku 6-2. W jaki sposób recenzent ma możliwość ich przanalizowania bez schematu poglądowego badanego fragmentu sieci trakcyjnej?
- h) W podrozdziale 6.3.1 zaprezentowano wyniki działania algorytmu poszukiwania. Dlaczego Doktorant zaczyna przeszukiwanie punktów siatki od nastawy napięcia rezystora hamowania 3600V, skoro w praktyce wartość ta jest zazwyczaj ustawiana na poziomie około 3800V w celu uzyskania lepszego efektu rekuperacji?

Wśród uwag o charakterze porządkowym pragnę wymienić:

- a) Brakuje jakichkolwiek informacji dotyczących udziału Doktoranta w tworzeniu oprogramowania, a także przyjętych uproszczeń i ograniczeń. W konsekwencji nie wiadomo, czy model symulacyjny stworzony został samodzielnie przez Doktoranta, czy też powstał w ramach pracy zespołowej.
- b) W pracy nie przedstawiono informacji dotyczących zastosowanego sprzętu pomiarowego ani jego parametrów.

Doktoranta proszę o ustosunkowanie się do przedstawionych uwag w formie pisemnej i przesłanie odpowiedzi min. 14 dni przed planowaną obroną, z wykorzystaniem poczty elektronicznej na adres e-mail recenzenta pobrany ze strony <https://ehms.pollub.pl/standard/staff.php>.

Wszystkie przedstawione wątpliwości odzwierciedlają zainteresowania recenzenta rozprawą i mają na celu zwrócenie uwagi Doktorantowi na niedociągnięcia merytoryczne

oraz redakcyjne. Zastrzeżenia o charakterze merytorycznym powinny zostać wyjaśnione przez Doktoranta.

6. Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Z uwagi powołanie się na tajemnicę przedsiębiorstwa, brak podstawowych danych symulacyjnych uniemożliwiających ich weryfikację oraz liczne błędy redakcyjne, nie można jednoznacznie uznać, że rozprawa doktorska mgra inż. Rafała Jacukowicza stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu badawczego. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz szczegółową wiedzą w zakresie przekształtnika FSBB. Realizując pracę naukową, dowiódł posiadania umiejętności stosowania różnych metod badawczych, jednak wyniki przedstawione w niniejszej pracy są w wielu przypadkach nieweryfikowalne, co stanowi istotny problem z perspektywy recenzenta. Powołanie się na tajemnicę przedsiębiorstwa nie zwalnia Doktoranta z obowiązku przedstawienia wyników badań w sposób umożliwiający ich rzetelną weryfikację. Na końcową ocenę recenzenta istotny wpływ ma rozdział 3, który nie spełnia standardów stawianych pracom naukowym. Rozdział ten wymaga zasadniczej przebudowy lub całkowitego usunięcia.

Uwzględniając wymienione argumenty, nie podzielam stanowiska, że rozprawa doktorska mgra inż. Rafała Jacukowicza stanowi istotny wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stwierdzam więc, że opiniowana praca nie spełnia warunków i wymagań stawianych rozprawom doktorskim określonym w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Stawiam zatem wniosek o niedopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Rafała Jacukowicza do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Krakowskiej.

