

Dr hab. inż. Grzegorz Blakiewicz, prof. nadzw. PG
Katedra Systemów Mikroelektronicznych
Wydział Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12
83-233 Gdańsk
tel. 58 3472145
e-mail: blak@eti.pg.edu.pl

Gdańsk, 6.06.2018

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Marcina Walczaka

zatytułowanej:

Modelowanie i badania wybranych impulsowych przetwornic napięcia stałego, pracujących w trybie nieciągłego przewodzenia (DCM)

1. Tematyka rozprawy, aktualność i znaczenie problemu naukowego

Rozprawa doktorska została poświęcona badaniom wybranych impulsowych przetwornic napięcia stałego pracujących w trybie nieciągłego przewodzenia. Do badań wybrano dwie bardzo często stosowane w praktyce przetwornice dławikowe, a mianowicie obniżającą i podwyższającą napięcie, które w literaturze anglojęzycznej noszą nazwy *buck* i *boost*. W określeniu tematu badań istotne jest wyróżnienie, że dotyczy on pracy przetwornic w trybie nieciągłego przewodzenia (DCM).

W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę, że wybrane rodzaje przetwornic mają bardzo duże znaczenie praktyczne ze względu na powszechne stosowanie ich we współczesnym sprzęcie elektronicznym. Obecnie, tego rodzaju przetwornice ze względu na bardzo wysoką sprawność energetyczną praktycznie wyparły tzw. liniowe regulatory napięcia. Należy również wyjaśnić, że przetwornice w sprzęcie elektronicznym zaczęto stosować już kilkadziesiąt lat temu, co mogłoby sugerować, że tego rodzaju układy zostały całkowicie poznane, a metody ich opisu są wystarczająco dokładne. Niestety, mimo upływu wielu lat obecnie stosowane modele opisujące właściwości przetwornic są niedoskonałe, szczególnie w zakresie nieciągłego przewodzenia. Potwierdzeniem tej tezy może być na przykład zakres tematyczny ujęty w bardzo obszernej książce poświęconej tematyce przetwornic, autorstwa M. K. Kazimierczuka pt. *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*. Zagadnieniom modelowania właściwości dynamicznych przetwornic w trybie ciągłego przewodzenia poświęcono dwa rozdziały (łącznie około 55 stron), a zagadnieniom dotyczącym nieciągłego przewodzenia tylko fragment rozdziału (około 10 stron). W innych pozycjach bibliograficznych można również zauważyć tak dużą dysproporcję w prezentowaniu wymienionych zagadnień. W efekcie, na etapie opracowywania przetwornic impulsowych projektant napotyka na duże

trudności w opisie właściwości dynamicznych tych układów w zakresie nieciągłego przewodzenia.

Na zakończenie oceny ważności tematyki, należy wyjaśnić że praca przetwornic w zakresie nieciągłego przewodzenia nabiera coraz większego znaczenia w nowoczesnych systemach mikroelektronicznych. W systemach tych następuje częste wprowadzanie zasilanych obwodów w stan uśpienia, który wywołuje nieciągły tryb przewodzenia przetwornic.

Należy zatem stwierdzić, że Autor wybrał aktualną tematykę, której praktyczne znaczenie jest duże, a ponadto będzie rosło wraz z rozwojem energooszczędnych układów elektronicznych.

2. Problem naukowy rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany

Problem naukowy rozprawy doktorskiej sformułowano we wstępnym rozdziale. Autor podejmuje się rozszerzenia istniejących i opracowania dokładniejszych modeli przetwornic *buck* i *boost* pracujących w trybie nieciągłego przewodzenia. Tak postawiony cel będzie osiągnięty przez pełniejsze niż dotychczas uwzględnienie efektów pasożytniczych związanych z niedoskonałościami komponentów stosowanych w obwodach przetwornic. Zakres rozważanych modeli został ograniczony do modeli małosygnałowych i wynikającej z nich tak zwanej transmitancji regulacyjnej, czyli transmitancji określającej zależność zmian napięcia wyjściowego przetwornicy od zmian współczynnika wypełnienia sygnału sterującego włączaniem klucza tranzystorowego.

W rozprawie określono cele częściowe, które stały się niezbędne do rozwiązania głównego problemu naukowego, a mianowicie:

- a) Analiza dostępnych modeli małosygnałowych dla przetwornic pracujących w trybie DCM
- b) Wybór metody wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych na podstawie zmierzonych przebiegów czasowych
- c) Identyfikacja efektów pasożytniczych mających wpływ na pracę przetwornic
- d) Doświadczalne wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych i porównanie ich z wybranymi modelami małosygnałowymi przetwornic pracujących w trybie DCM
- e) Modyfikacja dwubiegowego modelu małosygnałowego przetwornicy BUCK pracującej w trybie DCM, poprzez uwzględnienie efektów pasożytniczych o charakterze rezystancyjnym
- f) Analiza wpływu wybranych efektów pasożytniczych na charakterystykę częstotliwościową transmitancji H_d

Biorąc pod uwagę wymienione cele częściowe, należy zwrócić uwagę, że Autor starał się w sposób dokładny i rzetelny zdefiniować problem. Zaplanowane działania dotyczą bowiem zarówno modelowania i porównań teoretycznych, głównie z wykorzystaniem symulacji komputerowych, jak również prac praktycznych. Należy docenić fakt, że zaplanowano również eksperymenty i dobrano odpowiednie metody pomiarowe umożliwiające zebranie wyników testów układów prototypowych.

A zatem można stwierdzić, że problem naukowy i cele sformułowane przez Autora w sposób jasny i jednoznaczny określają obiekt prac badawczych i zakres planowanych działań.

3. Czy autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego właściwych metod

Dążąc do rozwiązania postawionego problemu naukowego Autor w pierwszej kolejności dokonał przeglądu dostępnych modeli małosygnałowych przetwornic impulsowych. Porównanie modeli doprowadziło do wniosku, że są one niekompletne i niejednolite, szczególnie w zakresie trybu nieciągłego przewodzenia. Taki wniosek skłania Autora do opracowania własnych udoskonalonych modeli, w których stara się uwzględnić zjawiska pomijane lub nienależycie modelowane. Jako pierwszy analizowany jest problem pojemności pasożytniczych diody i tranzystora w konwerterze *buck*. W celu zbadania efektów wywołanych pojemnościami, konstruowany jest układ prototypowy konwertera *buck*, pokazany na rys. 5.3 i 5.4., który pozwala na doświadczalny pomiar charakterystyk częstotliwościowych. Wyniki pomiarów jednoznacznie wskazują na zauważalny wpływ oscylacji związanych z pojemnościami, na przebieg analizowanych transmitancji przetwornicy. Autor stwierdza, że dokładne uwzględnianie pojemności pasożytniczych w modelach małosygnałowych może być trudnym zadaniem, prowadzącym do nadmiernie złożonych modeli, których praktyczna przydatność stanie się wątpliwa. W takiej sytuacji formułowane jest zalecenie aby stosować techniki i rozwiązania tłumiące oscylacje po to aby zapewnić wystarczającą dokładność modeli małosygnałowych. Należy stwierdzić, że takie podejście jest uzasadnione praktycznie. Projektant powinien raczej dążyć do eliminacji oscylacji powodujących wzrost zakłóceń i zwiększających ryzyko uszkodzenia elementów aktywnych, niż szukać dokładniejszych modeli dla warunków pracy przetwornic, których powinno się unikać.

W kolejnych etapach prac analizowany jest wpływ rezystancji pasożytniczych komponentów wchodzących w skład przetwornic, tzn.: kluczy, cewki i kondensatora. Autor posługując się serią symulacji oraz wynikami pomiarowymi prototypowej przetwornicy wskazuje, które z rezystancji mają decydujący wpływ na przebieg charakterystyk częstotliwościowych i określa czy należy je uwzględniać w tworzeniu modeli małosygnałowych. W wyniku tych prac zauważono, że największy wpływ na dokładność modeli ma równoważna rezystancja szeregową kondensatora. Z kolei w typowych warunkach pracy w zakresie nieciągłego przewodzenia, rezystancje tranzystora i diody nie mają istotnego znaczenia. Są to przydatne wnioski, ponieważ pomagają projektantowi wyznaczyć kierunki postępowania mającego na celu poprawę dokładności modeli przy jednoczesnym zachowaniu małej złożoności. Na uwagę zasługuje fakt, że analiza i wnioski zostały poparte pomiarami przetwornicy prototypowej, a zatem zostały zweryfikowane praktycznie. Należy podkreślić, że pomiary charakterystyk częstotliwościowych przetwornic impulsowych są szczególnie kłopotliwe ze względu na występowanie silnych zakłóceń i zniekształceń sygnałów powodowanych kluczowaniem prądów i napięć. Z tego względu rozdział 4 został poświęcony ważniejszym metodom wyznaczania charakterystyk z omówieniem ich najistotniejszych właściwości i zakresu stosowania. Ten rozdział, o charakterze przeglądowym, jest przydatny projektantowi pozwalając na wybór właściwej metody w zależności od dysponowanego sprzętu pomiarowego i trybu pracy badanej przetwornicy. Spostrzeżenia i wnioski zebrane z przeprowadzonych symulacji i pomiarów skłoniły Autora do opracowania własnego modelu dwubiegunowego uwzględniającego wszystkie ważniejsze rezystancje pasożytnicze. Model ten został wyprowadzony z wykorzystaniem metody uśredniania prądu cewki i linearyzacji

wykorzystującej rozwinięcie zależności nieliniowych w szereg Taylora. Poprawność i dobra dokładność uzyskanego w ten sposób modelu została jednoznacznie wykazana na zasadzie porównania charakterystyk otrzymanych z symulacji, jak również pomiarów rzeczywistej przetwornicy prototypowej. Ponadto, Autor podaje wskazówki jak w sposób efektywny korzystać z modelu, tzn. w jakich sytuacjach można model uprościć zaniedbując rezystancje o niewielkim wpływie na dokładność wyników.

Należy również podkreślić, że doświadczenia praktyczne związane z przeprowadzonymi pomiarami skłaniają Autora do sformułowania dalszych wniosków pozwalających zwiększyć dokładność opracowanego modelu. Autor zwraca uwagę na fakt, że niewielkie rozbieżności pomiędzy charakterystykami uzyskanymi z pomiarów i za pomocą opracowanego modelu można wyjaśnić zmianami indukcyjności cewki wywołanych przepływem dużych prądów. W związku z tym, w przypadku konieczności zapewnienia dużej dokładności należy uwzględnić ten efekt przy określaniu wartości indukcyjności używanej w opracowanym modelu dwubiegunowym.

Biorąc pod uwagę efekty prac wykonanych przez Autora należy stwierdzić, że postawiony cel został osiągnięty. Autor opracował małosygnałowy model dwubiegunowy uwzględniający wszystkie ważniejsze rezystancje pasożytnicze, który wykazuje większą dokładność niż stosowane dotychczas. Metody zastosowane do opracowania modelu są poprawne i adekwatne do analizowanego zakresu pracy przetwornicy.

4. Oryginalny dorobek autora, jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna

Najważniejszym osiągnięciem Autora jest opracowanie udoskonalonego modelu dwubiegunowego przetwornicy *buck* uwzględniającego wszystkie ważniejsze rezystancje pasożytnicze komponentów. Ponadto Autor podaje wskazówki dotyczące sposobu stosowania modelu oraz zalecenia pozwalające na uzyskanie dużej dokładności obliczeń. Należy również zwrócić uwagę, że opracowany model jest wynikiem skrupulatnych analiz porównawczych istniejących modeli z właściwościami rzeczywistej prototypowej przetwornicy *buck*. Drugim ważnym osiągnięciem jest opracowanie zestawienia, zamieszczonego w dodatku E, dotychczas stosowanych modeli małosygnałowych oraz autorskiego modelu przetwornic pracujących w trybie nieciągłego przewodzenia z omówieniem ich najistotniejszych wad i niedoskonałości. Takie zestawienie pozwala projektantowi na świadome korzystanie z modeli opisanych w literaturze i unikanie problemów związanych z ich niedokładnościami. Do osiągnięć praktyczny można zaliczyć wyniki pomiarów charakterystyk częstotliwościowych prototypowej przetwornicy *buck* i płynące z nich wnioski. Zamieszczony szczegółowy opis sposobu pomiaru jest cenną wskazówką dla projektantów przetwornic jak należy poprawnie wyznaczać charakterystyki. Ta część pracy ma duże walory praktyczne, ponieważ opis technik pomiarowych jest rzadko spotykany w literaturze. Duże znaczenie praktyczne ma zwrócenie przez Autora uwagi na istotne problemy wpływające na dokładność modelowania przetwornic, a wynikające z niedokładności modelowania poszczególnych komponentów takich jak cewki i kondensatory. Autor wskazuje na duże znaczenie zmian indukcyjności wywołanej nieliniową charakterystyka magnesowania rdzenia.

5. Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy autora zwłaszcza znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej której dotyczy

Autor prezentując zagadnienia związane z tematyką rozprawy doktorskiej omawia właściwości podstawowych przetwornic napięcia stałego. Omawiane są: najważniejsze rodzaje modulacji sygnału sterującego przełączaniem kluczy, podstawowe tryby pracy przetwornic oraz przykładowe zastosowania. Ta część rozprawy świadczy o zdobyciu wystarczającej wiedzy ogólnej. W kolejnym, 3 rozdziale Autor porusza zaawansowane zagadnienia dotyczące technik modelowania stosowanych w analizie właściwości dynamicznych przetwornic. Wśród prezentowanych technik zostały wymienione wszystkie najważniejsze techniki z podaniem ich specyficznych cech i zakresu stosowania. Należy podkreślić, że takie pełne zestawienie jest rzadko spotykane w literaturze. Najczęściej jest podawana tylko jedna wybrana technika, w związku z czym czytelnik często nie ma świadomości o innych dostępnych metodach. Ta część rozprawy systematyzuje materiał, a ponadto ma duże walory dydaktyczne. Materiał prezentowany w rozdziale 4 ma znaczące walory praktyczne. W większości dostępnych podręcznikach problem pomiaru charakterystyk w ogóle nie jest poruszany. W efekcie, projektant po opracowaniu prototypowej przetwornicy może mieć trudności z wyborem techniki pomiarowej pozwalającej na praktyczne zweryfikowanie prawidłowości działania układu. Autor omawia trzy najważniejsze metody pomiaru wskazując na ich specyficzne cechy i zakres zastosowania.

Autor w rozprawie przytacza 153 pozycje bibliograficzne, w tym 10 własnych. Analizując cytowaną literaturę można zauważyć, że zagadnienia dotyczące zasady działania, najważniejszych właściwości i metod analizy konwerterów są omawiane z odniesieniami do literatury głównie z lat od 2004 do 2015. Ten zakres tematyczny obejmuje zagadnienia podstawowe, zbadane dość dawno, a zatem wybrane pozycje bibliograficzne reprezentują bez wątpienia aktualny stan wiedzy. Tematykę zaawansowanego modelowania w trybie nieciągłego przewodzenia przetwornic oraz analizę niedoskonałości dotychczas stosowanych modeli Autor omawia cytując literaturę z ostatniej dekady, co świadczy o poznaniu aktualnej problematyki modelowania przetwornic.

6. Wady i słabe strony rozprawy

Wady rozprawy można podzielić na trzy kategorie: 1) braki natury ogólnej dotyczące sposobu prezentacji materiału, 2) nieprecyzyjne omówienie zagadnień oraz 3) błędy edycyjne i językowe.

Braki natury ogólnej dotyczące sposobu prezentacji materiału

Najważniejszym, ogólnym mankamentem rozprawy doktorskiej jest zbyt słabe podkreślenie znaczenia problemu, którym zajmował się Autor. Głównym celem pracy była poprawa dokładności modeli małosygnałowych przetwornic pracujących w trybie nieciągłego przewodzenia. W zasadniczym, 5 rozdziale pracy przedstawiono szereg analiz porównawczych modeli znanych, z dokładniejszymi modelami zaproponowanymi przez Autora. Jednakże z analiz i porównań wynika, że rozbieżności pomiędzy modelami pojawiają się przy relatywnie wysokich częstotliwościach, gdzie analizowana transmitancja wykazuje tłumienie rzędu od -20 do -40 dB, a zatem tam, gdzie sygnały są osłabione od kilkunastu do kilkudziesięciu razy.

W efekcie, czytelnik może odnieść wrażenie, że autor analizuje nieistotne rozbieżności nie mające wpływu na właściwości dynamiczne przetwornic. Należy jednak pamiętać, że kompletna, praktyczna przetwornica impulsowa jest zawsze wyposażona w ujemną pętlę sprzężenia zwrotnego służącą do regulacji napięcia wyjściowego. Jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że dodatkowe bloki funkcjonalne sprzężenia zwrotnego wprowadzają wzmocnienie rzędu 20-30 dB, to paradoksalnie okaże się, że rozbieżności modeli na wysokich częstotliwościach mają znaczenie zasadnicze. Natomiast niedokładności modeli na niskich częstotliwościach, tam gdzie transmitancje wykazują duże wzmocnienie, są mniej istotne. Przyczyną takiej sytuacji są cechy pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Moim zdaniem, w rozprawie doktorskiej w niewystarczający sposób zwrócono uwagę na tę kwestię. Zasygnalizowanego powyżej problemu można by uniknąć, gdyby w rozprawie znalazły się podstawowe informacje o cechach ujemnej pętli regulacyjnej, które mniej doświadczonemu czytelnikowi pozwoliłyby docenić wagę analizowanego problemu. Takie informacje pozwoliłyby bardziej przekonująco uzasadnić znaczenie analizowania rozbieżności charakterystyk częstotliwościowych wynikających z niedoskonałości dotychczas stosowanych, modeli małosygnałowych.

Autor w podrozdziale 5.3.7 analizuje wpływ rezystancji pasożytniczych na charakterystyki częstotliwościowe. Zgodnie z zawartym opisem analiza polega na wykonaniu serii symulacji wykorzystujących wyprowadzony model dwubiegunowy, który podano w dodatku E. Ze względu na fakt, że model jest analityczny w postaci transmitancji powstaje pytanie czy nie lepszym sposobem analizy byłoby obliczenie tzw. wrażliwości obwodowych. Wrażliwości obwodowe można wyznaczyć jako odpowiednio unormowane pochodne cząstkowe transmitancji względem wybranych parametrów takich jak na przykład poszczególne rezystancje pasożytnicze. Wykorzystanie wrażliwości obwodowych jest korzystniejsze, gdyż pozwala wyciągnąć ogólniejsze wnioski, nie tylko te ograniczone do założonego zakresu zmian rezystancji użytych w zaprezentowanych wynikach symulacji. Czy były jakieś istotne powody zrezygnowania z takiego podejścia?

W tekście pracy są fragmenty omawiające zagadnienia w sposób niewystarczająco precyzyjny, który często wynika z zastosowania żargonu lub skrótów myślowych.

Na str. 7 znajduje się sformułowanie „[...] dynamika charakterystyk częstotliwościowych może ulec zmianie [...]”. W tym zdaniu nie bardzo wiadomo co to jest „dynamika charakterystyk częstotliwościowych”. Wydaje się, że w tym miejscu powinno się raczej napisać o dynamice przetwornicy, która wynika z postaci charakterystyk częstotliwościowych. Nie można pisać o dynamice charakterystyk częstotliwościowych, ponieważ dynamika odnosi się do czasu, a charakterystyki do częstotliwości. W oryginalnym sformułowaniu ma się wrażenie że chodzi o szybkość zmian charakterystyk częstotliwościowych, jeśli taka była intencja Autora, to powinno się użyć sformułowania „[...] dynamika zmian charakterystyk częstotliwościowych [...]”

Na str. 8 użyto sformułowania „Duże rozbieżności między modelami małosygnałowymi mogą powodować pewne zamieszanie [...]”. Moim zdaniem to sformułowanie jest zbyt

zachowawcze i zbyt słabo oddaje wagę problemu. Rozbieżności w przebiegu charakterystyk mogą prowadzić do istotnych błędów podczas projektowania kontrolerów sterujących pracą przetwornic, a w szczególności mogą prowadzić do niestabilności.

Na str. 21 jest zdanie „Ze względu na cykliczną pracę przetwornic BUCK, BOOST oraz BUSK-BOOST w ich obwodzie można rozróżnić przynajmniej dwie topologie, które odpowiadają różnym rozkładom prądów i napięć.” Tak brzmiące sformułowanie jest mylące, w tekście nie chodzi o cykliczną pracę, czyli pracę przetwornicy polegającą na cyklicznym dostarczaniu zasilania do urządzenia i okresach, w których przetwornica jest wyłączona. Prawidłowe sformułowanie powinno brzmieć: „Ze względu na cykliczne przełączanie prądów i napięć w przetwornicach BUCK, BOOST oraz BUSK-BOOST [...]”

W podrozdziale 4.2 brakuje wyjaśnienia dlaczego wykreslano tylko charakterystyki fazowe przy omawianiu metod wykorzystujących uśrednianie za okres przełączania (rys. 4.8) oraz transformacji Fouriera (rys. 4.10).

Podany na str. 40 sposób interpretacji wykresu prądu cewki pokazanego na rys. 5.2 jest nieprecyzyjny i wynika chyba z użycia zbyt dużego skrótu myślowego. Autor pisze (str. 41): „W takim przypadku rzeczywisty czas przewodzenia tranzystora t_{ON2}' jest większy niż czas trwania impulsu sterującego tranzystorem t_{ON2} .” Dokładny przebieg zjawisk w tym przypadku jest następujący. Wszędzie tam gdzie na wykresie są oscylacje prądu cewki, zarówno tranzystor jak i dioda są wyłączone. W przeciwnym przypadku, gdyby któryś z tych elementów był włączony powodowałby silne tłumienie obwodu rezonansowego, o którym jest mowa we wzorze (5.1), i oscylacji by nie było. A zatem stwierdzenie „[...] rzeczywisty czas przewodzenia tranzystora t_{ON2}' jest większy [...]” niedokładnie opisuje fizyczne zjawiska, które zachodzą w obwodzie. Należało by użyć precyzyjniejszego określenia, np.: „ [...] obwód zachowuje się tak, jak gdyby czas przewodzenia tranzystora t_{ON2}' był większy [...]”

Błędy edycyjne i językowe

We wzorze (3.3) na str. 21 brakuje wyjaśnienia znaczenia $x(OFF1)$

Na str. 25 we wzorze (3.23) w trzech ostatnich składnikach jest błąd, składniki te powinny reprezentować pochodne cząstkowe z funkcji $f(V_G, d_A, v_O)$, takiej jak we wzorze (3.22), a nie z wyrażenia $f(V_G, D_A, V_O)$, które reprezentuje liczbę. Analogiczne błędy są we wzorach (3.25)-(3.27). Poprawny zapis analogicznych wyrażeń znajduje się w dodatku B, wzory (C.8) – (C.10). Można zatem domyślać się, że wymienione błędy wynikły z błędnego przepisania wzorów (C.8) – (C.10).

Na str. 26 opisy symboli V_g , θ , I_{we} - są mylące, co wynika najprawdopodobniej z posługiwania się żargonowymi określeniami. Prawidłowe określenia wymienionych oznaczeń to: transformata-s napięcia wejściowego, transformata-s współczynnika wypełnienia, transformata-s prądu wejściowego.

Na str. 28 jest „ [...] wyznacza się średnie wartości prądu cewki cewce oraz napięcia na kondensatorze [...]” powinno być „ [...] wyznacza się średnie wartości prądu w cewce oraz napięcia na kondensatorze [...]”

Na str. 37 jest zdanie „Obiektem symulacji była przetwornica BOOST, pracująca w trybie CCM o parametrach opisanych w tab. 4.1, odpowiadającym przetwornicy z rys. 4.16, 4.18 i 4.10.” W tekście pracy nie ma rys. 16 i 4.18, a rys. 4.10 nie przedstawia schematu przetwornicy, a tylko charakterystykę częstotliwościową.

Na str. 39 jest zdanie „W dalszej części rozdziału skupiono się na zbadaniu wpływu [...]”. Zdanie powinno brzmieć „W dalszej części rozdziału skupiono się na zbadaniu wpływu [...]”

Na str. 50 jest sformułowanie „[...] pojawia się sygnał impulsowy o zmiennym współczynniku wypełnienia [...]”. W tym przypadku lepszym określeniem, ze względu na większą precyzję opisu, byłoby „ [...] pojawia się sygnał prostokątny o zmiennym współczynniku wypełnienia [...]”

Na str. 55 jest odwołanie do rys. 16c, którego nie ma w tekście pracy, najprawdopodobniej chodzi o rys. 5.15c.

Na str. 56 jest „W pozostałych przypadkach przedstawionych na rys. 5.14b,c [...]”, a powinno być „W pozostałych przypadkach przedstawionych na rys. 5.14b,c [...]”

Na str. 60 jest „[...] przeprowadzono obliczenia mające na celu sprawdzić, jaki wpływ [...]”, a powinno być „ [...] przeprowadzono obliczenia mające na celu sprawdzenie jaki wpływ [...]”

Na str. 60 jest „ [...] zastosowano podobne podejście do określenia siły oddziaływania wybranych rezystancji [...]”. Lepszym określeniem jest „[...] zastosowano podobne podejście do określenia wielkości wpływu wybranych rezystancji [...]”

Na str. 71 jest „[...] oparte o modele dostępne [...]”. Lepiej jest użyć „[...] oparte na modelach dostępnych [...]” lub „[...] wykorzystujące modele dostępne [...]”

7. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach oraz wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (z późniejszymi zmianami) oceniam rozprawę pana mgr inż. Marcina Walczaka jako dobrą i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Marcina Walczaka do publicznej obrony.

Blahiewicz