

dr hab. inż. Mariusz Stępień, prof. PŚ

Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny

Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki

44-100 Gliwice, ul. B. Krzywoustego 2

Gliwice, 08.10.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Kamila Jana MOŹDŻYŃSKIEGO**

pt. ***Fault-tolerant and resistant to grid voltage distortion 4-leg DC/AC converter
applied to Power Electronics Transformer***

Promotor w przewodzie doktorskim: prof. dr hab. inż. Mariusz Malinowski

Promotor pomocniczy: dr inż. Sebastian Styński

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Jana Możdżyńskiego jest uchwała nr 164/III/2025 Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 30 września 2025 r. stanowiąca o powołaniu mnie przez wspomnianą Radę Dyscypliny na recenzenta tej rozprawy.

2. Wprowadzenie

Współcześnie obserwowany jest stale rosnący wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, powiązany z koniecznością zapewnienia właściwej jakości energii elektrycznej, w coraz większym stopniu pochodzącej ze źródeł energii odnawialnej, wytwarzanej w systemach rozproszonych, w tym prosumenckich. Powoduje to konieczność zmiany trendów w zakresie inwestycyjnym rozwoju sieci dystrybucyjnych energii elektrycznej. Stosowane dotychczas rozwiązania bazujące na centralnej jednostce wytwórczej oraz sieci rozdzielczej różnych napięć z transformatorami klasycznymi nie pozwalają na właściwy rozwój współczesnych instalacji prosumenckich. Konieczne jest stosowanie w sieci urządzeń aktywnych, bazujących na energoelektronice, pozwalających na kształtowania prądu i moderowanie przepływu energii zgodnie z oczekiwaniami rynku.

Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w pełni w te trendy zawierając analizę możliwości zastosowania przekształtników energoelektronicznych, w tym urządzeń zastępujących swoją rolę klasyczne transformatory dystrybucyjne, zwane transformatorem energoelektronicznymi. Przedmiotowa analiza skupia się na bardzo ważnym aspekcie, jakim jest niezawodność pracy urządzeń energoelektronicznych, porównywalna do urządzeń klasycznych. Zapewnienie właściwej niezawodności energoelektroniki jest podstawowym aspektem pozwalającym na wdrożenie tej technologii do eksploatacji w systemach elektroenergetycznych na szeroką skalę. Zagadnienia podejmowane w recenzowanej rozprawie mają zatem niebagatelne znaczenie w aplikacyjnym rozwoju systemów energetycznych opartych na elektronice mocy.

Stosowanie złożonych wielozaworowych przekształtników energoelektronicznych w sieciach dystrybucyjnych wymaga także zwrócenia się z innymi problemami, dotyczącymi procesów sterowania, komunikacji, zakłóceń, odporności zwarciorowej i wielu innych, wzajemnie od siebie zależnych, i wzajemnie na siebie wpływających.

3. Ocena strony formalnej rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska ma formę zwartej monografii o łącznej objętości 183 stron. Na tę objętość składają się części wstępne pracy, w tym streszczenia, spis rzeczy oraz wykaz oznaczeń, część zasadnicza złożona z sześciu rozdziałów, spis literatury oraz dwa załączniki. Struktura pracy jest prawidłowa, przejrzysta i zapewniająca wygodną lekturę dla czytelnika.

Tytuł rozprawy przywołuje czterogłęziowy przekształtnik napięciowy jako część transformatora energoelektronicznego. Tytuł w pełni odpowiada zawartości pracy, przy czym w treści rozprawy często poruszane są zagadnienia znacznie szersze i wykraczające poza zakres samego przekształtnika. Są one jednak właściwe, nawiązują do tematu głównego i pozwalają na szersze spojrzenie na analizowane zagadnienia.

Praca została napisana w języku angielskim. Zawiera ona również trzystronicowe streszczenie w języku polskim. Ze względu na język pracy, w dalszej części recenzji przywoływane będą na potrzeby dyskusji, zarówno sformułowania w języku oryginału, jak i w bezpośrednim tłumaczeniu na język polski.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem rozprawy jest odporny na zakłócenia i asymetrie sieci czterogłęziowy przekształtnik energoelektroniczny stanowiący część transformatora energoelektronicznego. Rozprawa ma charakter wieloaspektowy podejmując zagadnienia niezawodności pracy przekształtników w systemie elektroenergetycznym, w szczególności w sieciach rozproszonych i ze źródłami odnawialnymi, a rozważania prowadzone w rozprawie dotyczą topologii przekształtnika, w szczególności jego modularności, problemów sterowania wielozaworowego, w tym algorytmów wymaganych do zapewnienia właściwej redundancji urządzeń, a także zagadnień komunikacji w systemach rozproszonych. W pracy są poruszane zatem problemy z szerokiego spektrum zagadnień, zapewniając holistyczne ujęcie tematu, a jednocześnie dotyczące wielu problemów szczegółowych i technologicznych, występujących w tego typu rozwiązaniach przemysłowych.

4.1. Teza, cel i zakres pracy

W rozprawie w sposób jawny zdefiniowano tezę, która mówi, że „zastosowanie wielu równolegle połączonych przekształtników DC/AC z rozproszonym algorytmem sterowania pozwala na niezawodną i odporną na błędy pracę stopnia niskiego napięcia transformatora energoelektronicznego mocy w trybach formowania sieci i wspomagania sieci”. Teza ta jest poprawnie sformułowana i przejrzysta, co do celu, który w pracy należy wykazać. W samej pracy brakuje jednak zdefiniowanych w sposób bezpośredni celów rozprawy. Autor zdecydował się, zamiast celów, wskazać obszary badań, które uznaje za swój własny wkład w wykazanie poprawności tezy. Takie podejście nie jest błędne, ale właściwszym byłoby zamieszczenie takiej informacji w części podsumowującej pracy, a nie w części wstępnej. Można byłoby się wtedy odnieść jakie cele i w jakim zakresie zostały zrealizowane, a jakie wymagają dalszych badań. W podobny sposób przedstawiony został zakres pracy. Autor wskazuje, jakie aspekty rozprawy uznaje On za swój wkład w jej powstanie. W ocenie recenzenta takie podejście nie jest właściwe (mimo, że nie jest błędne). Rozprawa jest opracowaniem monoautorskim, zatem całość rozprawy jest dziełem Autora. Jest również oczywistym, że pewne fragmenty rozprawy stanowią opis istniejącego stanu wiedzy i nie są wynikiem badań Autora. Analiza stanu wiedzy z właściwym uźródłowieniem jest jednak niezbędnym elementem rozprawy. Zatem niepotrzebnym jest umniejszanie wkładu Autora w powstanie rozprawy, poprzez wskazywanie obszarów, które uznaje On jako elementy wkładu własnego.

4.2. Struktura pracy

Praca posiada poprawną strukturę, typową dla rozpraw doktorskich. Obejmuje część wstępną, zawartą w rozdziale pierwszym, część zasadniczą, zawartą w rozdziałach od drugiego do piątego, oraz część podsumowującą, przedstawioną w rozdziale szóstym. Strukturę pracy w części początkowej uzupełniają streszczenia, spis rzeczy oraz spis oznaczeń, natomiast w części końcowej spis literatury, wykaz rysunków i tabel oraz załączniki.

Część wstępną zawarto w rozdziale pierwszym. Obejmuje on ogólne wprowadzenie do zagadnienia, definiuje problemy wymagające rozwiązania oraz przybliża czytelnikowi podstawowe definicje i struktury urządzeń, będących przedmiotem analizy w pracy. W części wstępnej zawarto także definicję tezy pracy oraz zakresu podejmowanych problemów. Elementem pracy, który powinien znaleźć się w tej części pracy w sposób spójny jest analiza bieżącego stanu wiedzy. Autor przeprowadza rozważanie na temat różnych aspektów stanu wiedzy, odnosząc się do odpowiednich źródeł literaturowych, przy czym nie definiuje w jakim zakresie dane badania są już wykonane, a jaki obszar jest wartością dodaną wynikającą z badań przeprowadzonych w niniejszej pracy doktorskiej. Zwarte przedstawienie stanu wiedzy pozwoliłoby w łatwy sposób zidentyfikować i ocenić wkład rozprawy w rozwój badań w zakresie dyscypliny naukowej.

Część zasadnicza pracy obejmuje cztery rozdziały. Są one poświęcone kolejno: i) analizie topologii przekształtnika i jego niezawodności w zastosowaniach elektroenergetycznych, ii) strategii sterowania przekształtników gwarantujących ich właściwą pracę w wymaganych trybach działania (trybu formowania napięcia oraz trybu wspomagania sieci), iii) komunikacji w trybie rzeczywistym między komponentami systemu pracujących jako elementy rozproszone systemu modularnego i wreszcie iv) analizie wyników symulacji i wyników badań eksperymentalnych. Symulacje i badania eksperymentalne przeprowadzone są łącznie dla całego systemu obejmując analizę obwodów mocy, układu sterowania i układu komunikacji. Takie podejście jest prawidłowe, ale ze względu na obszerność analizowanych zagadnień, właściwym mogłoby też być pominięcie niektórych zagadnień i wyłączenie ich z zakresu rozprawy. Autor zdecydował się jednak na analizę całościową.

Część podsumowująca zawarta jest w rozdziale szóstym. Trzystronicowe podsumowanie (rozdział zatytułowano „Summary”) zawiera zasadniczo, zgodnie ze swoją nazwą, podsumowanie jakościowe przeprowadzonych badań. Brakuje wniosków końcowych ujmujących rezultaty przeprowadzonych badań w ujęciu ilościowym. Zamieszczone podsumowanie obejmuje jednak wszystkie aspekty badawcze podejmowane w pracy, dlatego należy go uznać za wystarczające.

Fragmentem rozprawy jest też załącznik, podzielony na dwie części zawierające odpowiednio szczegóły modelu symulacyjnego oraz opis stanowiska laboratoryjnego. Usytuowanie załącznika nie do końca jest poprawne w strukturze pracy. Właściwszym byłoby umieszczenie załącznika jako rozdziału nienumerowanego (lub opatrzonego innym rodzajem numeracji) na końcu pracy, po wykazie literatury. Można było również, po pewnym skróceniu, włączyć go do części zasadniczej pracy (jest to na tyle interesujący materiał, że część zasadnicza byłaby dla niego właściwa). Powyższa uwaga ma charakter estetyczno-porządkowy i nie wpływa na ocenę jakości pracy.

5. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Kamila Jana Moźdzynskiego pt. „Fault-tolerant and resistant to grid voltage distortion 4-leg DC/AC converter applied to Power Electronics Transformer” obejmuje szerokie spektrum zagadnień inżynierskich. Jej ocena merytoryczna przeprowadzona została pod kątem wkładu rozprawy w rozwój dyscypliny „automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne”.

5.1. Ocena ogólna

Praca dotyczy istotnego, ale i złożonego merytorycznie zagadnienia, jakim jest zastosowanie przekształtników energoelektronicznych w sieciach dystrybucyjnych, z zapewnieniem odpowiedniej niezawodności pracy urządzenia i całego systemu. W rozprawie Autor przeprowadził wieloaspektową analizę pracy czterogłęziowego przekształtnika DC/AC stanowiącego część strony niskiego napięcia tzw. transformatora energoelektronicznego (Power Electronics Transformer, w skrócie PET). Analiza w pracy prowadzona jest w trzech głównych obszarach tematycznych, to jest doboru topologii przekształtnika tolerującego uszkodzenia oraz odpornego na odkształcenia napięcia sieci, analizy struktur i algorytmów wymaganego do takiego rozwiązania układu sterowania oraz sposobu komunikacji między rozproszonymi komponentami systemu.

W pracy przeprowadzono wieloaspektową analizę różnych topologii przekształtnika DC/AC pracującego po stronie niskiego napięcia transformatora energoelektronicznego. Wskazano w tym zakresie trzy topologie wiodące: NPC, FC oraz TC i przeanalizowano ich zachowanie w stanach awaryjnych zaworów (zwarcia i przerwania obwodu). Szczegółowo przeanalizowano możliwości budowy struktur modularnych dla różnego poziomu złożoności (zawór, gałąź, przekształtnik i system) oraz pracę poszczególnych komponentów w układzie zwielokrotnionym, równoległym lub szeregowym, zapewniającym odpowiednią redundancję oraz niezawodność mierzoną czasem, przez który urządzenie pozostaje nieuszkodzone. Wskazano na topologię TC (Transistor Clamped), jako wykazującą najkorzystniejsze właściwości pod względem odporności na uszkodzenia i zakłócenia.

Bardzo obszerną część pracy stanowi analiza układu i procesu sterowania przekształtnikiem zapewniającego wymaganą niezawodność i zapewniającą stabilne sterowania wymaganą liczbą zaworów. Zdefiniowano wymagania stawiane przekształtnikom z punktu widzenia ich wpływu na sieć (jakość energii, zarządzanie energią, niezawodność, sprawność, itp.). Przeprowadzono analizę różnych strategii sterowania pozwalających na uzyskanie oczekiwanych funkcjonalności układu, między innymi kompensację harmoniczną, formowanie sieci, wspomaganie sieci. Przeprowadzono także analizę strategii sterowania wymaganych w przypadku rekonfiguracji topologii przekształtnika związanych z wystąpieniem uszkodzeń wybranych komponentów.

Uzupełnieniem wspomnianych dwóch obszarów badawczych podjętych w pracy jest analiza komunikacji na potrzeby rozproszonych systemów energoelektronicznych. Ten fragment pracy nie jest obszerny, ale porusza istotne dla uzyskania niezawodności pracy całego systemu aspekty. Autor przeanalizował w tej części dostępne standardy komunikacji dedykowane do energoelektroniki oraz dla wybranego standardu przeprowadził analizę funkcjonalności komunikacji w wielomodułowych systemach rozproszonych.

Warto podkreślić, że całość opisanej powyżej analizy spina fragment poświęcony weryfikacji symulacyjno-eksperymentalnej przedstawionych w pracy rozważań. Autor przeprowadził badania oparte na modelowaniu i eksperymencie dla pracujących równolegle przekształtników czterogłęziowych. Badania symulacyjne przeprowadzono na bazie oprogramowania PLECS. Eksperymenty zrealizowano w warunkach laboratoryjnych, w których badany system przekształtników zasilany był z programowalnego źródła DC i obciążony emulatorem sieci. Zaprezentowano szerokie spektrum rezultatów potwierdzających konkluzje teoretyczne sformułowane w pracy.

Zaproponowana struktura układu przekształtnika czterogłęziowego wraz z zaproponowanymi odmianami topologii i strategiami sterowania stanowią **oryginalne rozwiązanie** wskazanego w ramach tezy pracy **problemu badawczego**, wnoszącego istotny wkład w rozwój dyscypliny „automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne”. Przekrojowe podejście do analizowanych zagadnień, umiejętność wnioskowania oraz weryfikacji badań teoretycznych poprzez symulację i eksperyment potwierdzają

umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej przez jej Autora. Umiejętne powiązanie zagadnień z różnych obszarów wiedzy, w szczególności energoelektroniki (topologii przekształtników) i teorii sterowania oraz ich zastosowanie w analizie numerycznej i eksperymencie laboratoryjnym potwierdzają, że Autor posiada **ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie**, w ramach której prowadzone były badania.

Przedstawiona powyżej ocena ogólna potwierdza wysoką wartość naukową ocenianej pracy. Obszerny materiał merytoryczny zamieszczony w pracy dobrany został w sposób staranny i przemyślany, co daje bardzo dobry obraz ogólny recenzowanej rozprawy.

5.2. Uwagi dyskusyjne

W trakcie lektury pracy nie natrafiono na istotne niedociągnięcia lub błędy merytoryczne w zakresie analizowanych zagadnień, wymagające uzupełnień lub zmian w treści rozprawy. Niektóre zagadnienia wymienione w tej części recenzji odnoszą się do zagadnień, które Autor przedstawił lub wyjaśnił w sposób niejednoznaczny lub niepełny. Poniżej przedstawiono uwagi dyskusyjne do pracy. Wskazano również zagadnienia, które są nieprecyzyjne pod względem nomenklatury lub zastosowanych oznaczeń.

1. W rozprawie Autor bardzo oszczędnie posługuje się wielkościami liczbowymi oraz miernikami ilościowymi – dominuje analiza o charakterze jakościowym. Przykładowo, na str. 25 jest mowa, że struktury PET zawierają transformatory średniej lub wysokiej częstotliwości (MFT lub HFT). Jest też mowa, że wzrost częstotliwości skutkuje zmniejszeniem gabarytów transformatora. Nigdzie nie zdefiniowano, co znaczy wg Autora MFT oraz HFT, jakie są zakresy (istniejące lub rekomendowane) pracy transformatora w PET i jak się ma częstotliwość pracy transformatora do częstotliwości przełączania zaworów. Być może poza zaletą zmniejszania gabarytów urządzenia są również jakieś wady podwyższania częstotliwości pracy?
2. Odnosząc się jeszcze do aspektów częstotliwości pracy, należy zauważyć, że oznaczenie na rys. 5 jest nieco niefortunne. Zapis MFT/HFT sugeruje zmianę częstotliwości z MF na HF w transformatorze klasycznym (analogicznie do oznaczenia AC/DC). Nieprecyzyjny jest również rys. 6. Oznaczenie poziomów częstotliwości przy blokach AC/DC i DC/AC jest mylące. Przykładowo, nie wiadomo, czy dla falownika „100 kHz” oznacza częstotliwość przełączania zaworów, czy też częstotliwość napięcia wyjściowego. Oznaczenie częstotliwości wystarczyłoby przy źródle (50Hz), transformatorze (100 kHz) i wyjściu (50 Hz). Pozostałe oznaczenia mogłyby dotyczyć poziomów napięć. Nie podano na przykład proponowanego napięcia na szynie DC LV, co wydaje się być wartością dość istotną.
3. I jeszcze jedna uwaga do części wstępnej pracy. Mianowicie, struktura rys. 1 sugeruje, że sieć dystrybucyjna jest rozciągnięta wyłącznie między prosumentami - brak połączenia z siecią dostarczającą energię z zewnętrznego źródła (elektrowni), a rolą PET jest połączenie (energy router) gospodarstw prosumenckich (mikrosieci) z siecią dystrybucyjną. Podobnie na rys. 4 - Autor usuwa w swoim rozważaniu źródła o charakterze centralnym, sugerując, że źródła odnawialne i energia odzyskiwana z procesów wystarczy na zaspokojenie potrzeb energetycznych. Stwierdzenie : "Large central generators won't be necessary for energy trading." jest poprawne wyłącznie jeżeli będziemy mówić o dość odległej przyszłości, znacznie odleglejszej od tej, w której zastosowanie znajdą transformatory elektroniczne.
4. W podrozdziale 2.1 prowadzona jest analiza niezawodności struktur przekształtników. Analizę niezawodności Autor prowadzi w oparciu o współczynniki uszkodzeń poszczególnych komponentów. Wskazaniem byłoby przytoczenie choćby jednego przykładu odnoszącego się do ujęcia ilościowego analizy tych współczynników, w szczególności, że współczynniki zdefiniowane dla komponentów podstawowych

formują współczynniki kolejnych poziomów oraz wpływają na końcowy współczynnik uszkodzeń (czy też niezawodność definiowaną średnim czasem do uszkodzenia). Autor poprzestał na zdefiniowaniu współczynników i podaniu ich zależności ogólnej.

5. Wybierając najkorzystniejszą topologię do przekształtnika Autor stwierdza, że (str. 50) „The T-Type topology addresses the greatest number of scenarios and demonstrates higher processing efficiency compared to the other topologies. In the event of a transistor failure, the number of voltage levels reduces from three to two.” Autor nie wskazał, jakie wady ma wybrana topologia względem dwóch pozostałych, a zatem z jakimi niekorzystnymi cechami będzie się trzeba zmierzyć przy jej zastosowaniu. Z czego wynika i o ile wyższa jest sprawność procesu wybranej topologii od pozostałych?
6. W rozdziale 2.3.2. dyskutując kwestie redundancji elementów Autor stwierdził, że: “Conversely, increasing the component number worsens reliability. And the most reliable part is the one that does not exist.” Z tego stwierdzenia wynika, że redundancja poprzez zwielokrotnianie elementów zmniejsza niezawodność urządzenia. Wymagałoby ono nieco szerszego komentarza. Czy taka sytuacja zawsze ma miejsce i czy takie stwierdzenie jest zawsze prawdziwe? Na podstawie jakich obserwacji lub źródeł ta teza została postawiona?
7. Podpis pod rys. 36 jest nieprawidłowy. Rysunek ten nie przedstawia zależności częstotliwości rezonansowych od liczby gałęzi równoległych, a raczej przedstawia charakterystyki częstotliwościowe filtra dla różnej liczby gałęzi jako parametru. Przy opisie tego rysunku warto byłoby zaznaczyć, że n to liczba gałęzi.
8. Oznaczenie bloku głównego na rys. 8 jako „PET LV stage” jest nieprecyzyjne i niezbyt fortunate. Taki blok nie został wcześniej zdefiniowany (np. na rys. 6 są aż cztery bloki oznaczone jako LV, ale żaden nie odpowiada temu z rys. 8). Dodatkowo oznaczenie PET sugeruje że jest to transformator – transformator, który zasilany jest ze źródła DC. Korzystniejszym byłoby zatem nazywanie tego układu przekształtnikiem DC/AC.

5.3. Dobór i wykorzystanie źródeł

Spis literatury w rozprawie zawiera 69 pozycji, w zdecydowanej większości anglojęzycznych. Cytowana literatura odnosi się do aktualnego stanu wiedzy, większość pozycji opublikowanych zostało w ostatnich dziesięciu latach – tylko 10 pozycji jest starszych. Literatura jest prawidłowo cytowana w tekście pracy, a wykorzystanie literatury jest zasadne. Niestety ze względu na obszerność pracy oraz na dość szerokie spektrum podejmowanych wątków tematycznych, w pracy występują obszary i zagadnienia, w których liczba cytowań wydaje się być niewystarczająca.

Jak już wspomniano, Autor nie zdecydował się na umieszczenie w pracy zwartej części (np. rozdziału lub jego części) poświęconego analizie stanu aktualnego wiedzy. Autor odnosi się do aktualnego stanu wiedzy analizując poszczególne zagadnienia. Takie podejście można uznać jako właściwe ze względu na wielowątkowość rozprawy. Utrudnia to jednak ocenę, które fragmenty analizy są zaczerpnięte z literatury, a które są wynikiem pracy badawczej Autora. W pracy są pewne fragmenty tekstu, gdzie odniesień do literatury ewidentnie brakuje lub są bardzo limitowane. Przykładowo zdanie w końcowej części sekcji 1.4 stanowi, że: “To date, literature has primarily focused on the stable operation of a single converter within a grid”. Autor niestety nie podaje w tym miejscu żadnych odniesień literaturowych. Podobnie stwierdzenie: “Many solutions have been presented in the literature with redundant features that do not participate in regular operation...” nie jest odniesione do żadnej literatury. Podrozdział 1.5 poświęcony problemowi niezawodności nie zawiera ani jednego odniesienia do źródeł.

Podsumowując, mimo wskazanych wyżej niedociągnięć, dobór i wykorzystanie źródeł należy uznać za prawidłowe i wystarczające na potrzeby rozprawy.

5.4. Ocena strony redakcyjnej

Strona redakcyjna rozprawy jest bardzo dobra. Mimo znacznej swojej objętości – 183 stron licząc łącznie z załącznikami, Autor zadbał o pełną jednolitość tekstu i nienaganną stronę graficzną. W tekście zamieszczono łącznie 116 rysunków i 19 tabel (Autor zamieścił spis rysunków i tabel na końcu rozprawy). Materiał graficzny jest dobrze dobrany, czytelny i zasadny pod względem merytorycznym. Pewnym mankamentem jest fakt, że przy niektórych rysunkach Autor umieścił bardzo oszczędne podpisy, wymagające wyszukiwania w tekście szczegółowych informacji i oznaczeń. W niektórych przypadkach wygodniejszym byłoby umieszczenie tych informacji w podpisie lub w formie legendy. Wskazano by też zaznaczenie w podpisach, które z rysunków są zaczerpnięte z literatury (poprzez zamieszczenie cytowania), a które zostały opracowane przez Autora.

Praca została napisana w języku angielskim. Język pracy jest zwięzły, logiczny i spójny tematycznie. Ułatwia to bardzo lekturę pracy i umożliwia łatwą analizę prezentowanych zagadnień. Mimo wspomnianej obszerności rozprawy, w tekście nie zauważono praktycznie błędów edycyjnych, literówek, czy błędów interpunkcyjnych (pojedyncze, np. literówka w tabeli 1 „Distridution” zamiast „Distribution”, są praktycznie niezauważalne). Świadczy to o skrupulatnym i solidnym podejściu Autora do przygotowania rozprawy, która pod względem redakcyjnym zdecydowanie zasługuje na wyróżnienie.

6. Podsumowanie i konkluzja końcowa

Założone cele pracy zostały osiągnięte. Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami prowadzenia badań analitycznych i numerycznych oraz weryfikacji eksperymentalnej, wykazując tym samym zdolność do prowadzenia pracy naukowej w zakresie nauk inżyniersko-technicznych. Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie naukowej **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**. Uznaję również, że teza rozprawy została w pełni uzasadniona. Pozwala mi to na sformułowanie następującej konkluzji końcowej:

KONKLUZJA KOŃCOWA

Na podstawie lektury przedłożonej mi do recenzji rozprawy i po analizie jej treści stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska zatytułowana: ***Fault-tolerant and resistant to grid voltage distortion 4-leg DC/AC converter applied to Power Electronics Transformer***, autorstwa Pana mgr. inż. **Kamila Jana MOŹDZYŃSKIEGO**, spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668, z późn. zm.) i w związku z tym **wnioskuję** do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o jej **dopuszczenie do publicznej obrony**.



.....