

Gliwice, 5.12.2022 r.

Dr hab. inż. Zbigniew Kaczmarczyk, prof. PŚ
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Śląska

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK
07. 12. 2022
Wpłynęło dnia.....
Zarejestrowano pod nr
Podpis

**Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie**

Dissertation title: ***Switched capacitor resonant converter for control of voltage sharing
on series-connected capacitors***

Tytuł rozprawy: ***Przekształtnik rezonansowy z przełączanym kondensatorem do kontroli napięć
w gałęzi szeregowo połączonych kondensatorów***

Autor rozprawy: **mgr inż. Jakub HACHLOWSKI**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Robert STALA**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Andrzej MONDZIK**

Recenzja rozprawy doktorskiej opracowana została na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, dr. hab. inż. Ryszarda SROKI, prof. Uczelni.

Rozprawa doktorska napisana została w języku angielskim. Liczy łącznie 125 stron oraz podzielona jest na 7 rozdziałów. Spis literatury zawiera 120 pozycji, w tym 4 pozycje współautorskie Doktoranta, które przedstawione zostały w pierwszej części rozprawy. Wśród tych 4 pozycji współautorskich, jako pozycja ostatnia, wyszczególnione są 4 zgłoszenia patentowe. Publikacje i zgłoszenia patentowe Doktoranta są ściśle związane z tematyką rozprawy. Ponadto na początku rozprawy zamieszczona została lista stosowanych ważniejszych skrótów i oznaczeń. Do rozprawy dołączono 2 dodatki, przedstawiające zastosowaną aparaturę pomiarową oraz ilustrujące stronę techniczną opracowanych rozwiązań w ramach rozprawy.

1. Jakie zagadnienie naukowe / badawcze jest rozpatrywane w pracy i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Bardzo często energia elektryczna jest jedynie półproduktem, który musi zostać dostarczony i odpowiednio dostosowany do potrzeb obiorców, bądź wymagań konkretnych odbiorników lub specyfiki realizowanych procesów. Ze względu na powszechność tego dostosowywania realizacja przekształcania energii elektrycznej musi odbywać się w sposób jak najbardziej efektywny przy

minimalizacji towarzyszących temu procesowi strat mocy i ponoszonych kosztów oraz jednoczesnym zapewnieniu niezbędnej niezawodności. W ostatnich latach wspomniana problematyka jest tym bardziej istotna, ponieważ mamy do czynienia z postępującą degradacją środowiska naturalnego, występującym kryzysem tradycyjnej energetyki, a z drugiej strony intensywnym rozwojem nowych rozwiązań wykorzystujących odnawialne źródła energii elektrycznej. Problematyka ta znajduje swój wyraz w zagadnieniach naukowo-badawczych podjętych w ramach niniejszej rozprawy, które dotyczą opracowania i zweryfikowania koncepcji przekształtnika z przełączanym obwodem rezonansowym, który poprzez jego integrację z wielopoziomowym falownikiem napięcia z poziomowaniem diodowym istotnie poprawia jego właściwości. Zaproponowany przekształtnik umożliwia pełne równoważenie napięć na szeregowej gałęzi wejściowego dzielnika pojemnościowego oraz jednocześnie w pewnych przypadkach umożliwia realizację powielania napięcia zasilającego oraz / lub ograniczania tętnień prądu pobieranego ze źródła napięcia stałego. Ukierunkowanie tematyki rozprawy zostało wystarczająco uzasadnione i prawidłowo wyjaśnione. Doktorant koncentruje się na kompletnych badaniach, w tym weryfikacji symulacyjno-eksperymentalnej zaproponowanej koncepcji.

Doktorant w ramach rozprawy doktorskiej nie określił tezy, choć we wnioskach odnosi się ogólnie do tez rozprawy związanych z zaprezentowaną koncepcją przekształtnika, które mają swe bezpośrednie odzwierciedlenie w celach rozprawy. Sformułowane zostały następujące cele szczegółowe:

- przegląd i analiza znanych rozwiązań stosowanych do zapewnienia równomiernego rozkładu napięć na szeregowo połączonych kondensatorach,
- rozwinięcie i analiza zaproponowanego przekształtnika SCABC (Switched Capacitor Active Balancing Converter), w tym jego zasady działania, trybów pracy oraz metod sterowania,
- opracowanie modeli symulacyjnych i ich przebadanie dla wybranych trybów pracy przekształtnika SCABC,
- opracowanie algorytmów sterowania oraz metody doboru parametrów przekształtnika SCABC dla konstruowanych prototypów,
- przygotowanie stanowiska laboratoryjnego do badań przekształtnika SCABC zintegrowanego z wielopoziomowymi falownikami napięcia z poziomowaniem diodowym (NPC – Neutral Point Clamped),
- przeprowadzenie badań laboratoryjnych na bazie przygotowanego stanowiska.

Brak formalnej tezy w początkowej części rozprawy nie ma wpływu na pozytywną ocenę sformułowania tematyki rozprawy. Ten brak równoważą sformułowane cele szczegółowe, które zostały wystarczająco wyjaśnione oraz poprawnie określają zadania przewidziane do realizacji.

Tematyka rozprawy jest istotna, aktualna, a jednocześnie złożona i ma znaczenie praktyczne. Należy również zauważyć, że pomimo badań konkretnego przekształtnika i jego wybranych właściwości, to uzyskane rezultaty mogą znaleźć szersze zastosowania.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań?

Analiza źródeł literaturowych, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań przeprowadzona została poprawnie. W początkowej części rozprawy wyszczególniono 3 angielskojęzyczne artykuły naukowe z udziałem Doktoranta, w tym 1 publikacja upowszechniona w ogólnodostępnym czasopiśmie *Energies*, któremu zgodnie z listą czasopism odpowiadają 140 pkt. W artykule w czasopiśmie *Power Electronics and Drives* oraz w referacie konferencji międzynarodowej *European Conference on Power Electronics and Applications 2019* Doktorant jest pierwszym autorem. Dodatkowo w internetowej wyszukiwarce patentów potwierdzić można złożenie 4 zgłoszeń patentowych z udziałem Doktoranta, które również wymieniono w początkowej części rozprawy. Wszystkie te osiągnięcia naukowe są bezpośrednio związane z tematyką rozprawy. Pozostałe 116

pozycji przytoczonych w końcowym spisie literatury są opracowaniami i publikacjami drukowanymi oraz internetowymi. Wśród nich znajdują się również noty katalogowe i aplikacyjne. Około 20 pozycji dotyczy lat 2020 – 2022. Wykorzystana literatura krajowa i zagraniczna jest aktualna i reprezentatywna dla tematyki rozprawy oraz stanowi właściwe dla niej odniesienie. Świadczy o dobrych kompetencjach Doktoranta w odniesieniu do podjętych badań. Odwołania do literatury są prawidłowe, zgodne z kolejnością ich występowania w tekście rozprawy, z podziałem na poszczególne rozdziały.

Mając na uwadze ustalenie stanu aktualnego zagadnienia, szczególnie istotny jest rozdz. 1.3, w którym dokonano przeglądu dotyczącego metod zapewnienia właściwego podziału napięć na szeregowo połączonych kondensatorach oraz ogniwach, wskazując ich wady i zalety. Zawarte w nim informacje są punktem wyjścia do dalszych rozważań oraz opisu zaproponowanego rozwiązania. W rozdziale znajdują się odwołania do około 40 pozycji z listy literatury. Pewnym mankamentem dokonanego przeglądu jest brak bardziej wnikliwej analizy omawianych rozwiązań, przykładowo brak próby dokonania ich systematyki i porównań w formie zestawień lub ilustracji graficznych.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Postawione w ramach rozprawy zagadnienie, wyrażone m.in. poprzez przyjęte cele szczegółowe, zostało rozwiązane, a wspomniane cele w pełni zrealizowane. Wymagało to przeprowadzenie pełnego cyklu badawczego, typowego dla prac badawczych o charakterze naukowo-technicznym. Najpierw ustalono stan aktualny tematu / problemu, wskazano pewne niedostatki dostępnych rozwiązań, zaproponowano autorskie rozwiązania, opracowano modele i dokonano symulacji komputerowych (środowisko Matlab-Simulink) oraz ostatecznie przeprowadzono niezbędną weryfikację eksperymentalną. Nie porzeczono na jednej iteracji, a po zaobserwowaniu pewnych niedoskonałości zaproponowanego rozwiązania, nastąpiły niezbędne modyfikacje oraz powtórzono cykl badawczy. Nie ograniczono się wyłącznie do weryfikacji symulacyjno–eksperymentalnej samego zaproponowanego przekształtnika SCABC i metody jego sterowania, ale przeprowadzono rozszerzone badania w zastosowaniu do równoważenia napięć trójelementowego dzielnika pojemnościowego stosowanego w wielopoziomowych falownikach NPC, uwzględniając w przypadku przekształtnika SCABC: typowe przeładowania rezonansowe, przyspieszone przeładowania rezonansowe z wykorzystaniem dwóch szeregowych kondensatorów, przeładowanie z ograniczeniem wartości szczytowej prądu, współpracę z siedmio- i pięciopoziomowym falownikiem NPC oraz dodatkowo wykorzystanie możliwości podwyższenia napięcia zasilania i ograniczenia tętnień prądu zasilania przy współpracy z falownikami NPC.

Wprowadzone zostały uzasadnione założenia, które odpowiednio dostosowano do zakresu prowadzonych rozważań. Do analizy teoretycznej właściwości przekształtnika SCABC przyjęto opis silnie uproszczony, uzyskując zamknięte zależności opisujące przebiegi napięć i prądów, amplitudy napięć i prądów, relacje czasowe oraz straty mocy poszczególnych komponentów. Na etapie badań symulacyjnych uwzględniono dodatkowe parametry przekształtnika, które umożliwiły dokonanie bardziej wnikliwej analizy jego właściwości oraz płynne przejście do badań laboratoryjnych. Przeprowadzona weryfikacja eksperymentalna, na bazie dwóch skonstruowanych prototypów przekształtnika SCABC oraz wielopoziomowych falowników NPC w różnych warunkach pracy, potwierdziła słuszność przyjętych założeń. Zastosowano prawidłowe metody pomiarowe.

Pewien niedosyt związany z przedstawieniem zagadnienia w ramach rozprawy dotyczy analizy właściwości (szczegółowej zasady działania) podstawowego i zmodyfikowanego przekształtnika SCABC. W przypadku tego pierwszego były to wnikliwe badania indywidualne, natomiast wersja ulepszona przekształtnika została przebadana już jedynie na etapie konkretnych aplikacji.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora?

Oryginalność recenzowanej rozprawy doktorskiej polega na zaproponowaniu, przedstawieniu i zweryfikowaniu koncepcji nowego przekształtnika SCABC zawierającego odpowiednio przełączany obwód rezonansowy z dostosowanym algorytmem sterowania. Jego podstawowym przeznaczeniem jest równoważenie napięć na szeregowo połączonych kondensatorach niezbędnych do realizacji wielopoziomowych falowników NPC. Jak wykazano w rozprawie ma on dodatkowe możliwości związane z powieleniem napięcia zasilania jednego z kondensatorów potrójnego dzielnika pojemnościowego na pozostałe kondensatory oraz w pewnych warunkach pozwala na znaczące ograniczenie tętnień prądu pobieranego ze źródła napięcia stałego. Do najważniejszych autorskich osiągnięć Doktoranta w ramach rozprawy zaliczam:

- zaproponowanie i wyjaśnienie koncepcji oraz scharakteryzowanie właściwości przekształtnika SCABC z przełączanym obwodem rezonansowym w wersji podstawowej i zmodyfikowanej,
- opracowanie, odpowiednie dostosowanie i symulacyjne zweryfikowanie algorytmu sterowania tego typu przekształtnikiem,
- sprzętowe zaimplementowanie algorytmu sterowania dla różnych wymagań związanych z zadanymi warunkami pracy,
- zrealizowanie złożonego sterowania siedmioma tranzystorami przekształtnika SCABC,
- skonstruowanie i wielowariantowe przebadanie dwóch prototypów przekształtnika SCABC we współpracy z wielopoziomowymi falownikami NPC.

Jak już wspomniano wcześniej, rezultaty badań związane z tematyką rozprawy przedstawione zostały w 3 artykułach oraz stały się przedmiotem 4 zgłoszeń patentowych. Stanowi to jej wartościowe uzupełnienie i potwierdzenie oryginalności rozprawy.

W ramach rozprawy określone zostały również kierunki kontynuacji badań, do których można zaliczyć m.in.:

- opracowanie modelu małosygnalowego badanego układu istotnego dla przygotowania ulepszonych algorytmów sterowania,
- szczegółową analizę strat mocy dla poszczególnych trybów pracy przekształtnika SCABC oraz ich porównanie,
- określenie możliwości i weryfikacja zastosowania tranzystorów o lepszych właściwościach statycznych i dynamicznych,
- zweryfikowanie eksperymentalne przypadku pracy przekształtnika SCABC, dla którego jego zasilanie odbywa z panelu fotowoltaicznego podłączonego jedynie do środkowego kondensatora dzielnika pojemnościowego,
- realizacja zintegrowanego obwodu głównego przekształtnika o podwyższonej częstotliwości pracy z podzespołami planarnymi i montowanymi powierzchniowo.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników?

Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim. Charakteryzuje się poprawną i logiczną strukturą. Strona językowa jest właściwa dla opracowań naukowo-technicznych. Rozprawa jest poprawnie zredagowana i zilustrowana. Zamieszczone wyjaśnienia, argumentacja oraz opisy wyników badań są zrozumiałe. Zauważone błędy i nieścisłości oraz spostrzeżenia, których rozwinięcie byłoby interesujące i stanowiło początek dyskusji podczas publicznej obrony zamieszczono poniżej, w podziale na dwie części.

Uwagi szczegółowe:

1. Do skrótu „SCABC” dodawane są wymiennie określenia „circuit” (str. I, IX, 19, 29) oraz „conveter” (str. 4, 19, 27, 57). Określenia te są formalnie częścią tego skrótu. Dodatkowo, w końcowej części

- rozprawy, stosowane jest równoważne określenie „balancer” (str. 89 i 90). Określenia powinny być stosowane konsekwentnie oraz moim zdaniem niewymiennie.
2. Zdanie w streszczeniu (str. IV): „Jednym z celów pracy było zbadanie zdolności SCABC do kompensacji tętnień drugiej harmonicznej napięcia wyjściowego falownika, które propagują się do części stałoprądowej podsystemu” jest nieprecyzyjne.
 3. Określenie “inductance” używane jest niepoprawnie w odniesieniu do elementu jakim jest cewka (str. IX, tab. 4.1, 5.1, 5.2).
 4. W całej rozprawie stosowane są dyskusyjne oznaczenia jednostek, np. 140[GW], 950[GW] (str. 2). Moim zdaniem poprawnie byłoby: 140 GW, 950 GW – <https://sep.com.pl/opracowania/Jak%20pisac%20teksty%20techniczne.pdf>.
 5. Nie wyjaśniono „CP” w podpisie rysunku 2.2.
 6. Nie wyjaśniono „Ti” w zależności (2.5) oraz „Iavg” na rysunku 2.3.
 7. Użycie „U(t)” oraz „I(t)” na str. 14 jest niepoprawne. Powinny to być małe litery jako zmienne czasu – <https://sep.com.pl/opracowania/Jak%20pisac%20teksty%20techniczne.pdf>.
 8. W zależności (2.7), zgodnie z rysunkiem 2.4, powinno zostać użyte „tr”.
 9. Na stronach 16 i 17 użyto niepotrzebnie wymiennie oznaczeń „SCVD” i „SCVM”. Brak jest oznaczenia „Cout” na rysunku 2.6, niejasne oznaczenie „uCD” w zależności (2.14) oraz „uUCmin” i „UCSII(TSII)” w (2.15).
 10. Zależność (2.11) podana jest błędnie.
 11. W wyjaśnieniu niewłaściwie wskazano na ładowanie kondensatora „C3”, zamiast „C2” (str. 20).
 12. W zależnościach (3.1)-(3.10) występują niespójności dotyczące oznaczeń „C” / „Cs” oraz napięć (w tym przypadku niezależnych od czasu) „uCD”, „uCC”, „uCmin”, „uCmax”, które powinny być zapisane dużymi literami.
 13. Zastosowano błędnie odwołanie do rozdz. 2.3 zamiast do rozdz. 2.2 (str. 27).
 14. Określenia „choke” oraz „inductor” są niepotrzebnie stosowane naprzemiennie, nawet w bezpośrednim sąsiedztwie (str. 28, 31, 57, 92).
 15. Wyjaśnienie, że wartość maksymalna napięcie na tranzystorach wynosi 2/3 stałego napięcia zasilania (str. 29) jest niezrozumiałe w odniesieniu do tabeli 4.2, wniosku sformułowanego na stronie 55 i wniosku końcowego na stronie 109.
 16. Zależność (3.19) jest nieprawidłowa. Moim zdaniem zamiast „2/pi*ISIm” powinno być „ISIm/pi”.
 17. W tabeli 4.1 brak jest informacji o przyjętym spadku napięcia na przewodzących diodach (podobnie w 5.1, natomiast wyjaśniono to dopiero w tabeli 5.2).
 18. Komentarz: „so the parasitic oscillatory current was able to flow through the series-connected bank capacitors and charge them” (str. 57) jest nieprecyzyjny i niejasny. Wiąże się to również z lakonicznym uzasadnieniem dotyczącym zastosowania dodatkowych diod (Df1...Df3) przekształtnika SCABC. Prąd oscylacyjny jest dwukierunkowy i nie będzie powodować jedynie ładowania kondensatorów. W całej rozprawie nie zilustrowano przypadku wykorzystania / przewodzenia tych diod.
 19. W jaki sposób można odnieść do siebie przebiegi z rysunków 5.3 i 5.4? Jakie przyjęto parametry falownika NPC do symulacji, w tym parametry odbiornika, które zamieszczono dopiero na rysunku 5.9 i w tabeli 5.1?
 20. W tabeli 5.1 podano błędnie „Uin = 200 V” zamiast „400 V”.
 21. Niewyjaśniony został element oznaczony poprzez „Z” na rysunku 5.13. W schemacie na rysunku 5.14 źródło zasilania zostało podłączone błędnie oraz pominięto element „Z”. Prawdopodobnie w związku z tym, niejasne jest występowanie składowej zmiennej w napięciu „u_C2” na rysunku 5.16. Przecież do kondensatora „C2” dołączone jest źródło zasilania napięcia stałego.
 22. Jak wyjaśnić rozbieżności obserwowane w przebiegach napięcia i prądu kondensatora „C2” – zielone przebiegi na rysunku 5.20? Na samym początku prąd jest ujemny a napięcie wzrasta. Następnie prąd jest dodatni i w przybliżeniu stały a napięcie prawie nie ulega zmianom.

23. Zależność (6.1) jest niezrozumiała, ponieważ nie wyjaśniono „Pac”. Moim zdaniem zależność (6.2) jest błędna i niejasna.
24. Odwołanie do rysunków 5.25-5.28 jest nieprawidłowe (str. 92). Powinny to być rysunki 6.10-6.11.
25. Zależność „ $\cos\phi = 29.2[\text{deg}]$ ” w tabeli 6.1 i na rysunku 6.19 jest nieprawidłowa. W tabeli 6.1 niepoprawne jest również przypisanie mocy wyjściowej „Pout” wartości „1 kVA”.

Uwagi ogólne:

1. Istotnym składnikiem strat mocy całkowitych przekształtnika SCABC są straty mocy przewodzenia jego diod. Wydaje się możliwe istotne obniżenie tych strat poprzez zastosowanie diod synchronicznych, czyli synchroniczne załączanie odpowiednich tranzystorów związanych z przewodzącymi diodami. Można w tym celu odpowiednio zmodyfikować algorytm sterowania i realizować to załączając wybrane tranzystory na określony czas bez konieczności pomiaru prądów diod. Czy jest to możliwe? Jakiej poprawy można oczekiwać? Zmniejszenie strat mocy powinno być istotne, ponieważ jak wykazują charakterystyki sprawności na rysunku 5.29, zamiana tranzystora 50 mΩ na 35 mΩ znacząco wpływa na redukcję strat mocy.
2. Interesujące byłoby wyjaśnienie przebiegów z rysunku 3.7 w odniesieniu do przebiegów z rysunku 4.12 – problem przerwania prądu „i” oraz brak narastania napięcia „uC” (rys. 3.7) względem zanikania prądu „i” oraz dodatkowego wzrostu napięcia „uC” (rys. 4.12).
3. Wniosek 2 ze strony 32 jest raczej oczywisty przy zachowaniu napięcia zasilania i zwiększania prądów przekształtnika. Nieco dyskusyjne jest odniesienie się jedynie do strat rezystancyjnych, ponieważ występują również straty przewodzenia diod, związane z innym charakterem strat mocy, oraz występują inne rodzaje strat mocy. Czy straty mocy rezystancyjne są faktycznie dominujące? Przy okazji interesujące byłoby podanie mocy czynnej niezbędnej do zasilania całego układu sterowania przekształtnika SCABC oraz jej odniesienie do strat mocy w obwodzie głównym dla wybranego punktu pracy.
4. Na stronie 34 podano krótkie wyjaśnienie o dołączeniu diody przeciwrównolęgłej do przeładowywanego kondensatora „Cs”. Powstaje pytanie, czy bez tej diody nie byłaby możliwa intensyfikacja procesu przeładowania kondensatorów z wykorzystaniem uzyskiwanej dwubiegunowości napięcia na kondensatorze „Cs”, podobnie jak dla rozważonego przypadku wykorzystania wstępnego ładowania przez dwa kondensatory połączone szeregowo („high-rate energy transfer”).
5. Przebiegi z rysunków 4.4-4.12 i tabela 4.2 nie są wyczerpująco skomentowane w tekście pracy. Istotne jest to m.in. z punktu widzenia uwagi szczegółowej 15, dotyczącej wartości maksymalnej napięcia na tranzystorach. Podobna uwaga dotyczy przebiegów z rysunków 4.17-4.22 (również z rys. 5.16-5.20), choć w tym przypadku występuje dość wyczerpująca dyskusja we wnioskach (rozd. 4.5).
6. Tabela 4.3 zawiera zestawienie wybranych parametrów pierwszego skonstruowanego prototypu. Celowe byłoby uzasadnienie wyboru właśnie tych wartości. W tabeli brak jest informacji na temat parametrów zastosowanego tranzystora MOSFET typu IPB60R060P7ATMA1 (60 mΩ, 650 V, 48 A). Jest to tranzystor super złączowy (SJ), wykonany w wysokonapięciowej, krzemowej (Si) technologii 7-mej generacji CoolMOS. Należałoby to wyjaśnić, w szczególności ze względu na informacje podane w rozdz. 1.4 o preferowaniu technologii bazującej na azotku galu (GaN). Nie podano tutaj również typu zastosowanych sterowników bramkowych. Można się jedynie doszukać pewnych danych w załączonych później schematach technicznych.
7. Istotny wydaje się problem opomiarowania opracowanego stanowiska (rys. 4.15), w szczególności w zakresie pomiarów oscyloskopowych. Widoczna na zdjęciu pętla niezbędna do pomiaru prądu obwodu rezonansowego wydaje się mieć zauważalny wpływ na parametry obwodu rezonansowego. Podobna uwaga dotyczy użycia sond różnicowo-napięciowych. Ich długie podłączenia mogą powodować zniekształcenia mierzonych napięć (rys. 4.17-4.22).
8. Zaobserwowany problem oscylacji dla skonstruowanego pierwszego prototypu został wyjaśniony jedynie w podstawowym zakresie, np. przedstawiony obwód oscylacyjny na rysunku 4.24 jest dużym uproszczeniem. Istotne byłoby tu również zminimalizowanie odległości i sposobu

poprowadzenia połączeń na płycie drukowanej. Problem ten został rozwiązany przez ostatecznie zaproponowaną modyfikację przekształtnika SCABC.

9. Z przypadku zilustrowanego na rysunku 5.11 (po 17 ms) wynikałaby w przyszłości potrzeba modyfikacji zaproponowanego algorytmu sterowania i płynne przejście do innego trybu pracy, wykorzystując energię zgromadzoną w kondensatorze „C3”.
10. W rozdz. 5.3.1 omówione zostały dokładniej podstawy zasady działania zmodyfikowanego przekształtnika SCABC. Wcześniej (rozdz. 5.2.2) został on już przebadany symulacyjnie wraz z falownikiem NPC. Przyjęta kolejność jest dyskusyjna.
11. Uzasadnione byłoby skomentowanie / wyjaśnienie wpływu zauważalnego nierównoważenia napięć kondensatorów dzielnika (rys. 5.16 i 5.27) na poprawność działania falownika NPC. To nierównoważenie napięć uwidacznia się również poprzez zniekształcenie napięcia wyjściowego falownika NPC. Niejasne jest występowanie składowej zmiennej w napięciu kondensatora „C2”, do którego podłączone jest źródło zasilania napięcia stałego. Wspomniane problemy pogłębiają się jeszcze w przypadku zastosowania przekształtnika SCABC do dodatkowego zmniejszenia tętnień prądu zasilania.

Przedstawione uwagi szczegółowe i ogólne nie obniżają wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej i mojej pozytywnej oceny. Część z nich ma charakter dyskusyjny i są zapewne związane ze znaczącym rozbudowaniem rozprawy w zakresie wieloaspektowej weryfikacji eksperymentalnej.

6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?

Recenzowana rozprawa doktorska ma istotne znaczenie dla nauk inżynieryjno-technicznych. Stanowi kompleksowe opracowanie naukowo-badawcze i kompendium informacji w odniesieniu do zaproponowanej koncepcji przekształtnika SCABC z przełączanym obwodem rezonansowym. Uzyskane rozwiązania umożliwiają konstruowanie ulepszonych wielopoziomowych falowników z poziomowaniem diodowym (NPC) oraz wydają się właściwe do opracowania nowoczesnych systemów współpracujących ze źródłami fotowoltaicznymi.

7. Podsumowanie

Pan mgr inż. Jakub HACHLOWSKI w rozprawie doktorskiej pt. *Przekształtnik rezonansowy z przełączanym kondensatorem do kontroli napięć w gałęzi szeregowo połączonych kondensatorów* zaprezentował oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, proponując, analizując teoretycznie i symulacyjnie oraz badając laboratoryjnie przekształtnik SCABC z przełączanym obwodem rezonansowym oraz dostosowanym algorytmem sterowania do równoważenia napięć trójelementowego dzielnika pojemnościowego. Wykazał się samodzielnością w prowadzeniu badań naukowych oraz wiedzę teoretyczną i kompetencjami w zakresie tematyki rozprawy, zawierającej się w aktualnej dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Zamieszczone w recenzji uwagi szczegółowe i ogólne nie mają istotnego wpływu na wartość naukową rozprawy. Moja ocena rozprawy doktorskiej jest w pełni pozytywna. Wszystkie cele zostały zrealizowane. Rozprawa jest kompletna i nie wymaga uzupełnień. Spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), zgodnie z Ustawą z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z póź. zm.) oraz na podstawie Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 11 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 2202), w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Zbigniew Kaszowski