

dr hab. Stanisław Hałas, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,
Informatyki i Automatyki
Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: *Wykorzystanie algorytmu genetycznego do doboru elementów ochronnika interfejsu komunikacyjnego w urządzeniach przytorowych*

Autor rozprawy: Mgr inż. Dariusz Zieliński

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Damian Grzechca, prof. PŚ

Opiekun przemysłowy: Mgr inż. Marek Górniołek

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Śląskiej, na podstawie pisma RDAEETK.512.7.2023 przesłanego przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny, Panią Profesor Monikę Kwokę — pismo z dnia 22.08.2023 r.

Uwagi wstępne, charakterystyka wyboru tematu i przedmiot rozprawy

Rozprawa dotyczy ważnego i aktualnego zagadnienia z zakresu projektowania elementów zapewniających poprawną pracę urządzeń przytorowych. W pracy rozpatrywane są czujniki kół stosowane w systemach detekcji niezajętości toru. Zgodnie z normą PN-EN 50129 czujniki te powinny spełniać poziom bezpieczeństwa SIL-4. Ich uszkodzenie może mieć bezpośredni wpływ na ludzkie zdrowie lub życie. Informacja dotycząca liczby osi przejeżdżających wagonów przekazana do jednostki nadrzędnej jest krytyczna z punktu widzenia bezpieczeństwa działania systemu detekcji niezajętości toru. Stwierdzenie, że tor jest wolny umożliwia skierowanie pociągu na daną sekcję toru. Ochronniki przeciwprzepięciowe są integralną częścią przewodowych instalacji stosowanych w liniach kolejowych. Normy PN-EN 61000-4 oraz PN-EN 50121-4 określają wymagania odporności interfejsów zasilających oraz komunikacyjnych na napięcia udarowe. Często występuje również konieczność projektowania ochronników i weryfikacji ich poprawnej pracy przy zwiększonych wymaganiach narzuconych przez klienta. Jest to szczególnie istotne w przypadku określonych lokalizacji linii kolejowych. Proces dopuszczenia urządzeń na rynek kolejowy jest czasochłonny, skomplikowany i kosztowny. Podczas wdrażania nowych lub modernizacji istniejących urządzeń przytorowych właściwie przeprowadzone symulacje, w oparciu o adekwatne modele, minimalizują prawdopodobieństwo niepowodzenia certyfikacji danego rozwiązania.

Badania odporności na napięcia udarowe oraz wyładowania elektrostatyczne to testy krytyczne z punktu widzenia projektu, gdyż ich niespełnienie z reguły prowadzi do zmian w topologii układu i jego konstrukcji. Ponadto, wymaganie stawiane przed urządzeniami stosowanymi w sieci kolejowej dotyczące długiego cyklu życia stanowi duże wyzwanie dla urządzeń elektronicznych ze względu na

dynamikę zmian oferty dostępnych części. W systemach detekcji niezajętości toru najczęściej wykorzystuje się magistralę CAN, do której można podłączyć do dziesięciu czujników oraz okablowanie w postaci przewodu ekranowanego, zawierającego dwie pary skręconych żył. Stosowanie tego samego kabla do zasilania (jedna para) i transmisji danych (druga para) wynika głównie ze względów ekonomicznych. Okablowanie strukturalne systemu zarządzania ruchem kolejowym jest istotnym elementem sieci kolejowych, a wszelkie ingerencje i naprawy instalacji wiążą się z dużymi kosztami oraz ograniczeniem lub całkowitym zaprzestaniem ruchu pociągów na danej sekcji. Okablowanie wystawione jest na szereg niesprzyjających warunków środowiskowych, mogących mieć wpływ na działanie systemu zarządzania ruchem kolejowym. Degradacja połączeń wynika głównie z narażeń mechanicznych, oddziaływania wody i roztworów wodnych różnych substancji, zmian temperatury, promieniowania UV oraz innych aspektów środowiskowych specyficznych dla danej sekcji torów. Uszkodzenie zewnętrznego izolatora prowadzi do zmian parametrów okablowania, które może skutkować błędami w transmisji danych, ale również w niektórych przypadkach może być niebezpieczne dla personelu technicznego obsługi sieci.

Analizując to szerokie spektrum zagadnień związanych z projektowaniem urządzeń przytorowych Autor rozprawy postanowił skoncentrować się na dwóch aspektach. Pierwszym z nich jest modelowanie stosowanego okablowania oraz wpływ przyspieszonych badań starzeniowych na działanie systemu transmisji CAN oraz ochronnika. Drugim, głównym celem było opracowanie metody doboru elementów ochronnika interfejsu komunikacyjnego CAN w celu zwiększenia jego odporności na napięcia udarowe. Problematyka rozprawy stanowi spójną całość, jest aktualna i mieści się w nurcie badań światowych.

Praca o objętości 139 stron obejmuje wstęp, 6 rozdziałów, dodatek, spis rysunków, tabel oraz literatury. Rozprawa zawiera 134 pozycje bibliograficzne, w tym większość opublikowanych w ostatnich pięciu latach. Ich dobór jest właściwy. W spisie literatury występuje jedna pozycja, której współautorem jest Doktorant [124]. Brakuje natomiast dwóch współautorskich prac opublikowanych w 2022 roku, które są ściśle związane z rozprawą, a w których Doktorant jest wiodącym autorem. Część prezentowanych w rozprawie wyników jest rozwinięciem lub modyfikacją prezentowanych w tych pracach propozycji. Ponieważ są to publikacje w recenzowanych wydawnictwach oraz materiałach konferencyjnych świadczy to o uznaniu przedstawionych tam propozycji za oryginalne i przydatne w procesie projektowania systemów w sieciach kolejowych.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia wybór tematyki rozprawy uważam za właściwy, chwalać Autora za podjęcie ważnego tematu o walorach poznawczych i praktycznych. Wybrane efekty badań naukowych są na etapie wdrożenia w Dziale Serwisu wiodącej na rynku firmy, a także zgłoszone w konkursie *Innovation Kiosk* (IK), którego celem jest wspieranie innowacyjnych pomysłów poprawiających jakość urządzeń oraz podnoszących zadowolenie klientów. Jednocześnie stwierdzam, że tematyka pracy w pełni mieści się w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Ocena merytoryczna

W nienumerowanym rozdziale zatytułowanym *Wstęp* Doktorant przedstawił krótkie wprowadzenie do omawianych zagadnień oraz sformułował cel i tezy pracy. Celem jaki postawił przed sobą Autor było opracowanie metody doboru elementów ochronnika przeciwprzepięciowego cyfrowego

interfejsu komunikacyjnego (magistrala CAN) z wykorzystaniem algorytmu genetycznego dla urządzeń przytorowych (np. czujnik koła) na zgodność z normą PN-EN 50121-4. Analiza postawionych na stronie jedenastej też prowadzi do wniosku, że propozycje Autora zwiększą odporność urządzenia przytorowego na narażenia napięciami udarowymi zdefiniowanymi w odpowiedniej normie, a wykorzystanie procesu sztucznego postarzania przewodu komunikacyjno–zasilającego umożliwi wyznaczenie funkcji degradacji parametrów odcinka jednostkowego kabla. Cel oraz tezy zostały sformułowane poprawnie.

Pierwszy rozdział stanowi tło do prac badawczych, których realizacji podjął się Doktorant. Omówiony został system sterowania ruchem kolejowym, stosowane okablowanie oraz interfejs komunikacyjny. Wskazano źródła zagrożeń oraz warunki testowe zdefiniowane w adekwatnych normach. Kolejne rozdziały to omówienie efektów prac badawczych Autora w kontekście modelowania okablowania oraz projektowania ochronnika, liczne wyniki badań laboratoryjnych i symulacyjnych.

Za główne osiągnięcia Doktoranta, omówione w kolejnych rozdziałach rozprawy, można uznać:

- **opracowanie modelu jednostkowego odcinka kabla zasilająco–komunikacyjnego, który następnie wykorzystano w trakcie symulacji degradacji zewnętrznego izolatora kabla oraz dobór funkcji aproksymującej zmiany degradacyjne parametrów kabla (rozdział 2),**
- **analizę wpływu degradacji izolatora kabla na charakterystykę amplitudową, opóźnienie grupowe oraz charakterystyki impedancyjne w kontekście zastosowań tego typu badań do weryfikacji stanu okablowania (rozdział 2),**
- **opracowanie metody doboru elementów ochronnika interfejsu komunikacyjnego wykorzystującej algorytm genetyczny, w tym, w szczególności dobór sposobu kodowania problemu oraz funkcji celu z uwzględnieniem zarządzania ryzykiem (rozdział 3),**
- **integrację oprogramowania MATLAB (algorytm genetyczny, sterowanie procesem obliczeniowym, generowanie plików wsadowych) i LTspice (symulacje obwodowe) w celu stworzenia środowiska umożliwiającego dobór komponentów wchodzących w skład ochronnika (rozdział 3).**

Ponadto Autor przeprowadził testy laboratoryjne oraz liczne badania symulacyjne weryfikując w ten sposób skuteczność proponowanych rozwiązań, przeanalizował otrzymane wyniki i zaproponował sposób ich wdrożenia.

W całej rozprawie widać wysiłki Autora ukierunkowane na opracowanie metod projektowania odpowiednich elementów ochronnika interfejsu komunikacyjnego urządzenia przytorowego, z zachowaniem marginesów bezpieczeństwa wybranych wielkości elektrycznych (moc, napięcie, prąd) dla elementów składowych. Dopelnieniem odpowiedniej specyfikacji projektowej jest szczegółowa analiza rozpraszanej energii na poszczególnych elementach z uwzględnieniem podziału elementów na dwie grupy: A (preferowane, ze względu na niski koszt serwisu, komponenty podlegające ewentualnemu uszkodzeniu) i B (komponenty, których koszt wymiany jest znaczący) oraz analiza wpływu starzenia się kabla komunikacyjnego na parametry pracy ochronnika.

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy stwierdzam, że tezy pracy zostały udowodnione, a rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie automatyka, elektronika, elek-

trotechnika i technologie kosmiczne. Propozycje zawarte w rozprawie, nowe lub oparte na prezentowanych wcześniej pracach współautorskich, mają aspekt praktyczny (wdrożenie).

Czytając rozprawę nasunęło mi się kilka pytań i uwag krytycznych, które przedstawiam poniżej.

1. W modelu rozpatrzono jeden wariant degradacji izolacji zewnętrznej kabla pod wpływem roztworu soli o określonym stężeniu, odpowiadającym wodzie morskiej. Przypadek ten jest wyidealizowany, gdyż zakłada jednorodność uszkodzenia na całej długości. Dla takiego wariantu określono parametry i dobrano funkcje aproksymujące. Czy przyjęcie takiego stężenia wagowego oraz rodzaju degradacji ma uzasadnienie praktyczne? Do zespołu czynników wpływających na starzenie zalicza się, jak wymieniono w pracy, również temperaturę, światło, chemikalia i mikroorganizmy. Czy w przyszłości planuje się szersze badania w tym zakresie, i który z czynników, zadaniem Autora, byłby wart takich badań?
2. W modelu kabla pominięto sprzężenia indukcyjne, które obecne są w pracy [62], gdzie podano model dla jednej pary skręconych żył. Czym można uzasadnić brak takich sprzężeń w proponowanym modelu?
3. W całej pracy używane jest określenie iskrownik, jako polska nazwa gazowego elementu wyładowczego GTD. Zdaniem recenzenta ta nazwa nie jest poprawna i powinna zostać zastąpiona nazwą iskiernik (rodzaj aparatu elektrycznego). Iskrownik to urządzenie do generacji iskier elektrycznych, np. w kuchenkach gazowych, silnikach.
4. W wielu miejscach w rozprawie, jako wielkość elektryczną, dla której bada się ograniczenia Autor wskazuje moc chwilową (np. str. 11, 28, 65, Tab. 16 i inne). Ponieważ moc chwilowa jest funkcją czasu, należy używać sformułowania maksymalna moc chwilowa.
5. W tabeli 4 i kolejnych indukcyjności L_w i L_s mierzone są przy różnych częstotliwościach. Jak jest uzasadnienie takich pomiarów? Przy wykorzystaniu jakiego oprogramowania określono parametry funkcji aproksymujących? Dlaczego pominięto w aproksymacjach L_w ?
6. Co oznacza pojęcie *grupa rezystorów* na str. 67 i kolejnych, o jaki typ połączenia chodzi, dlaczego nie stosuje się pojedynczych rezystorów, czy ma to związek z dopuszczalną mocą?
7. Jaki model iskiernika zastosowano (rys. 29)? Z czego wynika wprowadzenie kondensatora C_3 na rys. 29-30? Na jakiej podstawie określono jego pojemność? Na rys. 31 zmieniono wartość rezystancji R_2 względem pracy [133], czy to literówka, czy celowe działanie? Jaki jest przebieg wyjściowy napięcia udarowego (na R_3) dla wartości podanych na rys. 31? W jaki sposób zmienia się w modelu symulacyjnym wartość szczytową napięcia udarowego?

Uwagi szczegółowe

W pracy występują liczne błędy i usterki. Poniżej wymieniam niektóre z uchybień:

str. 27, Rys. 7 – ponieważ nie wyskalowano osi czasu podanie w podpisie $1,2/50 \mu s$ nie ma sensu.

str. 34, Tab. 2 – czego dotyczą podane w tabeli parametry jednostkowe?

str. 39, Tab. 3 – indukcyjność zamiast induktancja

str. 39, w określeniach C_{23} oraz C_{45} powinno być dodane *para zwarta na końcu*, tylko wtedy mamy połączenie równoległe i podane wzory są słuszne.

str. 36 i 39 oraz Tab. 4 i kolejne – wykorzystano te same oznaczenia, a inne jednostki.

str. 45 i 46, Tab. 7-9 – dla funkcji $f_1(t)$ powinno być b , a nie c , podobnie dla funkcji $f_3(t)$ powinno być τ , a nie c .

str. 49 – stwierdzenie, że funkcja $f_7(t)$ nie ma skończonej granicy gdy $t \rightarrow \infty$ nie jest słuszne jeżeli b i d są ujemne.

str. 51 – nie *przepuszczalność*, ale przenikalność elektryczna, ponadto powinno być $\tau_{11} = \tau_{31}$.

str. 52 – stwierdzenie *T określa parametry przewodu przed wpływem degradacji* jest błędne.

str. 53 – wydaje się, że podane odległości (w km) są niespójne.

str. 54, str. 58 – zamiast okres czasu poprawnym określeniem byłby czas w dniach (lub ewentualnie w godzinach).

str. 68 – nad wzorem (25) powinno być kondensatorów nie pojemności.

str. 71, punkty c) do f) – zamiast *konfiguracji* lepiej użyć *typ/pojemność*.

str. 76 i kolejne – współczynnik zarządzania ryzykiem powinien być wyrażony jako 0,5 i 1,1. W przeciwnym przypadku kolejne wzory zawierające ten współczynnik nie będą poprawne.

str. 78, wzór (30) – j oraz l zwykle oznaczają indeksy, dlatego korzystniej, dla czytelności pracy, byłoby oznaczyć te symbole inaczej. Również wskazane byłoby przeniesienie określenia α' oraz γ poniżej wzoru (30).

str. 79, określenie współczynnika kary – w nierównościach nie uwzględniono współczynnika zarządzania ryzykiem, czy to przeoczenie?

str. 81 – skoro na str. 81 ustalono licznosc populacji na 50, to w jakim celu wprowadzono rozdział 3.7. Ponadto w Tab. 19 przekroczono *Max Time* określony w Tab. 18.

str. 82, Tab. 18 – powinno być *różnica pomiędzy wartością funkcji celu*.

str. 85, punkty f) i g) – brakuje indeksów dla napięcia wejściowego.

str. 88, Tab. 20 i kolejne – dlaczego dla D_4 , $U_{max}^{\%} = 0,00$? Ponadto w przypadku, gdy dla danego komponentu nie określono wartości krytycznej, zamiast wartości 0,00%, lepiej pozostawić puste pole lub wpisać –, z ewentualnym komentarzem.

Nazwy podrozdziałów 3.8.1 oraz 3.8.2 sugerują, że dla napięć 650 V i 6000 V rozpatrywane są po dwa warianty. Powinno być wariant 1 – napięcie udarowe 6000 V oraz wariant 2 – napięcie udarowe 650 V

Tab. 22 oraz 23 – $E^{\%}$ nie jest tu poprawnym określeniem.

W jaki sposób wyznaczono, dla niektórych parametrów, zmiany o wartościach mniejszych niż -100% podane w tabeli 23? Obserwując wyniki podane w pełnych tabelach i na odpowiednich wykresach wartości te wydają się błędne.

Ocena redakcyjna

Oceniana rozprawa doktorska pod względem redakcyjnym zawiera usterki w postaci błędów stylistycznych, gramatycznych oraz literówek. Przykładowe uchybienia to np. pierwszy akapit pod rys. 1., oraz na str. 14 – zastosowanie bardzo długich zdań wielokrotnie złożonych, str. 12, ostatnie zdanie powinno być analizę (zamiast analizą), str. 17 – ekstremalnych (zamiast ekstremalnym), str. 18 zamiast *Z pośród* powinno być *Spośród*, str. 19 – koncentrują (zamiast koncertują), rys. 4. – przewody komunikacyjne lub przewód komunikacyjny (zamiast przewody komunikacyjny) oraz grupa modułów elektronicznych (a nie grupa modułów elektroniczny) itp. Czytając rozprawę odnosi się wrażenie, że Autor po jej napisaniu nie poddał tekstu krytycznej ocenie. W pracy spotkać można różnorodność stosowanych czcionek we wzorach oraz tekście, pewne braki w spisie literatury oraz błędne lub nieprecyzyjne sformułowania, na stronach parzystych brak jest numeru strony. Zapisując wartość liczbową cyframi, wpisujemy po spacji oznaczenie jednostki miar, więc poprawny jest na przykład

zapis 100 V. Antykwą (pismem prostym, ang. upright type, roman type) piszemy cyfry, oznaczenia jednostek miar (np. miliwolt oznaczamy mV, a nie mV) oraz symbole konkretnych funkcji (np. ln, sin). Tych standardów redakcyjnych Doktorant zwykle nie zachowuje.

Autor zastosował nietypowy dla dużych opracowań układ literatury, umieszczając pozycje literatury nie w kolejności alfabetycznej, ale w kolejności cytowań. Kolejność ta nie została jednak zachowana dla pozycji [11], [31], [82] i [83]. W niektórych pozycjach brak jest autorów, stron czy nazwy czasopisma (np. [12], [18]), a podawanie linku do pozycji bibliograficznej dostępnej przez serwis *han.polsl.pl* należy zastąpić poprzez podanie doi (o ile występuje), np. dla pozycji [12] 10.1109/TIA.2015.2430835. Ponadto spis literatury nie został wyjustowany.

Wszystkie pozycje literatury są właściwie cytowane, podobnie jak istnieją odwołania do wszystkich tabel i rysunków.

Podsumowanie

Doktorant osiągnął zamierzony cel i udowodnił postawione w pracy tezy. Dowodem ich słuszności są prezentowane w rozprawie wyniki badań oraz opublikowane prace naukowe. Autor opanował warsztat naukowy, wykazał się znajomością literatury światowej związanej z tematyką rozprawy oraz właściwym doбором narzędzi symulacyjnych dostępnych w oprogramowaniu LTspice oraz MATLAB. Rozprawa potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta we wskazanej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Praca nie wymaga poprawek i uzupełnień. Autor powinien jednak w przyszłości zwrócić większą uwagę na stronę redakcyjną. Przedstawione wyniki wnoszą wkład do aktualnych i potrzebnych badań z zakresu projektowania systemów zabezpieczeń stosowanych w sieciach kolejowych.

Podsumowując uważam, że opiniowana rozprawa dotyczy ważnego i aktualnego problemu, zawiera własne propozycje, stanowi samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego oraz ma znaczenie praktyczne.

Wniosek końcowy

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (t.j. Dz.U. z 2020 r. poz 85. z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Dariusza Zielińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.