

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Barteckiej  
pt.: „Analiza dwukierunkowych, rezonansowych przekształtników DC/DC  
przeznaczonych do współpracy bateryjnych zasobników energii  
z mikrościeciami prądu stałego”**

**Promotor: prof. dr hab. inż. Józef Paska**

**Promotor pomocniczy: dr inż. Mariusz Kłós**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Barteckiej pt.: „Analiza dwukierunkowych, rezonansowych przekształtników DC/DC przeznaczonych do współpracy bateryjnych zasobników energii z mikrościeciami prądu stałego”, została opracowana na podstawie:

- D1. Pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, prof. dr. hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 25 maja 2022 r., na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej z dnia 24 maja 2022 roku oraz umowy o dzieło na recenzję doktorską.
- D2. Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 30 stycznia 2018 r., poz. 261).
- D3. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21 czerwca 2016 r., poz. 882).
- D4. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r., poz. 1668).

Z uwagi na to, że przewód doktorski mgr inż. Magdaleny Barteckiej był wszczęty przed dniem 30 kwietnia 2019 r. recenzja odnosi się do osiągnięć naukowych kandydatki w zakresie dyscypliny elektrotechnika będącej przedmiotem dotychczasowej działalności naukowej kandydatki, ale również określa relacje tych osiągnięć do dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika wg nowej klasyfikacji.

### 1. Podstawowe dane o Autorce rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Magdalena Bartecka studiowała na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w latach 2009-2014 na studiach I i II stopnia oraz w latach 2014-2020 na studiach doktoranckich. Tytuł magistra uzyskała w dniu 16 lipca 2014 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej na podstawie pracy magisterskiej pt.: „Projekt i budowa układu sterowania dla elementów wykonawczych mikrościeci prądu stałego” (opiekun: dr inż. Mariusz Kłós).

**Mgr inż. Magdalena Bartecka nie ubiegała się uprzednio o nadanie stopnia doktora.**

Przebieg pracy naukowo-zawodowej Autorki rozprawy doktorskiej przedstawiono w poniższej tabeli.

Tab. 1. Przebieg pracy naukowo-zawodowej Autorki rozprawy doktorskiej

| Lp. | Miejsce pracy  | Stanowisko                    | Okres zatrudnienia |
|-----|--|-------------------------------|--------------------|
| 1   | Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki | Asystent badawczo-dydaktyczny | Od 2015            |
| 2   | Grupa IEN, Warszawa  | Audytor energetyczny          | 2017               |
| 3   | European Academy of Bolzano, Włochy                                      | Pracownik naukowo-badawczy    | 2016-2017          |
| 4   | Biuro Projektowe ARUP, Warszawa  | Asystent projektanta          | 2013-2014          |
| 5   | „Mały Inżynier”, Warszawa  | Instruktor                    | 2012-2013          |

## 2. Ocena wyboru tematu

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Barteckiej dotyczy dwukierunkowych, rezonansowych przekształtników DC/DC przeznaczonych do współpracy bateryjnych zasobników energii z mikrosieciami prądu stałego. Bez wątpienia temat jest aktualny z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Świat ciągle poszukuje innowacyjnych rozwiązań w zakresie pozyskiwania energii do zaspokojenia podstawowych potrzeb ludzkości. Równocześnie należy zastanawiać się nad sposobem użytkowania energii tak, aby osiągnąć jak najwyższą efektywność energetyczną, ekologiczną i ekonomiczną. Te dwa aspekty, w świetle aktualnych problemów w światowej elektroenergetyce, wysuwają się na pierwszy plan. Trendy europejskie wskazują, że dążenie do lokalnie bilansowanych systemów energetycznych z dominującym udziałem energii ze źródeł odnawialnych jest nieuniknione. **Zatem, uzasadnione są prace naukowo-badawcze w zakresie mikrosieci elektroenergetycznych.**

W nowym spojrzeniu na przyszłe systemy elektroenergetyczne należy uwzględnić trendy europejskie oraz prognozę rozwoju innowacyjnych urządzeń elektroenergetycznych, minimalizując liczbę stopni przemian energetycznych. Przykładem są tutaj odbiorniki energii elektrycznej stosowane w domach i mieszkaniach końcowych odbiorców. Są to w większości urządzenia (przetworniki energii), których praca jest właściwa przy bezpośrednim zasilaniu napięciem lub prądem stałym. W obecnej sieci elektroenergetycznej jest napięcie przemiennie, dlatego wspomniane odbiorniki zasilane są pośrednio przez przekształtniki energoelektroniczne (prostowniki). **Zatem, uzasadnione są prace naukowo-badawcze w zakresie elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych prądu stałego, w tym mikrosieci.**

Rozwój technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych tak, aby całość aktualnie dostępnej energii z tego typu źródeł pozyskać (wyłączanie lub permanentne ograniczanie mocy jednostek wytwórczych nie powinno być dopuszczalne), biorąc pod uwagę profile zapotrzebowania na moc i energię elektryczną odbiorców, prowadzi do konieczności magazynowania energii. Magazyny energii już są, a w niedalekiej przyszłości jeszcze w większym stopniu będą niezbędnym elementem mikrosieci, który będzie włączony w nadrzędne systemy zarządzania pracą przyszłych systemów elektroenergetycznych. **Zatem, uzasadnione są prace naukowo-badawcze w zakresie możliwości wykorzystania magazynów energii we współpracy z elektroenergetycznymi sieciami dystrybucyjnymi prądu stałego, w tym mikrosieciami.**

Przyłączenie magazynu energii do sieci elektroenergetycznej, nawet prądu stałego, związane jest z dopasowaniem jego parametrów do parametrów sieci, zapewnieniem odpowiedniej jego eksploatacji z uwagi m.in. na trwałość i sprawność, ale również z uzyskaniem odpowiedniego stopnia i zakresu sterowalności jego pracą. Warunki krytyczne dotyczące pracy samych baterii określone są w systemach zarządzania pracą tych baterii (BMS), które są zintegrowane z samymi bateriami, stanowiąc bateryjne zasobniki energii. Pozostałe aspekty pracy magazynu energii, w tym współpraca z mikrosiecią, są osiągnięte i zapewnione dzięki zastosowaniu przekształtników energoelektronicznych. Współczesne trendy projektowania układów elektroenergetycznych polegają na projektowaniu poszczególnych elementów tych układów, w pierwszej kolejności z jak największą sprawnością energetyczną w jak najszerszym zakresie mocy lub natężenia prądu bądź napięcia. Do połączenia tych elementów w cały układ stosuje się przekształtniki energoelektroniczne, które również muszą charakteryzować się jak największą sprawnością energetyczną (np. wykorzystanie zjawiska rezonansu w załączaniu i wyłączaniu łączników energoelektronicznych). Poza tym przekształtniki są interfejsami między poszczególnymi elementami układu, dopasowując ich parametry tak, aby możliwa była ich współpraca (w przypadku magazynów energii muszą to być przekształtniki dwukierunkowe) oraz sprawiają, że poszczególne elementy są elementami podatnymi na sterowanie ich pracą, co ma decydujące znaczenie w nowoczesnym zarządzaniu pracą złożonych systemów elektroenergetycznych wykorzystujących optymalnie odnawialne źródła energii. **Zatem, uzasadnione są prace naukowo-badawcze w zakresie dwukierunkowych rezo-**

**nansowych przekształtników DC/DC przeznaczonych do współpracy bateryjnych zasobników energii z mikrosieciami prądu stałego.**

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Barteckiej w pełni wpisuje się w aktualne i przyszłe zagadnienia dotyczące zarządzania pracą elektroenergetycznych systemów dystrybucyjnych, zwłaszcza w kontekst zastosowania przekształtników energoelektronicznych stwarzających możliwości wspólnego połączenia i sterowania elementami tych systemów. **Podjęty przez mgr inż. Magdalenę Bartecką temat rozprawy doktorskiej jest zagadnieniem aktualnym w dyscyplinie naukowej elektrotechnika i interesującym z naukowego oraz praktycznego punktu widzenia. Biorąc pod uwagę nową kwalifikację dyscyplin naukowych (2019 rok), tematyka rozprawy wpisuje się również w dyscyplinę naukową automatyka, elektronika i elektrotechnika.**

### 3. Merytoryczna ocena rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona w postaci drukowanej na 145. stronach. Po stronie tytułowej są dwa streszczenia, pierwsze w języku polskim, drugie w angielskim. Na kolejnych trzech stronach jest spis treści. Wykaz oznaczeń zajmuje dwie strony. Następnie jest wstęp, 7 kolejnych rozdziałów, podsumowanie i wnioski końcowe oraz bibliografia, spis rysunków i spis tablic. Kolejność rozdziałów oraz podział treści na poszczególne rozdziały są właściwe.

W podrozdziale 1.1. Autorka przedstawiła skrótowo aspekt pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, w tym uzasadnienie dla instalacji magazynów energii. Z tezą, że jest zasadne zastosowanie magazynów energii w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych niskiego napięcia oczywiście należy się zgodzić. W podrozdziałach 1.2, 1.3 i 1.4 przedstawiono ogólne informacje dotyczące mikrosieci, w tym mikrosieci prądu przemiennego i stałego. Podrozdziały 1.5 i 1.6 dotyczą zasobników energii i ich funkcji w sieciach elektroenergetycznych oraz algorytmów sterowania i zarządzania pracą mikrosieci prądu stałego. Podrozdział kończący wstęp dotyczy przekształtników energoelektronicznych w sieciach inteligentnych. Ujęcie ogólne tematyki w poprzednich podrozdziałach uznaje się za zadowalające. Natomiast tematyka przekształtników energoelektronicznych, z uwagi na temat i zakres rozprawy mogłaby być przedstawiona w szerszym ujęciu.

Rozdział 2. dotyczy topologii dwukierunkowych przekształtników rezonansowych DC/DC. W tym rozdziale Autorka, korzystając z 17. źródeł literaturowych [26-42], przedstawiła podstawowe topologie układów elektrycznych i energoelektronicznych, w których wykorzystywane jest zjawisko rezonansu. Z punktu widzenia tematu rozprawy, zagadnienie wykorzystania zjawiska rezonansu do odpowiedniego załączania i wyłączenia łączników półprzewodnikowych jest istotne.

Rozdział 2. zawiera treść porządkującą ogólne topologie energoelektronicznych przekształtników rezonansowych. W literaturze przedmiotu przekształtniki energoelektroniczne, ze względu na występujące w nich obwody rezonansowe, dzieli się na przekształtniki: z obciążeniem rezonansowym, łącznikami rezonansowymi, rezonansowym obwodem pośredniczącym napięcia stałego oraz rezonansowym obwodem pośredniczącym napięcia przemiennego. Uwzględniając tę klasyfikację, przedmiotowe rezonansowe przekształtniki DC/DC do współpracy z zasobnikami energii w mikrosieciach prądu stałego wchodzą w jej zakres.

W podsumowaniu rozdziału 2, Autorka pisze, że zastosowanie szybkich łączników SiC oraz GaN pozwala na budowę układów z minimalną liczbą elementów biernych, o zmniejszonych rozmiarach i wysoką sprawnością. Warto było określić wymierne wartości lub wskaźników uzasadniające to stwierdzenie. Pisząc o optymalnym sposobie projektowania i budowy tego typu urządzeń, Autorka wskazuje na stabilną pracę układu i wysoką sprawność przy minimalnych wymiarach urządzenia. Zatem, problem należy do klasy wielokryterialnej optymalizacji budowy i doboru parametrów przedmiotowego układu. Ponadto uwaga zostaje zwrócona na konieczność uwzględniania w analizie tego typu układów zjawisk fizycznych, które często są pomijane, np. indukcyjności rozproszenia magnetycznego i pojemności pasożytni-

cze. Zagadnienie to jest zasadne, szczególnie w kontekście zmniejszenia strat energii podczas procesów łączeniowych przyrządów półprzewodnikowych.

Rozdział 3 zawiera cel i zakres pracy oraz tezę. **Celem pracy było „zapropozowanie praktycznej metody projektowania i budowy dwukierunkowych przekształtników rezonansowych DC/DC umożliwiających integrację magazynów energii małych mocy z mikrosieciami prądu stałego”** (str. 40). Cechami takiego przekształtnika miały być kompaktowa budowa oraz wysoka sprawność w szerokim zakresie mocy. W tym miejscu warto było również określić postulowane wartości sprawności i zakresu mocy, co zdecydowanie ułatwiłoby wykazanie realizacji celu. Walory naukowe tej pracy są określone w zadaniach naukowo-badawczych, których realizacja jest niezbędna do osiągnięcia założonego celu, wśród nich: usystematyzowanie opisu teoretycznego zjawisk zachodzących w przekształtnikach, analiza zjawisk pasożytniczych i strat energii w układach z łącznikami z azotku galu, opracowanie modelu matematycznego (z uwzględnieniem zjawisk pasożytniczych) na podstawie zaproponowanej metodyki w środowisku symulacyjnym oraz implementacja metody sterowania pracą przedmiotowego układu. Autorka sformułowała również tezę, że „możliwe jest zaprojektowanie i budowa przekształtnika dwukierunkowego CLLC, integrującego transformator wysokoczęstotliwościowy z obwodem rezonansowym, na podstawie kryterium minimalnego rozmiaru elementów magnetycznych, bazującego na iloczynie powierzchniowym  $A_p$ ” (str. 41). W kontekście tezy nasuwają się pytania i uwagi do dyskusji, co zostało przedstawione w kolejnym punkcie tej recenzji.

Rozdział 4 zawiera ogólne informacje dotyczące metod analizy sygnałów w przekształtnikach rezonansowych. Autorka najszerszej opisała podstawy metody analizy opartej na uwzględnieniu tylko harmonicznej podstawowej z rozwinięcia funkcji w szereg Fouriera. Opis metody analizy opartej na równaniach różniczkowych w dziedzinie czasu zajmuje już znacznie mniej miejsca, a metody analizy w dziedzinie częstotliwości z całkowitą i częściową korektą w dziedzinie czasu są zaledwie zasygnalizowane. Jest to uzasadnione w tym sensie, że metody te są stosunkowo dobrze opisane w literaturze, a Autorka w dalszej części pracy stosuje praktycznie tylko pierwszą z opisanych metod.

W rozdziałach 5 i 6 przedstawiono informacje dotyczące strat energii, zjawisk pasożytniczych i algorytmów sterowania w przekształtnikach rezonansowych LLC/CLLC. Oba rozdziały zostały opracowane na podstawie literatury, rozdział 5 – pozycje [57-82], rozdział 6 – pozycje [83-106]. Treść tych rozdziałów jest istotna z punktu widzenia projektowania i budowy przekształtników rezonansowych, natomiast wkład Autorki należy rozpatrywać w kategorii przeglądu literatury i usystematyzowania fizycznych podstaw dotyczących uwzględnienia zjawisk pasożytniczych oraz odpowiednich algorytmów sterowania, szczególnie w kontekście strat energii. W treści dotyczącej algorytmów sterowania przekształtnikami Autorka odnosi się do stosowanych metod analizy stanów pracy przekształtników. W pewnym sensie wyjaśnia to dlaczego w rozdziale 4 przedstawiono metody z bardzo istotnymi założeniami upraszczającymi, powodującymi niewysoką adekwatność, co znacząco ogranicza ich zastosowanie. Należy zatem rozróżnić zastosowanie metod analizy stanów pracy przekształtników na potrzeby układów sterowania, gdzie ewentualne niedokładności wyników zostaną zniwelowane np. zastosowanymi regulatorami oraz na potrzeby symulacji stanów pracy przekształtników, których wyniki są elementem procesu projektowego (szczególnie w kontekście sprawności energetycznej).

Rozdział 7 zawiera analizę procesu projektowania przekształtnika dwukierunkowego DC/DC w topologii CLLC. W dużej części jest to uporządkowanie wiedzy i doświadczeń publikowanych w literaturze przedmiotu, które jest podstawą do proponowanej przez Autorkę metodyki przedstawionej na końcu rozdziału w postaci schematu blokowego (str. 104, rys. 7.33). W podrozdziale 7.2 przedstawiono założenia projektowe i ograniczenia. Ten wątek został szerzej skomentowany w pytaniach i uwagach dyskusyjnych. W podrozdziale 7.4.9 przedstawiono przebiegi wybranych sygnałów przekształtnika CLLC z uwzględnieniem pojemności pasożytniczych uzwojeń transformatora, co ma wpływ na zaistnienie warunków ZVS. Do opisu i analizy działania przekształtnika Autorka zastosowała transmitancje operato-

rowe oraz charakterystyki amplitudowe i fazowe na bazie wcześniej omawianej metody aproksymacji składową podstawową (FHA). W podrozdziale 7.6 przedstawiono charakterystyki widmowe amplitudowe transmitancji operatorowej (wzmocnienie napięciowe) wyznaczone na podstawie wyprowadzonych wzorów. Wyniki dotyczą układu zarówno bez uwzględnienia zjawisk pasożytniczych, jak i z ich uwzględnieniem. Autorka porównała te wyniki z wynikami symulacji komputerowej. Pewien niedosyt stanowi mała ilość informacji dotyczących środowiska symulacyjnego i modeli matematycznych, które zostały użyte w analizach. Ma to istotne znaczenie w kontekście adekwatności wyników i wniosków z porównania rezultatów otrzymanych z wyprowadzonego wzoru i z symulacji. Podsumowując treść rozdziału 7, należy stwierdzić, że Autorka proponuje iteracyjny algorytm projektowania przekształtników energoelektronicznych w zastosowaniu do współpracy z baterijnymi zasobnikami energii oraz mikrosieciami prądu stałego. Jednak główne akcenty algorytmu dotyczą projektowania transformatora z uwzględnieniem warunków niezbędnych dla wykorzystania zjawiska rezonansu. W literaturze przedmiotu, jak sama Autorka również wykazała, jest wiele propozycji w tym temacie. Zatem, propozycję w ocenianej rozprawie doktorskiej należy rozpatrywać jako uporządkowaną procedurę projektowania transformatora, jako newralgicznego elementu przekształtnika energoelektronicznego CLLC w kontekście całkowitej sprawności energetycznej tego przekształtnika.

Rozdział 8 dotyczy prototypu przekształtnika w warunkach laboratoryjnych. W założeniach projektowych napisane jest, że moc podczas pracy zasobnika baterijnego zależy od chwilowej pojemności, a w trybie rozładowania to mikrosieć definiuje wartość mocy. Nie jest to jasne ujęcie problemu, ale z merytorycznej treści tego rozdziału wynika, że aspekt ten jest ujęty poprawnie. Tryb pracy (pobór energii elektrycznej z mikrosieci lub generacja energii do mikrosieci) oraz moc z jaką w danej chwili będzie pracował przekształtnik, oczywiście z uwzględnieniem warunków ograniczających (np. wynikających z warunków pracy samej baterii lub stanu jej naładowania) będzie uzależniona od nadrzędnego układu sterowania. Przedstawiona została dokumentacja zdjęciowa wykonanego prototypu przekształtnika o mocy 500 W (str. 114 i 115) oraz wybrane przebiegi podstawowych wielkości fizycznych w tym prototypowym układzie. Na tej podstawie można stwierdzić, że Autorka wykazała się umiejętnością budowy układu prototypowego i umiejętnością przeprowadzania pomiarów i rejestracji w celu analizy pracy tego układu. Jest to bardzo cenna umiejętność praktyczna, oczekiwana również w stosunku do osób ze stopniem doktora nauk technicznych. Należy jednak zaznaczyć, że pokazany w dokumentacji fotograficznej układ znajdował się w postaci raczej testowej, niż w postaci gotowego układu (prototypu) przeznaczonego do bezpośredniego zastosowania. Jak wiadomo konstrukcja (np. obudowa, rozmieszczenie przestrzenne modułów) układów przekształtnikowych pracujących z dużymi częstotliwościami musi spełniać również warunki kompatybilności elektromagnetycznej. Pewien niedosyt spowodowany jest tym, że w pracy nie ma wyników pokazujących pracę wykonanego przekształtnika energoelektronicznego w układzie docelowym, tzn. z jednej strony z zasobnikiem baterijnym, a z drugiej strony z mikrosiecią prądu stałego.

W rozdziale 9 znajduje się podsumowanie i wnioski końcowe. Autorka wymieniła wykonane zadania naukowo-badawcze oraz sformułowała główne osiągnięcia autorskie, konkludując że cel rozprawy został osiągnięty, a postawiona teza udowodniona.

W bibliografii znajdują się 134 pozycje, których dobór i wykorzystanie oceniane jest jako prawidłowe. Wśród wymienionych pozycji są dwa współautorskie artykuły Autorki. Spis literatury obejmuje pozycje o zasięgu światowym, w renomowanych czasopiśmie i liczących się w branży konferencjach. Uwzględnione są również prace polskich autorów, którzy zajmowali się wcześniej tematem energoelektronicznych przekształtników rezonansowych.

W końcu rozprawy doktorskiej znajdują się: spis rysunków oraz spis tablic.

#### 4. Pytania i uwagi dyskusyjne

1. W tezie rozprawy doktorskiej jako kryterium optymalizacji podany jest minimalny rozmiar elementów magnetycznych, charakteryzowany iloczynem pola przekroju po-

przecznego kolumny rdzenia ferromagnetycznego transformatora i pola powierzchni okna nawojowego. Przyjęte kryterium jest dyskusyjne w kontekście przeznaczenia projektowanego dwukierunkowego przekształtnika rezonansowego. Czy nie ważniejsze jest kryterium sprawności energetycznej całego układu i to w szerokim przedziale mocy (jak to określono w cechach przekształtnika sformułowanych po celu pracy (str. 40)) oraz w szerokim przedziale napięć? Niezbędne jest dodatkowe wyjaśnienie w jaki sposób minimalizacja iloczynu powierzchniowego  $A_p$  wpływa na sprawność układu i jego pracę w szerokim zakresie mocy i napięć.

2. W podrozdziale 4.2 wymieniono wiele ograniczeń dla stosowania metody aproksymacji składową podstawową (FHA) w analizie pracy przekształtników energoelektronicznych, a mimo to jest napisane, że „FHA jest stosowana najczęściej, szczególnie w procesie projektowania, gdyż pozwala na sformułowanie zwięzłych równań” (str. 42, 2d). Ta kwestia wymaga wyjaśnienia. Poza tym, w kontekście braku spójnej teorii mocy w obwodach elektrycznych z wielkościami fizycznymi o przebiegach odkształconych od sinusoidy (np. przebieg prostokątny napięcia), wyjaśnienia wymaga również zastosowanie tej metody do analizy strat energii w przekształtnikach energoelektronicznych.
3. W założeniach projektowych powinny być określone znamionowe parametry przekształtnika. Jak wynika z definicji wartości znamionowych, są to wartości wielkości fizycznych charakterystycznych dla danego przekształtnika na jakie ten przekształtnik został zaprojektowany i wykonany. Podstawowe parametry znamionowe przekształtnika to: moc, napięcia wejściowe i wyjściowe, sprawność lub natężenie prądów wejściowego i wyjściowego. Przekładnia napięciowa i częstotliwość rezonansowa nie należy do parametrów znamionowych. Są to oczywiście ważne wielkości z punktu widzenia założeń projektowych, ale nie znamionowe. Kolejnym ważnym zbiorem wartości w założeniach projektowych (ograniczeniach) są dopuszczalne zakresy zmian napięć wejściowego (od strony sieci) i wyjściowego (od strony akumulatora) oraz zmiana sprawności energetycznej przekształtnika w podanym zakresie zmian napięć i mocy (wynika to wprost z cech przekształtnika podanych po sformułowaniu celu pracy, str. 40, 7g).
4. Podrozdział 8.6 dotyczy strat w prototypie przekształtnika energoelektronicznego. W pierwszej części tego podrozdziału jest napisane, że straty są obliczane. W tabelicy 8.5 (str. 120) zestawione są wyniki wyznaczenia sprawności energetycznej układu prototypowego otrzymane z obliczeń analitycznych, symulacji oraz eksperymentu. Dla jakich warunków wyznaczono te wartości (tylko jedna wartość sprawności)? Następnie, na rys. 8.21 (str. 121) przedstawione są charakterystyki sprawności energetycznej prototypu przekształtnika w zależności od obciążenia. Należy sprecyzować co jest rozumiane pod pojęciem obciążenia w tym przypadku. Ponad to niezbędne jest scharakteryzowanie samego eksperymentu, m.in.: jaki układ był badany, jakie wielkości mierzono i w jaki sposób (w kontekście sprawności), ile punktów pomiarowych przyjęto do wykreślenia charakterystyki sprawności, jak wyliczono wartość sprawności na podstawie wyników pomiarów. Wyjaśnienia wymaga również stwierdzenie, że budowano urządzenie „najbardziej uniwersalne i dopasowane do różnych warunków pracy” (str. 121, 4g).

Wyżej wymienione pytania i wątki dyskusyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Barteckiej. Mają one na celu zachęcenie Autorki do bardziej dogłębnego przeanalizowania niektórych kwestii oraz do udzielenia dodatkowych wyjaśnień tam, gdzie wywody są niejasne lub dyskusyjne.

## 5. Osiągnięcia naukowe Autorki

Mgr inż. Magdalena Bartecka wykazała się wiedzą w zakresie budowy i działania dwukierunkowych rezonansowych przekształtników energoelektronicznych DC/DC. Na podstawie literatury i własnych doświadczeń określiła problemy dotyczące projektowania i wykonania

tego typu przekształtników, szczególnie koncentrując się na newralgicznym elemencie jakim jest transformator. Uzasadnia potrzebę zastosowania tego typu przekształtników w strukturze mikro sieci prądu stałego, jako interfejs między tą siecią i bateryjnym zasobnikiem energii. Wykazała się umiejętnością planowania i przeprowadzenia badań analitycznych (w oparciu o konkretne wzory) oraz badań symulacyjnych mających na celu potwierdzenie formułowanych postulatów naukowych w dążeniu do realizacji założonych celów.

**Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu procedury projektowania dwukierunkowych rezonansowych przekształtników DC/DC jako interfejsów między mikro sieciami prądu stałego z odnawialnymi źródłami energii oraz bateryjnymi zasobnikami energii.**

Główne osiągnięcia naukowe Autorki to:

1. Uporządkowanie zależności analitycznych opisujących zjawiska pasożytnicze w rezonansowych przekształtnikach energoelektronicznych oraz wykazanie ich wpływu na pracę tych przekształtników w kontekście wykorzystania właśnie zjawiska rezonansu.
2. Propozycja konkretnej struktury rezonansowego przekształtnika energoelektronicznego umożliwiającego przyłączenie baterijnego zasobnika energii do mikro sieci prądu stałego, która uwzględnia zjawiska pasożytnicze istotne z punktu widzenia działania układu w kontekście sprawności energetycznej (zmniejszenie strat energii w procesach łączeniowych).
3. Analiza procesu projektowania przekształtnika dwukierunkowego DC/DC w topologii CLLC, jako uporządkowanie wiedzy i doświadczeń publikowanych w literaturze przedmiotu, uzupełnione własnymi doświadczeniami Autorki oraz propozycja metodyki projektowania głównego elementu przekształtnika, jakim jest transformator, w kontekście wykorzystania zjawiska rezonansu w celu zmniejszenia strat łączeniowych z uwzględnieniem zjawisk pasożytniczych.
4. Budowa, uruchomienie i badania prototypu przekształtnika energoelektronicznego DC/DC o mocy 500 W z tranzystorami z azotku galu w warunkach laboratoryjnych, jako przykład proponowanej uporządkowanej procedury projektowania oraz wykazanie zakładanych rezultatów i określenie ograniczeń.

## 6. Uwagi redakcyjne

### 6.1. Uwagi ogólne

1. Powinny być stosowane ogólne zasady pisania tekstów technicznych. Symbole stałych i indeksy powinny być drukowane czcionką prostą, np.: str. 17, wzory (1.1) i (1.2) oraz w tekście po wzorach; str. 18, wzór (1.3) i tekst po wzorze. Symbole wielkości fizycznych powinny być drukowane czcionką pochyłą, np.: str. 18, rys. 1.3; str. 24, rys. 2.5; str. 25, rys. 2.6 i 2.7; str. 26, rys. 2.8; str. 27, rys. 2.10; str. 29, rys. 2.12; str. 30, rys. 2.13. Między wartością wielkości fizycznej i jej jednostką miary powinien być odstęp, np.: str. 53, rys. 5.3.
2. Wzory powinny stanowić spójną część tekstu. Np. wzór (2.1) na str. 22 jest wstawiony w środek tekstu, nie jest wprost związany z tekstem, co stanowi utrudnienie w czytaniu całego tekstu, podobnie wzory: (2.7) na str. 23; (2.8) i (2.9) na str. 27; (2.10) i (2.11) na str. 29; (2.12)-(2.14) na str. 30; (4.1) na str. 43; (4.2)-(4.5) na str. 44; itd.
3. Symbole stosowane we wzorach, na rysunkach i w tekście pracy powinny być takie same, np.: str. 18, wzór (1.3) i tekst po nim; str. 24, rys. 2.5 i tekst po nim.
4. Autorka w rozprawie stosuje schematy specyficzne dla określonego środowiska programowego, co utrudnia lekturę. W pracach naukowych powinno się stosować schematy nie budzące wątpliwości.

### 6.2. Uwagi szczegółowe

1. Str. 9 (5g). Na rys. 1.1 pokazano tylko jeden łącznik (wyłącznik) po stronie GN transformatora. Czy ma to jakieś konkretne znaczenie interpretacyjne, że pokazano tylko jeden łącznik?

2. Str. 18, rys. 1.3. Brak oznaczenia osi poziomej wykresu.
3. Str. 22, rys. 2.4. Przedstawiony jest schemat szeregowego połączenia trzech elementów: cewki, kondensatora i rezystora. Trudno to nazwać „schematem rezonansu szeregowego”. Błąd znaku po drugim znaku równości we wzorze (2.1), między reaktancją indukcyjną i pojemnościową jest traktowany jako błąd drukarski. Natomiast zastosowanie różnych symboli na schemacie i we wzorach nie pomaga w swobodnym odbiorze treści.
4. Str. 23 (8d). W opisie dotyczącym rys. 2.5 napisane jest, że „do zacisków wejściowych obwodu rezonansowego dołączono źródło napięcia przemiennego”, a dalej jest odwołanie do obwodu elektrycznego zasilanego ze źródła prądu stałego (str. 23, 5d).
5. Str. 24 (4g). Tekst dotyczący „sinusoidalnego prądu odbiornika” w kontekście tytułowych przekształtników DC/DC nie jest jasny. Jak fizycznie interpretować kąt  $f$ , który pokazano na rys. 2.8 (str. 26)?
6. Str. 27, rys. 2.9. Rys. 2.9 został zatytułowany „schemat układu rezonansu równoległego”, a jest to raczej schemat układu elektrycznego szeregowego obwodu rezonansowego z odbiornikiem przyłączonym równolegle (odbiornikiem równoległym). Ponadto, w kontekście przedstawionego na rys. 2.5 (str. 24) układu zasilającego (źródło napięcia prostokątnego), do połączenia wyjście przetwornika z obwodem prądu stałego niezbędny będzie prostownik z filtrem indukcyjnym (dopiero w podrozdziale 2.3 omawiane są przetworniki dwukierunkowe).
7. Str. 33 (2d). Powinno być „przetwornika”.
8. Str. 37 (7d). Powinno być „... dodatkowego kondensatora i cewki ...”.
9. Str. 45 (7g). Powinno być: „... rezystor  $R_{acsec}$ , którego rezystancja jest określona wzorem ...”.
10. Str. 46 (9g). Zdanie zaczynające się od „Transmitancja zależy od ilorazu napięć, ...” należy skorygować językowo.
11. Str. 46 i 47, wzory (4.17), (4.18), (4.21)-(4.23). Symbol pochodnej „d” należy drukować prostą czcionką, jak również symbol funkcji sinus „sin”. Dotyczy to również: str. 57 (2g), str. 68 (9g).
12. Str. 47, wzór (4.19). Brak indeksu „C” przy symbolu natężenia prądu. Dotyczy to również: str. 57, tytuł podrozdziału 5.4 oraz pierwsze zdanie w tym podrozdziale.
13. Str. 46 i 47. Wzory (4.18), (4.20) i wzór na napięcie na kondensatorze jako rozwiązanie równania różniczkowego (str. 47) powinny mieć różne fazy początkowe.
14. Str. 49 (1d). W rzeczywistym kondensatorze występują straty energii. Zjawisko to w schematach zastępczych reprezentowane jest rezystorem o odpowiedniej rezystancji. Zatem, pojęcie „strat na rezystancjach kondensatorów” jest nieprecyzyjne.
15. Str. 52 (3g). Sformułowanie „wartość rezystora” nie jest poprawne. Należy mówić o rezystancji rezystora (wartość rezystancji).
16. Str. 52 (13d). Sformułowanie „prąd skuteczny” nie jest poprawne. Należy mówić, po pierwsze o natężeniu prądu, po drugie o wartości skutecznej natężenia prądu. Dotyczy to również: str. 52 (5d), str. 98 (2g).
17. Str. 52 (13d). Moc strat przewodzenia tranzystora, przy stałej w czasie rezystancji (należy tę rezystancję precyzyjnie określić, nie wiadomo co to jest „rezystancja tranzystora”), jest proporcjonalna do kwadratu wartości skutecznej natężenia prądu lub moc strat przewodzenia tranzystora jest iloczynem rezystancji przewodzenia i kwadratu wartości skutecznej natężenia prądu. Dotyczy to również: str. 55 (13d).
18. Str. 53 (2g). Kolizja oznaczeń, symbol  $V_g$  był wykorzystywany wcześniej do oznaczenia napięcia przetwornika od strony sieci. Dotyczy to również: str. 53 (4d).
19. Str. 53, rys. 5.3. Separatorem w ułamkach w języku polskim jest przecinek. Jeżeli rozprawa napisana jest w języku polskim, to również tekst na rysunkach powinien być w języku polskim. Dotyczy to również, m.in.: str. 70, rys. 7.2 i 7.3; str. 89, rys. 7.14; str. 90, rys. 7.15, str. 91, rys. 7.16.



20. Str. 53 (2d). Wypisane symbole i objaśnienia ich znaczenia odnoszą się do symboli zapisanych we wzorze (5.4). W związku z tym symbol „ $R$ ” oznacza rezystancję, a nie rezystor.
21. Str. 64, rys. 7.1. Pokazany schemat zawiera symboliczne elementy pomiarowe (w postaci idealnych amperomierzy i woltomierzy) oraz indukcyjność  $L_m$ , która jeśli jest dodatkową indukcyjnością względem indukcyjności magnesowania obwodu magnetycznego transformatora powinna mieć wyraźnie inne oznaczenie. Tytuł tego rysunku sugeruje, że jest to schemat przekształtnika, a na schemacie oprócz przekształtnika są również źródło napięcia  $V_g$  (napięcie sieci) oraz akumulator.
22. Str. 67 (10g). Powinno być „doboru”.
23. Str. 70, rys. 7.2. Brak jednostki miary dla indukcji magnetycznej.
24. Podrozdziały 7.4.5 oraz 7.4.6 mogłyby być częścią podrozdziału 7.4.4.
25. Str. 77 (9d). Zbędna litera „w”.
26. Str. 80 (5g). Podawanie jednostek miary wielkości fizycznych występujących we wzorach musi być uzasadnione. W przypadku wzorów (7.27) i (7.28), jeżeli podano jednostkę miary z przedrostkiem dla długości, to również powinna być podana jednostka miary dla pola przekroju poprzecznego oraz przenikalności magnetycznej próżni.
27. Str. 80, wzory (7.29)-(7.33) wyprowadzane są w kontekście schematu zastępczego pokazanego na rys. 7.6. Na schemacie są dwa uzwojenia, jak rozumieć liczbę zwojów  $N$  i natężenie prądu uzwojenia  $I_{zw}$ ?
28. Str. 83, przy opisie objaśniającym rys. 7.7, w poszczególnych punktach 1, 2 i 3. Zastosowano przy określeniu przedziału czasu znak minus „-”, co wprowadza w błąd sugerując chwilę będącą różnicą dwóch wartości czasu. Powinno być, np.  $[t_0, t_1]$ .
29. Str. 86, wzór (7.51). Z prawej strony należy zamienić nawiasy.
30. Str. 86 i 88. W rachunku operatorowym, gdzie  $s = j\omega$ , zrozumiałe są symbole  $H(s)$ ,  $Z(s)$ ,  $I(s)$  lub  $U(s)$ . Nie jest zrozumiały symbol  $X(s)$  lub  $X(j\omega)$ .
31. Str. 87, tytuł rys. 7.12 (14d). Jak należy rozumieć „rezystancję rdzenia”?
32. Str. 106, Tablica 8.1. Jeżeli w kolumnie tabeli wiadomo, że jest to jednostka miary, to nawiasy prostokątne są zbędne. Dotyczy również str. 121, Tablica 8.6. Podobnie w wyrażeniach, gdy podana jest już wartość danej wielkości fizycznej, to jednostkę miary należy pisać bez żadnych nawiasów (str. 107, 1d; str. 108, 1g).

Wyżej wymienione uwagi redakcyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny tej pracy. Praca doktorska napisana jest w ogólnym ujęciu redakcyjnym dobrze. Najsłabszym elementem w tym zakresie jest wspomniane oderwanie wzorów od treści głównej pracy. Jest to czasami stosowane, lecz nie zalecane, ale zazwyczaj w krótkich tekstach, np. krótkie artykuły lub referaty naukowe. W pracach naukowych powinno się wkomponować wzory w tekst tak, aby wraz z tekstem stanowiły logiczną całość. W przeciwnym przypadku znacznie utrudnia się czytelnikowi odbiór treści pracy.

## 7. Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Barteckiej pt.: „Analiza dwukierunkowych, rezonansowych przekształtników DC/DC przeznaczonych do współpracy bateryjnych zasobników energii z mikrosieciami prądu stałego” została przygotowana pod opieką promotora prof. dr. hab. inż. Józefa Paski i promotora pomocniczego dr. inż. Mariusza Kłosa, co jest zgodne z art. 13.1. Ustawy [D3]. Rozprawa ma formę maszynopisu książki, co jest zgodne z art. 13.2. Ustawy [D3].

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu procedury projektowania dwukierunkowych rezonansowych przekształtników DC/DC jako interfejsów między mikrosieciami prądu stałego z odnawialnymi źródłami energii oraz baterijnymi zasobnikami energii. Mgr inż. Magdalena Bartecka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej elektrotechnika oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a zatem wypełniła wymagania określone w Ustawie [D3] (art. 13.1).

Przedmiotowa rozprawa doktorska zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim, co jest zgodne z art. 13.6. Ustawy [D3].

Powyższe stwierdzenia odnoszące się do zapisów Ustawy [D3] są również wypełnieniem warunków stawianych rozprawom doktorskim w zapisach Ustawy [D4]. Przewód doktorski mgr inż. Magdaleny Barteckiej był wszczęty przed dniem 30 kwietnia 2019 r. w dyscyplinie naukowej elektrotechnika. Osiągnięcia naukowe mgr inż. Magdaleny Barteckiej wpisują się w zakres dyscypliny elektrotechnika będącej przedmiotem Jej działalności naukowej przed rokiem 2019, ale również wpisują się w zakres dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika wg nowej klasyfikacji.

#### **8. Wniosek końcowy**

W mojej ocenie rozprawa doktorska pt.: „Analiza dwukierunkowych, rezonansowych przekształtników DC/DC przeznaczonych do współpracy bateryjnych zasobników energii z mikrosieciami prądu stałego”, autorstwa mgr inż. Magdaleny Barteckiej spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003, Nr 65, poz. 595 z dnia 16 kwietnia 2003 r., z późn. zm.).

**W związku z pozytywną oceną pracy wnoszę o przyjęcie jej jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Barteckiej do publicznej jej obrony.**

