

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, 10.11.2022 r.

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia.....**18. 11. 2022**
Zarejestrowano pod nr
Podpis 

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Macieja Arkadiusza CHOJOWSKIEGO**
pt. *Izolowana przetwornica do dwukierunkowego przekazu energii o miękkim przełączaniu z wykorzystaniem pojemności pasożytniczych*

Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Marcin Baszyński, prof. AGH
Promotor pomocniczy: dr inż. Aleksander Dziadecki

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Arkadiusza Chojowskiego jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, dr hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH, z dnia 30 września 2022 r. informujące o powołaniu mnie przez wspomnianą Radę Dyscypliny, uchwałą z dnia 29.09.2022 r., na recenzenta rozprawy.

2. Wprowadzenie

Współcześnie energia elektryczna w systemach dystrybucyjnych oraz w procesach przemysłowych jest wielokrotnie przetwarzana i dostosowywana do szerokiego spektrum odbiorników i procesów. Dodatkowo, w celu ograniczenia zużycia energii, zachodzi konieczność jej wielokierunkowego przesyłu. Realizacja tego typu procesów odbywa się za pośrednictwem coraz bardziej wyrafinowanych przekształtników i systemów energoelektronicznych. Przekształtniki energoelektroniczne muszą się zatem charakteryzować jak najwyższą sprawnością i jak najwyższą gęstością energii oraz jednocześnie dużą szybkością przetwarzania. Prowadzone przez ośrodki naukowe badania nakierowane są zatem na osiągnięcie tego typu właściwości na kilka sposobów: poprzez zmianę struktury obwodów głównych, poprzez zmianę algorytmów sterowania, ale także poprzez stosowanie nowych, ulepszonych materiałów i komponentów, w szczególności półprzewodników.

Recenzowana rozprawa doktorska usytuowana jest w obszarze przekształtników energoelektronicznych prądu stałego. Autor poprzez zastosowanie ulepszonej struktury obwodów głównych połączonej z odpowiednim sterowaniem zaworami energoelektronicznymi stara się uzyskać urządzenie o wyższej sprawności oraz podwyższonej gęstości mocy. Badania tego typu są niezbędne ze względu na powszechne stosowanie urządzeń, które są przedmiotem badań Autora pracy w procesach przemysłowych do wysokosprawnego przetwarzania energii. Recenzowana praca wnosi zatem wkład w rozwój szerokiego i bardzo istotnego obszaru przekształtników prądu stałego.

3. Ocena strony formalnej rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska ma formę zwartej monografii o objętości 155 stron. Praca ma prawidłową strukturę, zawierającą spis oznaczeń, spis rzeczy, część zasadniczą podzieloną na dziesięć rozdziałów wraz ze spisem literatury oraz krótki, dwuczęściowy załącznik.



Tytuł recenzowanej rozprawy doktorskiej odpowiada w pełni jej treści, ułożonej w typową dla rozpraw doktorskich strukturę, to znaczy część wstępną, część zasadniczą i podsumowanie. Szczegółowo struktura pracy została omówiona w dalszej części recenzji.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem rozprawy jest przekształtnik DC/DC w strukturze Dual Active Bridge (DAB). Jest to przekształtnik izolowany umożliwiający dwukierunkową transmisję energii elektrycznej. Stosowany w przekształtniku transformator zapewnia izolację galwaniczną, ale jednocześnie umożliwia zmianę stosunku napięć na wejściu i wyjściu przekształtnika. Kierunek przepływu energii regulowany jest w przekształtniku poprzez zmianę kąta fazowego pomiędzy przekształtnikami składowymi (falownikiem i prostownikiem aktywnym). Praca poświęcona jest dwóm zasadniczym aspektom: konstrukcji przekształtnika z równoległymi tranzystorami w każdej z gałęzi oraz zapewnieniu beznapięciowego przełączania tranzystorów poprzez przeładowanie rezonansowe w obwodzie. Obydwa te zabiegi mają służyć podwyższeniu sprawności przetwarzania energii w przekształtniku.

4.1. Teza, cel i zakres pracy

W pracy, w sposób wyraźny została zdefiniowana teza, która mówi, że "możliwe jest wykorzystanie pojemności pasożytniczych układu i elementów biernych do realizacji miękkiego przełączania tranzystorów" przekształtnika DAB oraz że "wykorzystanie łączenia równoległego tranzystorów pozwala na zwiększenie sprawności układu dla dużych wartości (...) mocy". Pierwsza część tezy wskazuje, że Autor oczekuje wzrostu sprawności przy "miękkim" przełączaniu tranzystorów. Takie sformułowanie tezy wymagałoby wcześniejszego zdefiniowania, co Autor rozumie pod pojęciem "miękkiego przełączania". Druga część tezy odnosi się do zwiększenia sprawności poprzez równoległe połączenie tranzystorów. W tym fragmencie Autor zawęża oczekiwany wzrost sprawności tylko do "dużych wartości mocy", co może się wydawać stawianiem tezy pod otrzymane wyniki. Nie wspomniano jednak w tym miejscu o naturalnej korzyści stosowania równoległego połączenia tranzystorów, jakim jest wzrost mocy zainstalowanej przekształtnika. Udowodnienie tezy wymagać będzie zatem porównania sprawności przekształtnika przełączanego w sposób twardy (bez rezonansu) z układem zaproponowanym w pracy oraz porównania sprawności przekształtnika z pojedynczymi tranzystorami oraz tranzystorami zdublowanymi, połączonymi równoległe. Przeprowadzenie tego typu badań powinno bazować na modelowaniu numerycznym połączonym z badaniami eksperymentalnymi, co też w pracy ma miejsce.

W pracy, w sposób bezpośredni, zdefiniowano jeden cel główny, pokrywający się z tytułem rozprawy i nawiązujący do tezy. Celem tym jest przebadanie możliwości zwiększenia sprawności przekształtnika DAB poprzez modyfikację topologii, polegającej na równoległym połączeniu tranzystorów, a także przez enigmatycznie brzmiące "zbadanie zjawisk i opisujących je zależności (...) w szerokim zakresie mocy". Z tezy pracy wynikało bezpośrednio, że nacisk w pracy zostanie położony na komutację miękką tranzystorów. Deklaracja ta nie została jednak powtórzona wprost przy definiowaniu celu pracy.

W pracy nie zdefiniowano wprost celów cząstkowych. Wskazano jednak jakie działania zostały podjęte w ramach badań opisywanych w pracy. Poszczególne działania można uznać jako cele cząstkowe.

W rozprawie nie zdefiniowano jej zakresu w formie zwięzłego opisu. Zakres ten można określić dopiero na podstawie lektury rozprawy. Podanie zakresu w sposób jawny na początku pracy umożliwiłoby zdefiniowanie, jakie obszary badań są przedmiotem rozprawy, a jakie są poza jej zakresem. Praca jest wielowątkowa i obejmuje wiele różnych zagadnień. Niektóre z nich były bezpośrednim obszarem zainteresowań Autora, a inne, jak można się domyślać, stanowiły jedynie element uzupełniający i nie były badane w sposób systematyczny. W pracy nie wskazano jednak w sposób jawny, co jest bezpośrednim obszarem zainteresowań Autora, a co zostało ujęte w pracy jako elementy uzupełniające. Można to częściowo wywnioskować z fragmentu zawierającego "wkład własny autora". Brak zdefiniowanego zakresu pracy nie stanowi jednak mankamentu natury merytorycznej.

4.2. Struktura pracy

Rozprawa składa się z dziesięciu rozdziałów oraz załącznika. Zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz symboli i skrótów, które zostały zawarte w pracy jeszcze przed spisem rzeczy. W dalszej części rozdziału omówiono szczegółowo zawartość poszczególnych rozdziałów rozprawy.

Pierwsze trzy rozdziały mają charakter rozdziałów wprowadzających. Rozdział pierwszy jest wstępem do pracy. Zawiera krótkie wprowadzenie na temat współczesnej roli energoelektroniki oraz tezę i cel pracy.

Rozdział drugi poświęcono opisowi struktur i wybranych właściwości przekształtników prądu stałego (DC/DC) stosowanych w energoelektronice. Rozdział ten można w pewnym względzie uznać jako analizę aktualnego stanu wiedzy. W pewnym względzie ponieważ rozdział ten jest dość lakoniczny i dość słabo uźródłowiony.

Rozdział trzeci poświęcono topologii i analizie sposobów sterowania układu DAB. Rozdział ten ma charakter analizy teoretycznej i bazuje na opisie analitycznym oraz modelowaniu numerycznym.

Rozdział czwarty, liczący prawie 30 stron, rozpoczyna część zasadniczą pracy. Poświęcono go zagadnieniom doboru parametrów oraz modelowania wybranej struktury przekształtnika DAB. W rozdziale odniesiono się do doboru poszczególnych komponentów przekształtnika oraz sposobu jego sterowania. Analiza przeprowadzona w rozdziale jest jednak bardziej podejściem jakościowym niż ilościowym.

Rozdział piąty obejmuje analizę przekształtników pracujących w układzie rezonansowym. Byłoby to bardziej oczywiste, gdyby Autor zamieścił w rozdziale oprócz różnego rodzaju analiz i schematów, jakiegokolwiek przebiegi prądów/napięć potwierdzające taką pracę. Rozdział piąty jest poświęcony zagadnieniom komutacji miękkiej pozwalającej obniżyć straty mocy przełączania tranzystorów oraz zagadnieniom równoległego łączenia tranzystorów (na co nie wskazuje nazwa rozdziału).

Rozdział szósty pracy poświęcono opisowi układu prototypowego skonstruowanego w pracy i jego komponentów. Pewnym mankamentem tego rozdziału, podobnie jak rozdziału czwartego jest mocno jakościowe podejście - dane w ujęciu ilościowym są często wybiórcze i niekompletne, a tym samym utrudniają właściwą ocenę przyjętych założeń projektowo-konstrukcyjnych.

Rozdział siódmy zamyka część właściwą pracy i zawiera wyniki badań eksperymentalnych układu. W rozdziale zawarto wyniki pomiarów obwodowych, pomiary termiczne oraz analizy energetyczne bazujące na obliczeniach wtórnych.

Trzy ostatnie rozdziały mają charakter podsumowujący. Każdy z nich ma objętość jednej strony i zawiera kolejno wnioski z pracy, wkład własny autora oraz propozycję dalszych badań. Można odnieść wrażenie, że jak na monografię liczącą ponad 150 stron wnioski mogłyby być nieco obszerniejsze, ujmujące zarówno podsumowanie ogólne, jak i pewne wnioski szczegółowe. We wnioskach brak też odniesienia do postawionej w pracy tezy.

Podsumowując, struktura pracy jest poprawna, typowa dla rozpraw doktorskich. Zawiera wszystkie istotne informacje wymagane do opisu pracy badawczej bazującej na analizie teoretycznej, modelowaniu numerycznym i eksperymencie laboratoryjnym. Struktura zawiera też pewne niedociągnięcia w zakresie opisu badań, sformułowań i podziału treści. Ponieważ jednak struktura ta jest w ujęciu całościowym kompletna i wyczerpuje badane zagadnienie, rozprawa nie wymaga rozbudowy ani uzupełnień.

5. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska jest efektem realizacji badań w ramach przewodu doktorskiego wszczętego w dniu 25 kwietnia 2019 r. w dyscyplinie "Elektrotechnika", a na skutek zmian prawnych w strukturze dyscyplin naukowych sklasyfikowanego do dyscypliny "Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne". Praca zrealizowana została w obszarze elektrotechniki i w tym obszarze, będącym częścią nowej dyscypliny naukowej, została przeprowadzona jej ocena, w tym jej wkład w rozwój wspomnianego obszaru naukowego.

5.1. Ocena ogólna

Praca dotyczy istotnego zagadnienia, jakim jest poprawa właściwości przekształtników energoelektronicznych, w tym przypadku coraz bardziej popularnych ostatnio przekształtników DC/DC. W pracy Autor skupił się na dwóch zagadnieniach: i) zmniejszeniu strat wynikających z przełączania tranzystora poprzez zastosowanie przełączania beznapięciowego (zwanego w skrócie przełączaniem ZVS, czyli z j. ang.: *Zero Voltage Switching*) oraz ii) zmniejszeniu strat powstających na rezystancji $R_{DS(on)}$ tranzystora połowego poprzez równoległe połączenie tranzystorów danej gałęzi mostka H. W obydwu przypadkach podjęta została zatem próba redukcji strat mocy powstających w zaworach energoelektronicznych przekształtnika. Jest to **oryginalne rozwiązanie** wskazanego **problemu naukowego**, który podjęto w rozprawie. Dodatkowo należy zauważyć, że Autor analizuje przekształtniki z tranzystorami w technologii SiC. Jest to jedna z najnowszych technologii, która oferuje elementy półprzewodnikowe o bardzo dobrych właściwościach. Takie podejście sprawia, że badania prezentowane w pracy są nowatorskie, wartościowe oraz oczekiwane przez rynek przekształtników energoelektronicznych. Dodatkowym atutem pracy jest przekrojowe, systematyczne podejście do prowadzonych badań. A to potwierdza **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej** przez Autora. W pracy przeprowadzono pełny cykl badawczy rozpoczynając od analizy teoretycznej, poprzez modelowanie numeryczne po konstrukcję prototypu oraz jego testy laboratoryjne. Takie podejście pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników sprawdzonych zarówno pod względem poprawności przyjętego rozważania, jak i ich stosowalności przemysłowej. Przekrojowe podejście potwierdza również, że Autor **posiada ogólną wiedzę teoretyczną** w dyscyplinie, w ramach której prowadzone są badania. Obszerny i nietrywialny **komponent praktyczny badań**, w tym wykonanie obwodów silnoprądowych i układów sterowania oraz ich wielokryterialne przebadanie zasługują na **wyraźne podkreślenie**, a praca na **wyróżnienie**.

Praca w zakresie oceny ogólnej ma też pewne niedociągnięcia, których wyeliminowanie mogłoby jeszcze podnieść jej wartość naukową. W tym zakresie należy wyróżnić trzy kluczowe elementy: brak systematycznej analizy stanu aktualnego wiedzy, brak bezpośredniego powiązania wyników modelowania z wynikami eksperymentów oraz brak analizy poprawności przeprowadzonych pomiarów. W zakresie analizy stanu wiedzy Autor wielokrotnie odnosi się do źródeł literaturowych. Są to jednak odniesienia wybiórcze, służące głównie wskazaniu źródeł informacji, które Autor podaje w pracy bez wyprowadzenia lub uzasadnienia. Analiza stanu wiedzy powinna wskazywać, jaki jest stan badań prezentowany w literaturze względem badań podejmowanych w pracy, czyli w tym przypadku rezonansowego przełączania tranzystorów i ich pracy równoległej. W zakresie porównania badań analityczno-symulacyjnych z eksperymentalnymi Autor przeprowadził obszerną analizę numeryczną korzystając z dwóch różnych narzędzi obliczeniowych: Simulink i LT Spice oraz szereg badań eksperymentalnych, natomiast porównanie tych wyników w pracy jest bardzo wybiórcze i brak wniosków wynikających z tego porównania. Tak jak wspomniano Autor przeprowadził obszerne badania eksperymentalne. W pracy brak jednak jakiegokolwiek dyskusji wyników, w szczególności błędów i niedokładności pomiarowych. Jest to o tyle istotne, że Autor korzysta ze skonstruowanych przez siebie narzędzi pomiarowych (przykładem takiego narzędzia jest dzielnik napięciowy) i nie sprawdza jakości uzyskanych pomiarów. Zagadnienie to jest również bardzo istotne w analizie porównawczej. W jednym z kluczowych wyników w pracy pomiar sprawności dla porównywanych układów dał odpowiednio 94,2% oraz 94,8%. Autor wyciąga z tych pomiarów wnioski, nie sprawdzając jaką niedokładnością był obarczony pomiar. Praca byłaby zatem bardziej wartościowa, gdyby ten aspekt został przynajmniej przez Autora skomentowany i uzasadniony.

5.2. Uwagi dyskusyjne

Przedstawiona powyżej ocena ogólna pracy pokazuje jej wysoką wartość naukową. Wskazane niedociągnięcia odnoszą się do elementów, które zostały pominięte w trakcie edycji pracy, ale nie stanowią one błędów natury merytorycznej - lektura pracy wskazuje, że Autor był świadomy istotności tych zagadnień, ale przy szerokim spektrum poruszanych w pracy problemów, nieco je zaniedbał.

Lektura pracy wskazuje jednak na kilka zagadnień merytorycznych, które zostały poruszone w pracy w sposób niepełny lub niejednoznaczny i wymagałyby wyjaśnienia lub komentarza ze strony Autora.

Zagadnienia merytoryczne dla których wskazane byłyby wyjaśnienia ze strony Autora zostały wypunktowane poniżej w postaci uwag dyskusyjnych.

1. W podrozdziale III.1 na str. 39 Autor pisze, że "przesył energii w układzie DAB jest najczęściej realizowany ze współczynnikiem wypełnienia 50%. (...) w literaturze podawane są przykłady zmiany współczynnika (...)". Dlaczego Autor nie podał w tym miejscu żadnych konkretnych cytowań? Dalej autor omawia jak układ będzie się zachowywał przy zmniejszeniu współczynnika. A co się będzie działo przy jego zwiększeniu? Jak definiowany jest ten współczynnik? Jakie są zakresy jego zmian? Szkoda, że Autor w tej części nie posługuje się zdefiniowanym w spisie oznaczeń oznaczeniem D .
2. W podrozdziale IV.5 na str. 62 Autor przedstawia sposób praktycznej realizacji sygnału PWM. Na Rys. IV-7 sygnał PWM generowany przebiegiem piłokształtnym (ze zliczaniem w górę) powstaje, jeżeli wartość chwilowa przebiegu jest niższa od wartości referencyjnej ($u(t) < U_{ref}$), natomiast przy przebiegu trójkątnym (zliczanie w górę i w dół) sygnał ten powstaje dla wartości chwilowych wyższych od wartości referencyjnej ($u(t) > U_{ref}$). Z czego to wynika?
3. W podrozdziale IV.6 na str. 66 Autor pisze, że "identyfikację transmitancji układu można wykonać z danych pomiarowych lub dokładnego modelu symulacyjnego (...) np. (...) modele tranzystorów dostarczone przez producenta z programu LTSpice". Jaka jest dokładność (wiarygodność) tych modeli i czy Autor dokonywał jakiegokolwiek ich weryfikacji (np. w oparciu o literaturę)?
4. W podrozdziale IV.6 na str. 66 Autor pisze, że "estymacja pozwoliła na odwzorowanie odpowiedzi układu z dokładnością do 98,31%". Na bazie jakich danych przeprowadzona była ta estymacja i co w tym przypadku oznacza pojęcie dokładności, w szczególności, że jest to dokładność "do 98,31%"? Czy i jaki był jej dolny zakres?
5. W podrozdziale IV.7 na str. 74 Autor pisze, że "w urządzeniach energoelektronicznych największą część strat są (...) straty w łącznikach energoelektronicznych". Powyższe stwierdzenie jest niczym nie poparte. Czy jest ono zawsze prawdziwe (dla dowolnych założeń)? Czy straty w elementach magnetycznych przekształtników są zawsze niższe od sumarycznych strat w zaworach? Jaka była relacja strat mocy w zaworach energoelektronicznych względem strat mocy w elementach magnetycznych w przeprowadzonych przez Autora badaniach laboratoryjnych?
6. W podrozdziale IV.7 na str. 74 Autor pisze, że wielkość R we wzorze (IV-34) jest rezystancją łącznika (w stanie przewodzenia), natomiast w spisie oznaczeń R to "rezystancja obwodu z indukcyjnością sumaryczną w przekształtniku DAB". Rezystancja w stanie przewodzenia tranzystorów polowych jest zazwyczaj oznaczana jako $R_{DS(on)}$ i takiego oznaczenia dobrze byłoby się trzymać. Dodatkowo wzór (IV-34) definiuje straty przewodzenia, które Autor oznacza w tym wzorze jako P_R , natomiast w spisie oznaczeń P_R oznacza "moc rozpraszaną przez rezystor". Jak należy zatem interpretować wielkości występujące w tej zależności? Co dokładnie oznacza wartość I_{RMS} (taka wielkość nie występuje w spisie oznaczeń)? Czy w tej zależności należałoby uwzględnić jeszcze jakieś współczynniki korekcyjne?
7. W podrozdziale IV.7 na str. 75 Autor podaje wzór (IV-37) określający przeliczenie rezystancji przewodzenia tranzystora na wyższą temperaturę. Co oznacza w tym wzorze wielkość θ ? W tym samym rozdziale na str. 76 we wzorze (IV-43) występują wielkości P_{C1} i P_{C2} . Co to za wielkości?
8. W podrozdziale IV.7 na str. 77 Autor pisze, że "wszystkie podane współczynniki dotyczące materiałów oraz temperatury są stabelaryzowanymi wartościami dla ferrytów". Niestety nie podano, gdzie takie tabele się znajdują, albo z jakich tabel korzystano w badaniach przeprowadzonych w pracy? Współcześnie dostępna jest szeroka gama materiałów magnetycznych (w tym ogólnie pojętych "ferrytów"). Czy dla wszystkich tych materiałów współczynniki są takie same? Autor odnosi się we wspomnianym akapicie do publikacji [IV.8] - w jakim zakresie częstotliwości opisane są materiały magnetyczne w tej publikacji? Czy można uznać, że dla zakresu częstotliwości analizowanego w pracy współczynniki te będą takie same?

9. W podrozdziale IV.7 na str. 77 Autor podaje zależność (IV-49) określającą straty w uzwojeniu transformatora. Jak można wywnioskować z zależności Autor uwzględnia straty w uzwojeniu jako superpozycję strat prądu stałego (wynikających z rezystancji R_{DC}) oraz strat prądu przemiennego (obecna w zależności rezystancja R_{AC}). Czy przez uzwojenie transformatora płynie składowa stała prądu? Co Autor rozumie przez pojęcie "strat podstawowych", a co przez pojęcie "strat dodatkowych" (pierwsze zdanie na stronie 78)? Czy były w tym zakresie wykonywane jakieś obliczenia lub symulacje (np. modelowanie MES)? Proszę wyjaśnić czego dotyczy zależność (IV-50) na str. 78 (Autor pisze, że na jej podstawie można wyznaczyć straty w uzwojeniach w przekształtniku DAB) i co reprezentują wielkości w niej występujące?
10. W podrozdziale IV.7 na str. 79 Autor pisze, że "sprawność układu jest relatywnie wysoka" oraz że w "modelu symulacyjnym nie uwzględniono dokładnej wartości strat transformatora oraz połączeń w układzie". Jakie straty dotyczące elementów indukcyjnych i połączeń oraz w jaki sposób oszacowane uwzględniono przy wyznaczaniu sprawności układu?
11. W podrozdziale V.8 na str. 100 za pośrednictwem tabeli V-III Autor wyznacza wartość średnią rezystancji przewodzenia tranzystorów dla różnej wartości prądu. Jaki jest sens wyznaczania w ten sposób wartości średniej, jeżeli rezystancja tranzystorów zależy od prądu (rośnie wraz z wartością prądu)? Czy Autor porównywał parametry tranzystorów przy tym samym prądzie, ale kilkukrotnie powtórzonym pomiarze? Autor pisze, że "większa temperatura spowoduje wzrost rezystancji (...) co może spowodować pozytywny efekt z punktu widzenia podziału prądu (...) ". Czy analizowany był wpływ wzrostu rezystancji temperatury tranzystora (na skutek zmiany temperatury lub/i zmiany prądu) na sprawność układu?
12. W podrozdziale VI.1 na str. 107 Autor pisze, że "maksymalny błąd względny uzyskano dla 880 W i wynosił on 5,94%". W jaki sposób zdefiniowano ten błąd? W jaki sposób mierzona była moc i straty mocy? Co to jest "moc transferowana" (w pracy brak definicji takiej wielkości)?
13. W rozdziale VI na str. 106, w podrozdziale VI.2 na str. 111 Autor używa pojęcia "kondycjonowania sygnałów pomiarowych". Poświęca temu zagadnienia również podrozdział VI.6.2. Autor nie wyjaśnił jednak co należy rozumieć pod tym pojęciem i w jakim celu te zabiegi były prowadzone?
14. W podrozdziale VI.4 na str. 116 Autor pisze, że "parametry zastępcze transformatora wyznaczono analizatorem impedancji" (...). Przy jakim prądzie (analizatora) oraz w jakiej temperaturze wyznaczane były parametry transformatora? Czy na podstawie zmierzonych wartości rezystancji wzdłużnej i poprzecznej oszacowano rozdział strat między uzwojeniami, a rdzeniem transformatora? Jaka była relacja strat mocy w transformatorze do strat mocy w dławiku i strat mocy w zaworach?
15. W podrozdziale VI.5 na Rys. VI-11 przedstawiono układ pomiaru napięcia (jak można wywnioskować z podpisu pod rysunkiem, jest to napięcie na szynie DC przekształtników), bazujący na dzielniku napięcia. Jak była oczekiwana dokładność pomiaru tego napięcia i ile wynosiła niepewność pomiaru wynikająca z nominalnego rozrzutu wartości rezystancji rezystorów składowych?
16. W podrozdziale VII.2 na str. 135 Autor zamieścił wyniki pomiaru mocy i sprawności układu eksperymentalnego z jednym i dwoma tranzystorami w każdej gałęzi mostka H. Wyniki podano w postaci charakterystyk na str. 136. Jak wynika z charakterystyk zmierzone wartości mają bardzo zbliżone wartości. Czy Autor szacował ile wynosi niepewność pomiaru mocy i sprawności dla tych wyników? Jaki jest szacunkowy udział w stratach zaworów energoelektronicznych, a jaki elementów indukcyjnych i pozostałych?

Niektóre mniej istotne uwagi dyskusyjne, które nie wymagają wyjaśnień Autora, zamieszczono poniżej w celach informacyjnych, dając Autorowi możliwość ich uwzględnienia (lub unikania w przypadku błędnego rozumowania) w dalszej pracy badawczej.

- Autor posługuje się pewnymi pojęciami, zwyczajowo obecnymi w praktyce inżynierskiej, ale nie definiuje ich w pracy. Dlatego też często dla opisu tej samej wielkości, czy urządzenia posługuje się różnymi pojęciami. To w opracowaniach o charakterze technicznym bywa mylące i utrudnia

lekturę. Przykładowo, na str. 22 Autor używa pojęcia "konwerter" - pierwsza linia u góry strony, "przekształtnik" - ostatnie zdanie drugiego akapitu oraz "topologia" - początek ostatniego akapitu. Wszystkie te pojęcia odnoszą się do tego samego, dlatego dobrze byłoby to ujednoczyć.

- W podrozdziale II.1 na str. 25 Autor pisze, że "(...) w takim przypadku transformator zastąpiony jest dwoma cewkami powietrznymi". Jeżeli dwie cewki powietrzne są sprzężone to też jest to transformator.
- W niektórych fragmentach pracy autor zamieszcza wyprowadzenia zależności lub zamieszcza dane tabelaryczne, ale nie podaje, jakie znacznie dla pracy mają te dane i zależności lub w jaki sposób zostały wykorzystane. Dotyczy to np. podrozdziałów III.1 (str. 34), III.2 (str. 44), V.7 (str. 95-96). W rozdziałach tych wskazane byłoby zamieszczenie choćby krótkiej konkluzji podsumowującej, dotyczącej zamieszczonych danych.
- Rysunek III-6 zawiera wykres mocy względnej. Ustalenie skali rzędnych w zakresie wartości od -1.5 do 1.5 sugeruje, że moc rzeczywista może być wyższa od mocy odniesienia. Jeżeli zaś moc odniesienia to P_{max} , to oś rzędnych powinna być w zakresie od -1 do 1.
- Rysunek IV-13 zawiera w podpisie informację, że jest to "Przykładowa odpowiedź skokowa układu". Poprawnym określeniem jest przykładowa odpowiedź układu na skok jednostkowy.
- W podrozdziale V.4 na str. 83 Autor pisze, że "układ rezonansowy DAB może pracować z większą częstotliwością i sprawnością". Takie stwierdzenie nie zostało poparte żadnymi argumentami i trudno go uznać za prawdziwe, w szczególności w odniesieniu do częstotliwości.
- W podrozdziale V.6 na str. 84 Autor pisze, że "zapewnienie odpowiedniej energii pozwoli na realizację miękkiego przełączania w zerze napięcia". To określenie jest nieprecyzyjne, bo przełączanie to zarówno wyłączenie tranzystora, jak i załączanie, a pojęcie miękkiego przełączania używane przez Autora dość często ma dość złożoną definicję i dotyczy procesu komutacji zaworu zarówno względem prądu, jak i napięcia.
- W podrozdziale V.9 na str. 102 Autor powołuje się na wzór (V-38). W pracy brak zależności o takim numerze.
- W podrozdziale V.10 Autor pisze, że "(...) mniejszy obszar odprowadzania ciepła (...) mogą być przewidywanymi zaletami zastosowania miękkiego przełączania". Zmniejszenie obszaru odprowadzania ciepła przy tej samej mocy prowadzi do zwiększenia strumienia ciepła, co trudno uznać za zaletę. Tę myśl Autora należałoby rozwinąć i uzasadnić.
- W rozdziale VI na str. 106 w tabeli VI-I Autor podaje, że moc przesyłana ma wartość do 900 W, a zaraz poniżej pisze, że "układ DAB zaprojektowano (...) do pracy z obciążeniem do mocy 1000 W. Takie nieścisłości nie powinny mieć miejsca w opracowaniach inżynierskich, w szczególności na poziomie rozprawy doktorskiej.
- W podrozdziale VI.2 na str. 108 Autor pisze, że "układ DAB składa się z dwóch identycznych falowników". W rzeczywistości układ DAB zbudowany jest z dwóch przekształtników o identycznej strukturze, ale tylko jeden z nich pracuje w układzie falownika - drugi pełni rolę prostownika sterowanego. Poszczególne przekształtniki mogą pełnić te role zamiennie w zależności od kierunku przepływu energii, ale nie mogą być nazywane falownikami.
- W podrozdziale VI.3 opisano proces projektowy dławika. We wzorze (VI-5) podany jest wynik liczby zwojów w zaokrągleniu. Jak wiadomo liczba zwojów jest wielkością całkowitą, ale przy jej wyznaczaniu należałoby zaznaczyć w jaki sposób wynik został zaokrąglony. To będzie później wpływać na wartość wymaganej indukcyjności dławika.
- W podrozdziale VI.4 Autor używa pojęć "stan zwarcia" i "bieg jałowy". Należy to uznać za kolokwializmy z dziedziny maszyn elektrycznych. Należy pamiętać, że "bieg jałowy" dotyczy najczęściej maszyn wirujących (lub innych ruchomych). W przypadku transformatora poprawnym byłoby używanie pojęć: "stan jałowy" i "stan zwarcia". Niestety niepoprawne używanie tych pojęć można również spotkać wielokrotnie w literaturze i wśród specjalistów z branży.

5.3. Dobór i wykorzystanie źródeł

Spis literatury zamieszczony został w rozprawie na końcu każdego z rozdziałów, dla którego odniesienia do literatury występowały (brak jest spisu literatury dla niektórych rozdziałów w części wstępnej pracy i w podsumowującej). Łącznie spis literatury zawiera 75 pozycji dla 6 różnych rozdziałów w pracy. Jest wśród nich 5 pozycji książkowych, w tym jedna praca doktorska, 49 artykułów naukowych oraz 18 odniesień do materiałów technicznych, not katalogowych i innych źródeł najczęściej dostępnych w formie odnośników do stron internetowych. Niestety 9 pozycji zamieszczonych w spisie literatury nie zostało cytowanych w pracy. Są to pozycje [II.13], [II.14], [II.18], [V.14], [V.15], [VI.1], [VI.3], [VI.7] i [VII.8]. Ciekawym przypadkiem jest pozycja [VI.1], którą zamieszczono w spisie literatury rozdziału VI i nie cytowano. Natomiast ta sama pozycja występuje również w spisach rozdziałów II, IV i V i tam jest cytowana poprawnie. Niezrozumiałym jest również zamieszczenie dwóch pozycji: [V.8] i [V.9] odnoszących się do tego samego artykułu opublikowanego najpierw na konferencji, a następnie w czasopiśmie (ci sami autorzy i ten sam tytuł). Nie byłoby to wątpliwe gdyby Autor zacytował te pozycje w różnych miejscach pracy. Pojawiły się one jednak wspólnie na str. 98 bez wyjaśnienia, jaka jest między nimi różnica. Dla pozycji [IV.5] Autor nie podał wydawnictwa i roku wydania, natomiast dla większości źródeł internetowych podane zostały wyłącznie tytuł strony i link. Dla tego typu źródeł powinna zostać podana obowiązkowo data ostatniego dostępu do strony.

Poza podanymi powyżej mankamentami, w większości natury edytorskiej (pominięte w treści pracy cytowania dotyczą pozycji, z których Autor na pewno korzystał, bo są to w większości noty katalogowe i dane techniczne), **sposób uźródłowienia pracy** zarówno w zakresie merytorycznym, jak i technicznym **jest właściwy i wystarczający**. Biorąc pod uwagę obszerność pracy i poruszany zakres merytoryczny w pewnych fragmentach zasób źródeł literatury można byłoby zwiększyć (o tym już wspomniano w odniesieniu do analizy stanu aktualnego wiedzy), ale nie ma to istotnego wpływu na poprawność merytoryczną recenzowanej rozprawy.

W spisie literatury można znaleźć 3 współautorskie pozycje, dla których Autor pracy jest pierwszym współautorem. Dwie z nich opublikowano w czasopiśmie krajowym (Przegląd Elektrotechniczny), a jedną na konferencji międzynarodowej. Autor nie wskazał żadnej publikacji z bazy JCR. **Wysoka, zasługująca na wyróżnienie, wartość merytoryczna pracy** związana jej charakterem praktycznym, mogłaby zostać w ten sposób rozpowszechniona w międzynarodowym środowisku naukowym.

5.4. Ocena strony redakcyjnej

Strona redakcyjna pracy jest poprawna. Język pracy jest zwięzły i logiczny. Część opisowa pracy uzupełniona jest dobrze dobranym aparatem matematycznym oraz przejrzystym i zrozumiałym materiałem graficznym. Autor stosuje numerację rozdziałów, wzorów i rysunków przypisaną do rozdziałów, co ułatwia odszukiwanie interesujących fragmentów w tekście. Autor zastosował również nagłówki stron w postaci tytułu pracy. Przy tak obszernym materiale wygodniejszym byłoby zamieszczenie w nagłówku tytułów rozdziałów zamiast tytułu pracy. Zamieszczony materiał graficzny, a także tabele i wzory są dobrze dobrane i czytelne, a w dotyczącym ich tekście najczęściej zamieszczono stosowne odwołania. Daje to dobry ogólny obraz rozprawy pod względem redakcyjnym.

Praca zawiera dość dużą liczbę drobnych błędów edytorskich i językowych, które nieco utrudniają płynną lekturę pracy. Błędy te zestawiono poniżej (skrót „R.” oznacza odpowiednio rozdział, podrozdział lub sekcję). Nie rzutują one w żaden sposób na poprawność merytoryczną pracy.

- R. II.1, str. 20, 2 akapit: wskazana jest strona bierna, tj. zamiast „*Energoelektronika wykorzystuje...*” powinno być „*W energoelektronice wykorzystuje się...*”
- R. II.1, ten sam akapit: zamiast „*przetwarzające*” powinno być „*przetwarzane*”
- R. II.1, str. 20, 3 akapit: ostatnie zdanie zamyka nawias, przy czym brak nawiasu otwierającego.
- R. II.1.1, str. 20, 3 linia od dołu: zamiast „*energia*” powinno być „*energii*”
- R. II.1.1, str. 22, 1 linia od góry: zamiast „*wejściowe*” powinno być „*wyjściowe*”

- R. II.1.1, str. 22, 1 linia 3 akapitu: zamiast „*Kolejnym*” powinno być „*Kolejną*”
- R. II.1.2, str. 24, nagłówek tabeli II-II: zamiast „*nieizolowane*” powinno być „*izolowane*”
- R. III.1, str. 32, 5 linia od góry: tekst „*Realizuje się również falownikami (...)*” nie jest zdaniem.
- R. III.1.1, str. 32, 6 linia 2 akapitu: zamiast „*który*” powinno być „*które*”
- R. III.1.2, str. 34, 3 linia 1 akapitu: zamiast „*bramkowych*” powinno być „*bramek*”
- R. III.1.2, str. 34, 9 linia 1 akapitu: zamiast „*rozproszenie*” powinno być „*rozproszenia*”
- R. III.1.2, str. 35, 2 linia od góry: zamiast „*napięcie*” powinno być „*napięcia*”
- R. III.1.2, str. 36, 3 linia od góry: zamiast „*przesyłaną*” powinno być „*przesyłanej*”
- R. III.1.2, str. 36, 4 linia od dołu: zamiast „*otrzymuje się gdy dla*” powinno być „*otrzymuje się dla*”
- R. III.1.3, str. 38, ostatni akapit: pierwsze zdanie jest niepoprawne językowo, w drugim zamiast „*która*” powinno być „*które*”
- R. III.1.4, str. 39, 5 linia sekcji: zamiast „*współczynnika impulsów*” powinno być „*współczynnika wypełnienia impulsów*”
- R. III.2.1, str. 40, przedostatnia linia od dołu: zamiast „*sterowań*” powinno być „*sposobów sterowania*”
- R. III.2.1, str. 41, 4 linia od góry: zamiast „*powodują*” powinno być „*powoduje*”
- R. III.2.2, str. 44, tekst pod wzorem (III-31): zamiast „*wewnętrzne*” powinno być „*wewnętrzne*” i zamiast „*przesunięcie*” powinno być „*przesunięcia*”
- R. III.5, str. 47, 4 i 3 linia od dołu: zdanie rozpoczynające się od „*Jeżeli nie można...*” jest niepoprawne - powinno zostać połączone przecinkiem ze zdaniem następnym
- R. IV.1.2, str. 53, ostatni akapit: zamiast „*mosteka*” powinno być „*mostka*”, zamiast „*ekwiwalenty*” powinno być „*ekwiwalentny*”, a zamiast „*Pojemność*” powinno być „*Pojemności*”
- R. IV.2.1, str. 55, ostatnie zdanie akapitu: zamiast „*dławik*” powinno być „*rdzeń*” i zamiast „*jako*” powinno być „*na*”
- R. IV.2.2, str. 55, przedostatnia linia: zamiast „*zmniejszyć*” powinno być „*zmniejszy*”
- R. IV.2.2, str. 56, ostatnie zdanie sekcji: zamiast „*wartość teoretyczną*” powinno być „*wartości teoretycznej*”
- R. IV.5, str. 58, ostatni akapit: zamiast „*kompatybilność EMI elektromagnetycznej*” powinno być „*kompatybilności elektromagnetycznej EMI*” i zamiast „*zastosować*” powinno być „*zastosowań*”
- R. IV.5, str. 59, 7 linia od dołu: zamiast „*wartością*” powinno być „*wartość*”
- R. IV.5.1, str. 61, 5 linia od góry: zamiast „*pojemność*” powinno być „*pojemności*”
- R. IV.5.2, str. 62, 1 linia sekcji: zamiast „*komparowanie*” powinno być „*komparowaniu*”
- R. IV.6.2, str. 65, 3 linia od góry: zamiast „*przeszły*” powinno być „*przesyłu*”
- R. IV.6.3, str. 67, 4 linia od góry: zamiast „*pozwalana*” powinno być „*pozwala*”
- R. IV.6.4, str. 69, tekst pod Rys. IV-12: Zdanie rozpoczynające się od „*Metoda ta pozwala na...*” oraz zdanie następne są niepoprawne językowo; podpis pod Rys. IV-13 powinien być na tej samej stronie co rysunek
- R. IV.6.4, str. 70, tekst pod wzorem (IV-29): zamiast „*dwa*” powinno być „*dwie*” i zamiast „*narostu*” powinno być „*narastania*”
- R. IV.7, str. 74, 1 linia podrozdziału: zamiast „*Obliczenie mocy strat*” powinno być „*Straty mocy*”
- R. V.6, str. 88, 2 linia przedostatniego akapitu: zamiast „*koniczne*” powinno być „*konieczne*”
- R. V.6, str. 91, podpis pod Rys. V-7: zamiast „*przełączania*” powinno być „*przełączanie*” i zamiast „*stronch*” powinno być „*stronach*”

- R. V.6, str. 93, 1 akapit od góry: zamiast „wykonanych” powinno być „wykonanymi” i zamiast „kondensator” powinno być „kondensatora”
- R. V.8.1, str. 96, 5 linia od dołu: zamiast „wyłączenie” powinno być „wyłączanie”
- R. V.8.1, str. 97, 2 linia od dołu: zamiast „doprowadzeni” powinno być „doprowadzeń”
- R. V.8.2, str. 100, nagłówki tabel V-III i V-IV: zamiast „resysnacji” powinno być „rezystancji”
- R. VI.1, str. 108, 1 akapit od góry: zamiast „sprawności” powinno być „sprawność” i zamiast „maksymalnemu” powinno być „maksymalnym”
- R. VI.2, str. 111, 1 linia od góry: zamiast „szybki czas załączenia i wyłączenie” powinno być „krótki czas załączania i wyłączania”
- R. VI.3.1, str. 114, ostatni akapit: zamiast „aligatorem” powinno być „analizatorem” i zamiast „ekwiwalentem” powinno być „ekwiwalentną”
- R. VI.4.1, str. 117, podpis pod Rys. VI-10: zamiast „zastępczy” powinno być „zastępczy”
- R. VI.8, str. 124, ostatnia linia: zamiast „zapewnienie” powinno być „zapewnienia”
- R. VII.2.2, str. 134, tekst pod wzorem (VII-3): zamiast „uproszczono” powinno być „uproszczony”
- R. VII.2.2, str. 137, 1 linia 2 akapitu: zamiast „rekompensowane” powinno być „rekompensowany”
- R. VII.2.4, str. 139, 2 linia od dołu: zamiast „wykreślone” powinno być „wykreślono”
- R. VII.4, str. 148, zdanie w podpunkcie 1: zdanie jest niepoprawne językowo i merytorycznie; w podpunkcie 2 zamiast „wyznaczono” powinno być „wyznaczony”
- R. VIII, str. 150, ostatni podpunkt: zamiast „Oznacz” powinno być „Oznacza”, a zamiast „przeciw przepięciowe” powinno być „przeciwprzepięciowe”

6. Podsumowanie i konkluzja końcowa

Założone cele pracy zostały osiągnięte. Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami prowadzenia badań analitycznych, numerycznych i eksperymentalnych, wykazując tym samym zdolność do prowadzenia pracy naukowej w zakresie nauk 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 pt. *Izolowana przetwornica do dwukierunkowego przekazu energii o miękkim przełączaniu z wykorzystaniem pojemności pasożytniczych* autorstwa Pana **mgr. inż. Macieja Arkadiusza CHOJOWSKIEGO** spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i w związku z tym **wnioskuje** do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o jej **dopuszczenie do publicznej obrony**.

