

Gliwice, dn. 10.01.2025 r.

Dr hab. inż. Marcin Kasprzak, prof. PŚ.
Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
ul.B.Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Zięby

pt. „**Advanced methods of power losses measurements in SiC semiconductor power devices**”

opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (Politechnika Warszawska)

prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego

(uchwała RND nr 842/II/2024 z dnia 15.10.2024 roku).

1. Wprowadzenie

Tematyka pracy doktorskiej dotyczy pomiaru strat mocy i modelowania komputerowego procesu przełączania nowej generacji modułów mocy z tranzystorami na bazie węgla krzemu SiC MOSFET. Zasadnicza część pracy dotyczy pomiarów energii przełączeń podczas testu dwupulsowego na podstawie zmierzonych na module a następnie estymowanych napięć na strukturze tranzystora i estymowanego prądu kanału tranzystora. Metodę tą przeciwstawiano metodzie opisanej w normie IEC 60747-8:2010. Uzyskane wyniki pomiarowe dały podstawy do opracowania a następnie zweryfikowania i oceny jakości modelu PSpice modułu mocy z SiC MOSFET. Całość dopełnia opis modułu mocy (szynoprzewody, kondensatory w obwodzie DC, ...) oraz jego model PSpice.

Moduł mocy w skład którego wchodzi ww. podzespoły i półmostek tranzystorowy SiC MOSFET firmy Microchip o klasie napięciowej/prądowej 1200 V/395 A i niskoindukcyjnej obudowie jest cennie dobranym przedmiotem rozprawy w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”. W pracy zawarto również opis zaprojektowanego i przebadanego kalorymetru dwupłaszczyznowego do pomiarów strat mocy w całym module silnoprądowym.

Przekształtniki z tranzystorami SiC MOSFET są jednym z obszarów działań naukowo-badawczych prowadzonych od lat w Instytucie Sterowania i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Warszawskiej. Warto w tym kontekście podkreślić, że recenzowana praca jest więc kontynuacją tematyki badawczej związanej z SiC MOSFET, ich modelowaniem, sterowaniem bramkowym, konstrukcją przekształtników.

2. Strona formalna rozprawy

Rozprawa została zawarta w 5 rozdziałach, zawiera streszczenie w językach polskim i angielskim, wykaz oznaczeń, literaturę, spis rysunków i tabel oraz dwa załączniki. Rozdział 1 to wprowadzenie, w którym określono 3 szczegółowe cele pracy poprzedzone zwięzłym opisem metod pomiarowych strat mocy w łącznikach na bazie SiC. Kolejne rozdziały zawierają podstawy teoretyczne do wyznaczania strat mocy na podstawie przebiegów czasowych napięć i prądów, wyniki zasadniczych pomiarów energii przełączeń a następnie opis modelu i wyniki modelowania w PSpice modułu mocy z tranzystorem SiC MOSFET. Szerzej omówiono je w dalszej części recenzji. Rozdział 5 to poprawne podsumowanie. Rozprawa zawiera 158 stron (ok. 100 stron to zasadnicza treść rozprawy), około 107 rysunków, 2 tabele oraz wykaz literatury (299 pozycji) omówiony w dalszej części recenzji. Praca ma istotne elementy rozprawy naukowej, a mianowicie:

- motywację: autor nie podał jej wprost, ale we wprowadzeniu wskazuje na konieczność dokładnego wyznaczania strat mocy w związku ze współczesnymi wymaganiami wysokiej sprawności przekształtników sięgającej 99%. Motywacją są również plany rozwojowe firmy Medcom, beneficjenta doktoratu wdrożeniowego,
- cele badawcze, które przedstawiono w rozdz.1.2,
- zakres i strukturę pracy, które przedstawiono w rozdz.1.3,
- metodologii nie opisano wprost, ale jest poprawna i zawiera opis metod pomiarowych, użyty sprzęt, podstawy teoretyczne, pomiary i analizę wyników, opracowanie modelu komputerowego i jego weryfikację, dyskusję wyników,
- obszerne wyniki własnych badań, w większości nowych, opracowanego w ramach rozprawy modułu mocy z tranzystorami SiC MOSFET, który autor analizował teoretycznie, numerycznie i badał laboratoryjnie oraz wnioski.

Od strony formalnej nasuwają mi się zarówno drobne uwagi krytyczne jak i pozytywne:

- w tytułach rozdziałów (2,3,4) i w treści przedmiotowy moduł SiC MOSFET jest różnie nazywany: SiC semiconductor power device, fast-switching SiC power device, fast-switching SiC MOSFET power module.
- w treści pracy wielokrotnie powtarza się pełna, długa nazwa modułu SiC MOSFET w różnych wersjach a słowo „fast-switching” aż 60 razy - można było zastosować skrót lub pisać np. „przedmiotowy moduł”,
- w pracy nie zauważyłem istotnych błędów edytorskich,
- przebiegi czasowe i inne wykresy są bardzo dobrze czytelne, opisy wykonane czcionką odpowiedniej wielkości,
- w rozdziale 4.3 lub dodatkach powinno być zamieszczone zestawienie wszystkich parametrów modelu PSpice zamieszczonego na rys.4.5 i 4.6,
- na podkreślenie zasługuje zwartość rozprawy, tj. ok. 100 stron zasadniczej treści, z dobrym wyważeniem materiału przeniesionego do dodatków A i B.

3. Jakie zagadnienie naukowe / badawcze jest rozpatrywane w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Zagadnienie naukowe/badawcze rozpatrywane w pracy zostało dobrze sformułowane przez autora. Praca doktorska nie ma zwyczajowo sformułowanej tezy. Nie jest to konieczne, ponieważ w rozdz.1.2 podano cele badawcze, a na końcu pracy potwierdzono ich realizację.

Przedmiotem rozprawy jest półmostek tranzystorowy SiC MOSFET firmy Microchip, 1200 V/395 A zaimplementowany w module mocy wykorzystywanym do testu dwupusowego DPT, w skład którego wchodzi szynoprzewody i kondensatory w obwodzie DC i sterowniki bramkowe. Przedmiotem rozprawy jest również opracowany i przebadany kalorymetr dwupłaszczyznowy przeznaczony do wyznaczenia strat mocy w testowanym obwodzie.

Głównym celem rozprawy było zaprojektowanie i wykonanie stanowiska pomiarowego przeznaczonego do pomiaru dynamiki i energii przełączeń w modułach tranzystorów SiC MOSFET, wraz z niezbędnym oprogramowaniem i algorytmami do określenia parametrów dynamicznych tranzystorów, z uwzględnieniem wpływu parametrów pasożytniczych. Kolejnymi celami było: a) projekt i wykonanie kalorymetru dwupłaszczyznowego do pomiarów strat mocy w całym module silnopiętrowym, b) opracowanie modelu PSpice modułu tranzystorów SiC MOSFET i jego weryfikacja w oparciu o wyniki pomiarów dynamiki uzyskane na wykonanym stanowisku pomiarowym.

Metodologia badań - nie opisano jej wprost, ale jest poprawna i zawiera opis metod pomiarowych, użyty sprzęt, podstawy teoretyczne, pomiary i analizę wyników, opracowanie modelu komputerowego i jego weryfikację, dyskusję wyników.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozdz. 1 - Wprowadzenie

Rozdział ma 5 stron, ale wystarczająco zwięźle wprowadza czytelnika w tematykę rozprawy. Powołując się na pierwszych 28 artykułów doktorant opisał zastosowania półprzewodnikowych przyrządów mocy na bazie SiC. Zwrócił uwagę, że współczesne przekształtniki energoelektroniczne osiągają sprawności do 99%. Aby skutecznie projektować takie przekształtniki konieczne są dokładne metody pomiaru strat w łącznikach oraz modele komputerowe łączników na bazie SiC. W dalszej części rozdziału, powołując się na kolejne artykuły [29-38] autor omówił metody pomiarowe wyznaczania strat (pomiarów czasowe wielkości elektrycznych oraz metoda kalorymetryczna) oraz metody bazując na modelowaniu komputerowym w oparciu o dokładne modele obwodowe SiC MOSFET. Autor jednocześnie zwraca uwagę na większą trudność modelowania modułów mocy w porównaniu do modelowania pojedynczych tranzystorów SiC MOSFET.

W końcowej części rozdziału doktorant przedstawił strukturę pracy oraz cele pracy, które omówiłem rozdz.3 recenzji.

Rozdział ten jest wystarczającym wprowadzeniem do tematyki pracy.

Rozdz. 2. Straty mocy w półprzewodnikowych modułach mocy na bazie SiC

Rozdział ma 16 stron i stanowi podstawę teoretyczną do wyznaczania strat mocy na podstawie przebiegów czasowych napięć i prądów w modułach mocy SiC. Informacje zawarte w rozdziale autor popiera powołaniem na kolejne ok. 90 artykułów [39-128]. W początkowej części przypomniano właściwości przyrządów na bazie Si i SiC oraz ich struktury wewnętrzne z rozbiciem na rezystancje składowe obszarów oraz pojemności pasożytnicze obszarów. Następnie doktorant stopniowo wprowadza czytelnika w tematykę przełączania zaworu i wyznaczania energii strat. Najpierw przytacza znane modele i zależności odnosząc je do normy IEC 60747-8. Następnie rozbudowuje modele o elementy pasożytnicze: wewnętrzne indukcyjności tranzystora oraz nieliniowe pojemności pasożytnicze. Kolejno modyfikuje i uściśla zależności na energie przełączeń E_{ON} i E_{OFF} wyrażając je za pomocą napięć struktury tranzystora (on-chip) oraz prądu kanału, czyli bez prądu pasożytniczych pojemności C_{DS} i C_{DG} . Ostatecznie doktorant proponuje złożony model półmostka SiC na potrzeby DPT i wyznaczenia napięć/prądów/energii struktury (on-chip) na bazie pomiarów u/i na zaciskach modułu.

W rozdziale w sposób czytelny przedstawiono ideę wyznaczania energii na poziomie struktury (on-chip), co jest zasadniczą metodą wyznaczania E_{ON} i E_{OFF} wskazywaną w pracy.

Do rozdziału mam uwagę dyskusyjną nr 1.

Rozdz. 3. Pomiary straty mocy w szybko przełączających modułach mocy na bazie SiC

Pierwsza część rozdziału dotyczy metody pomiaru oraz wyników pomiarów energii przełączania konkretnego SiC MOSFET (Microchip) o klasie napięciowej 1200 V i prądowej 395 A. Opisano obwód główny/zasilnia oraz podzespoły wchodzące w skład układu do testu DPT. Zwrócono uwagę na niskie wartości parametrów pasożytniczych zastosowanych podzespołów, chociaż uważam, że indukcyjność $L_s \approx 15$ nH kondensatora osiowego obwodu DC nie jest niską wartością.

Następnie określono wymagania sprzętowe, w tym pasmo oscyloskopu oraz wybrano sondy napięciowe i prądowe. Wybór poprzedzono analizą pasma przenoszenia, pomiarami porównawczymi i parametrem CMRR. Pomiar prądu ostatecznie zrealizowano wspólnym bocznikiem rezystancyjnym porównując go wcześniej z cewką Rogowskiego. Kolejne kroki poprzedzające zasadnicze pomiary dotyczyły metody estymacji napięcia v_{DS} na strukturze (on-chip) tranzystora, a następnie estymacji prądu kanału i_{CH} . Ostatecznie zmierzono/obliczono energie E_{ON} i E_{OFF} dwoma metodami, tzn. na strukturze (on-chip)

i zgodnie z normą IEC 60747-8:2010, zestawiając wyniki jako funkcja wartości przełomczanego prądu w zakresie od 25A do 400 A.

W drugiej części rozdziału opisano wykonany w ramach pracy dwupłaszczyznowy kalorymetr przepływowy. Kalorymetr oprogramowano oraz wykalibrowano w zakresie mocy od 50-1200 W przedstawiając wykresy względnych niepewności pomiarowych.

Do rozdziału mam uwagi dyskusyjne nr 2-6.

Rozdz. 4. Modelowanie obwodu głównego z szybko przełączającym modulem mocy na bazie SiC MOSFET

W pierwszej części scharakteryzowano możliwe metody zamodelowania obwodu mocy z SiC MOSFET: metody analityczne, na bazie modeli fizycznych oraz behawioralne. Podano ich zalety i wady a następnie uargumentowano wybór modelu behawioralnego.

Następnie (rozdz.4.2) opisano wyzwania i kompromisy związane z modelowaniem zjawisk charakterystycznych dla SiC MOSFET (SCE - short-channel effects, DIBL - drain-induced barrier lowering, przesunięcie napięcia progowego i charakterystyki przejściowej i inne) oraz nieporządne zjawiska związane z wewnętrzną strukturą modułu mocy. W obu częściach powołano się na około 50 pozycji literaturowych.

W dalszej części zaproponowano model PSpice modułu mocy z SiC MOSFET opisując jego elementy składowe. Najważniejszym jest jednak opis modelu SiC MOSFET i poprawne odzwierciedlenie charakterystyk przejściowych $I_D=f(V_{GS})$ statycznych i dynamicznych, nieliniowości pojemności pasożytniczych oraz wewnętrznych połączeń i ich indukcyjności.

Najważniejsza część rozdziału to weryfikacja modelu PSpice w oparciu o wcześniejsze wyniki pomiarów oscyloskopowych procesów przełączania. Na wspólnych wykresach czasowych porównano wyniki analizy modelu z wynikami pomiarów, dla napięć/prądu drenu oraz napięć obwodu bramkowego. Oceny jakości modelu dokonano dwiema metodami: a) wykreślając chwilowe wartości błędów/różnic napięć i prądów w funkcji czasu, b) wykreślając pierwiastek błędu średniokwadratowego w przedziale czasu przyjętym jako przełączanie.

Do rozdziału mam uwagi dyskusyjne nr 7-8.

Rozdz. 5. Podsumowanie

W początkowej części rozdziału autor podsumował najważniejsze zrealizowane układy i badania: a) układ testowy do pomiarów dynamiki SiC MOSFET i wyznaczenia energii przełączeń na podstawie estymowanych prądu i napięcia kanału, b) opis budowy i badania kalorymetru dwupłaszczyznowego, c) opis modelu PSpice modułu mocy z SiC MOSFET, jego synteza i ocena. Autor sformułował również osiągnięcia własne. Następnie zaproponował zagadnienia ewentualnych przyszłych badań nad kalorymetrem i ulepszeniem opracowanego modelu komputerowego. Jako przyszłość wskazał na prace nad tranzystorami MOSFET bazujących na diamencie.

Podsumowanie to jest wystarczające, ponieważ dokładniejsze podsumowania „techniczne” zamieszczono w poprzedzających rozdziałach.

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

Tak. Praca zawiera wykaz literatury obejmujący 299 pozycji, w większości najnowszych tj. wydanych po 2020 roku, ułożonych według kolejności powoływania się w tekście rozprawy. Wykaz literatury jest reprezentatywny dla tematu rozprawy.

Przedstawiono stan techniki, w tym rozwój technologii tranzystorów SiC, wskazano na konieczność dokładnego wyznaczania strat mocy ze względu na wymagany wzrost sprawności przekształtników. Wiąże się to z koniecznością opracowania szybkich metod

pomiarowych strat mocy w modułach SiC MOSFET, ich energii przełączania oraz posiadania dobrych modeli komputerowych na potrzeby szybkiego prototypowania.

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

Tak. Autor trafnie sformułował cele pracy i zastosował metodologię badań, która doprowadziła do realizacji postawionego celu rozprawy. Było to kolejno:

- analiza literatury i stanu techniki,
- rozpoznanie metod wyznaczania mocy strat w SiC MOSFET (pomiar i modelowanie),
- rozpoznanie podstaw teoretycznych procesu przełączania z ukierunkowaniem na możliwości poprawnego wyznaczenia energii przełączeń na podstawie właściwego napięcia/prądu kanału (on-chip) w przeciwieństwie do ww. pomiarów wykonywanych zgodnie z normą IEC 60747-8:2010,
- rozpoznanie/zaproponowanie metod pomiaru napięcia/prądu kanału (on-chip), tj. takich, które eliminują błędy wynikające z istnienia indukcyjności pasożytniczych oraz opóźnień/błędów wniesionych przez sondy pomiarowe,
- zaprojektowanie i wykonanie modułu silnoprądowego wykorzystanego do testu DPT a następnie wykonanie serii pomiarów napięć/prądów on-chip i energii przełączeń wg zaproponowanej metody,
- wykorzystanie uzyskanych wyników do opracowania i weryfikacji modelu PSpice modułu SiC MOSFET,
- dyskusja wyników.

Autor osiągnął postawione cele, w tym zweryfikował eksperymentalnie model PSpice modułu SiC MOSFET i przedyskutował wyniki.

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

W podsumowującym rozdziale 5.1, doktorant wyszczególnił osiągnięcia własne, ale do oryginalnych i najważniejszych rezultatów rozprawy zaliczam:

- opracowanie metody szacowania prądu kanału SiC MOSFET i szacowania napięcia dren-źródło na poziomie układu scalonego, co umożliwi dokładniejsze określenie energii przełączania SiC MOSFET w porównaniu do metody opisanej w IEC 60747-8:2010,
- opracowanie i zastosowanie metody kompensacji różnych opóźnień czasowych sygnałów wyjściowych sond napięciowych i prądowych oscyloskopu oraz opracowanie oprogramowania i algorytmów do pozyskiwania przebiegów czasowych prądu kanału i napięcia dren-źródło on-chip,
- opracowanie w środowisku PSpice modelu behawioralnego modułu SiC MOSFET wraz z obwodem mocy oraz pomiarowa weryfikacja tego modelu np. w oparciu pierwiastek błędu średniokwadratowego.

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

Tak. Stwierdzam, że doktorant działając w sposób metodyczny:

- rozpoznał podstawy teoretyczne procesu przełączania z ukierunkowaniem na nowe możliwości poprawnego wyznaczenia energii przełączeń na podstawie właściwego napięcia/prądu kanału (on-chip),
- zaimplementował moduł SiC MOSFET 1200V/395A w układzie do testu dwupulsowego,
- przeprowadził badania wg zaproponowanej metody a uzyskane wyniki poprawnie skomentował i zilustrował przebiegami czasowymi napięć prądów i wykresami

- słupkowymi obliczonych energii przełączania, wyniki uzyskane według zaproponowanej metody czytelnie porównał z wynikami dla metody zgodnej z normą IEC 60747-8:2010.
- wyniki analizy i weryfikacji opracowanego modelu behawioralnego modułu SiC MOSFET zaprezentowano wykreślając a) chwilowe wartości błędów/różnic napięć i prądów w funkcji czasu, b) pierwiastek błędu średniokwadratowego w przedziale czasu przyjętym jako przełączanie,
- a przez to potwierdził zrealizowanie celu pracy.

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

Recenzowana rozprawa doktorska ma istotne znaczenie dla nauk inżynieryjno-technicznych. Tematyka rozprawy jest ściśle wbudowana we współczesne badania prowadzone w energoelektronice a zwłaszcza w obszarze zaawansowanych przekształtników, w szczególności tych, w których „twardo” przełączane są prądy o dużych wartościach.

Rozprawa obejmuje rozwiązanie problemu naukowego w postaci opracowania metodologii pomiarów wybranych właściwości dynamicznych modułów mocy z SiC MOSFET.

Układ przeanalizowano zgodnie z metodologią, którą przytoczyłem w rozdziale 6 recenzji. Ponadto, przedstawione rezultaty i wyniki badań mają bardzo istotne znaczenie przy pomiarach właściwości dynamicznych innych tranzystorów SiC MOSFET i wyznaczania strat mocy i sprawności przekształtników, nie tylko metodą pomiarową, ale również z wykorzystaniem modelu komputerowego.

W pracy doceniam również to, że autor śmiało podjął próbę krytyki wyników uzyskiwanych wg normy IEC 60747-8:2010.

10. Ważniejsze uwagi dyskusyjne

1. Na końcu strony 33, fragment „The current flowing through parasitic capacitances...” itd. na str. 34, odnośnie pomijalnej wartości generowanego ciepła przez prąd składowej pojemnościowej. Czy w cytowanej lub innej znanej Panu literaturze oszacowano np. procentowy udział tego prądu w stratach przełączania? Czy są to tylko wywody teoretyczne czy przeprowadzono jakiś eksperyment pomiarowy?
2. Na stronie 47 rozprawy skomentowano wyniki pomiaru prądu źródła SiC MOSFET za pomocą cewki Rogowskiego oraz bocznika. Na rysunkach 3.8 i 3.9, jak rozumiem, zamieszczono oscylogramy prądu źródła po wyrównaniu czasowym. Jaka była wartość korekty? Jeśli dysponuje Pan jeszcze oscylogramami prądu przed wyrównaniem to proszę przedstawić.
3. Na rysunku 3.19 zamieszczono wykresy energii przełączeń z analizy których wynika, że energie E_{ON} wyznaczone z na poziome struktury (on-chip) są nadmiarowe w stosunku do metod wg IEC a energie E_{OFF} z niedomiarem. Z punktu widzenia sprawności przekształtnika istotna jest oczywiście suma tych energii. Proszę sumy tych energii zestawić na identycznym wykresie jak na rys.3.19. Na osobnym wykresie proszę zestawić tylko bezwzględne różnice pomiędzy energiami zmierzonymi wg IEC i na strukturze on-chip, a na kolejnym wykresie wartości procentowe tych różnic (błędów) odniesione do średniej energii przełączania uzyskanej obiema metodami, np. wg zależności jak niżej:
$$\Delta E_{SW\%} = (E_{SW\ IEC} - E_{SW\ chip}) / ((E_{SW\ IEC} + E_{SW\ chip}) / 2) * 100\%$$

Przykładowo, dla prądu 400 A obliczyłem, że popełniany błąd wynosi ok. 0,7 mJ a błąd względny 12%.
4. W odniesieniu do pytania nr 3 proszę skomentować wartości błędu ΔE_{SW} w kontekście niepewności pomiaru dla obu metod. Ponadto, czy „spowalniając” tranzystor, np. przez zwiększenie rezystancji bramkowej, popełniany błąd ΔE_{SW} będzie się zmniejszał?

5. W odniesieniu do kalorymetru i rysunków 3.31 i 3.32. Dla użytkownika bardziej użyteczne byłyby wykresy błędów w funkcji mierzonej mocy, bo czy użytkownik sam dobiera przepływ w funkcji mocy czy może algorytm sterowania kalorymetrem dobiera odpowiedni przepływ by uzyskać najmniejszy błąd?
6. Po lekturze rozdz.3.1, czytelnik oczekiwał, że opracowany i opisany w rozdz.3.2 kalorymetr zostanie wykorzystany do weryfikacji wyznaczonych wcześniej energii przełączeń (rys.3.19). Czy da się to zrealizować w opracowanym kalorymetrze?
7. W rozdziale dotyczącym modelowania w PSpice doktorant skupił się na poprawnym odzwierciedleniu kształtu przebiegów napięć i prądów tranzystora. Natomiast na podstawie symulacji modelu PSpice nie wyznaczono energii przełączeń, chociaż przeprowadzono cały komplet symulacji zamieszczonych w dodatku B. Proszę porównać wyniki pomiaru i symulacji E_{ON} i E_{OFF} np. dla prądu 400A (np. przypadek jak na rys.3.15-3.16 vs. przypadek jak na rys.B.1-B.3). Najlepiej wg IEC i on-chip.
8. Ile wynosi wartość R_{SHUNT} i L_{SHUNT} rezystora pomiarowego z modelu PSpice na rys.4.5? Jaką pojemność ma kondensator obwodu DC z rys.3.2a (podana jest tylko jego indukcyjność szeregową 15 nH).

11. Podsumowanie

Pan magister inżynier Dawid Zięba w rozprawie pt. „*Advanced methods of power losses measurements in SiC semiconductor power devices*” zaprezentował oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w postaci opracowania metodologii pomiarów wybranych właściwości dynamicznych modułów mocy z SiC MOSFET, w szczególności energii przełączania. Osiągnął to poprzez analizę teoretyczną procesu przełączania SiC MOSFET z wyodrębnionym prądem składowej pojemnościowej, poprzez pomiary laboratoryjne a następnie opracowanie i zweryfikowanie behawioralnego modelu komputerowego PSpice.

Wykazał się samodzielnością w prowadzeniu badań naukowych oraz wiedzą teoretyczną i kompetencjami w zakresie tematyki rozprawy, zawierającej się w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Zamieszczone w recenzji uwagi 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 a wyniki zostaną wykorzystane nie tylko przez beneficjenta doktoratu wdrożeniowego.

Rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z warunkami określonymi w artykule 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 ze zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Marcin Kasprzak

Marcin Kasprzak