



Politechnika Warszawska
Wydział Elektryczny
Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

Warszawa, 10.03.2025

dr hab. inż. Marek Jasiński, prof. uczelni
Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny
Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej,
Zakład Elektroniki Przemysłowej
Ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej
Dla Politechniki Gdańskiej

Tytuł rozprawy:

„Study of the microbial fuel cell and its circuit modeling to improve its performance as a source of electric energy combined with wastewater treatment”

Tytuł wer. Polska:

“Badania mikrobiologicznego ogniwa paliwowego oraz jego modelowanie obwodowe w celu poprawy jego wydajności jako źródła energii elektrycznej skojarzonej z oczyszczaniem ścieków”

Autor rozprawy: mgr inż. Szymon Potrykus

Promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Musznicki

Second promotor: prof. dr hab. inż. Francisco Jesús Fernández Morales.

(Wg. otrzymanego raportu z badania anyplagiatowego drugim promotorem jest Andrzej Sobecki).

Słowa kluczowe: microbial fuel cel, wastewater treatment, source of electric energy - modelling

Recenzja przygotowana na zlecenie Politechniki Gdańskiej reprezentowanej przez
Przewodniczącego rady Automatyka Elektronika, Elektrotechnika i Technologie kosmiczne prof. dr
hab. inż. Piotr Jasińskiego.

1. Wstęp i aktualność tematyki

Rozprawa Pana mgra inż. Piotra Potrykusa zatytułowana *„Study of the microbial fuel cell and its circuit modeling to improve its performance as a source of electric energy combined with wastewater treatment”* napisana jest w języku angielskim, ma 109 stron. Tematyka jest bardzo aktualna, wręcz przyszłościowa ponieważ badane w pracy ogniwa mikrobiologiczne (microbial fuel cell (MFC)) praktycznie nie są jeszcze zbadane pod względem elektrotechnicznym. Technologia związana z ich testami laboratoryjnymi nie jest jeszcze opracowana. Lecz coraz więcej ośrodków podejmuje wyzwania i buduje modele laboratoryjne MFC pod kontem zastosowań właśnie np. w oczyszczalniach ścieków, lub biosensorach czy kontroli wzrostu i naświetlenia roślin. Zagadnienie jest również wybitnie interdyscyplinarne i obecnie więcej się o nim mówi w obszarach biochemicznych niż elektrotechnicznych. Próżno szukać rozbudowanych bibliotek modeli MFC elektrotechnicznych czy też termicznych w najbardziej znanych narzędziach jakim jest Matlab, czy PLECS. Można znaleźć pojedyncze rozwiązania na platformie GitHub. Tym bardziej temat moim zdaniem jest ciekawy, i wręcz pożądany w elektrotechnice gdyż wyprzedza obecne możliwości



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

technologiczne i jest próbą odpowiedzi na pytanie czy możemy modelować w sposób efektywny mikrobiologiczne ogniwa paliwowe (sama nazwa stosowana w literaturze wydaje się nietrafiona).

2. Struktura pracy i ogólna charakterystyka

Praca składa się z listy symboli, podsumowania, zdefiniowania celów i zakresu zagadnień, wstępu, opisu wpływu wielkości przepływu na parametry mikrobiologicznego ogniwa paliwowego, analizy efektów obciążenia zewnętrznego na działanie MFC, modelowania napięcia na zaciskach MFC, opisu działania w różnych warunkach pracy przy ciągłym generowaniu energii przez MFC, maksymalizacji sprawności energetycznej i zapotrzebowania tlenowego przy założeniu ciągłej generacji energii przez MFC i wreszcie wniosków, referencji, załączników A i B oraz listy rysunków.

Powyższa struktura pracy choć nieco rozbudowana wydaje się przemyślana i zgodna z tematem rozprawy.

Autor po krótkim przedstawieniu pracy przechodzi do zarysowania celów wykonanych prac i zdefiniowania zakresu przeprowadzonych badań. Tu przedstawia hipotezę:

„Accurate modeling of energy conversion in a microbial fuel cell allows for identifying the mutual influence between non-electrical and electrical parameters and predicts maximum performance in the operational context.”

Następnie definiuje pytania umożliwiające jej sprawdzenie:

1. W jaki sposób zmiana parametrów przepływu medium paliwowego może wpłynąć na wydajność procesów elektrochemicznych w przepływowych MFC?
2. Czy zmienne parametry obciążenia elektrycznego mogą zmienić właściwości fizykochemiczne medium w przepływowych MFC w dłuższej perspektywie?
3. W jaki sposób zmienne parametry obciążenia elektrycznego (napięcie i prąd) mogą wpłynąć na wydajność procesów elektrochemicznych w MFC?
4. Czy model skupiony o zredukowanym rzędzie MFC może być wystarczająco dokładny, aby przedstawić dynamikę systemu?

Poszukując odpowiedzi na powyższe pytania w pracy przedstawiono podział na trzy etapy prac:

Etap 1

1. Krytyczny przegląd warunków pracy dotyczących wydajności elektrochemicznej MFC;
2. Krótkoterminową ocenę wpływu zmian natężenia przepływu medium na wydajność elektrochemiczną MFC;
3. Opracowanie matematycznego modelu MFC i parametryzacja modelu.

Etap 2

1. Krytyczny przegląd literatury dotyczący wpływu zmiennych parametrów elektrycznych na wydajność MFC;
2. Ocenę wpływu zewnętrznych zmian obciążenia na wydajność elektrochemiczną MFC pracującego w trybie obciążenia ciągłego;
3. Ocenę wpływu zmian parametrów obciążenia zewnętrznego na wydajność elektrochemiczną MFC pracującego w trybie obciążenia ciągłego;
4. Analizę wpływu zmiennych parametrów obciążenia zewnętrznego na generację energii i zużycie paliwa.

Etap 3

1. Krytyczny przegląd wybranych modeli MFC poświęconych przypadkom przedstawionym w pracy.
2. Bazując na wynikach testów laboratoryjnych, weryfikacja sposobu modelowania MFC.



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

3. Implementację modelu i analizę różnych wartości obciążenia w celu uzyskania maksymalnego punktu generacji energii elektrycznej oraz intensywnego oczyszczania ścieków.

We wstępie autor przedstawił podstawy działania ogniw paliwowych (Fuel Cell) oraz mikrobiologicznych ogniw paliwowych (MFC). Sam zauważył, że technologia MFC jest jeszcze na wczesnym etapie rozwoju. Aplikacja MFC w praktyce wymaga nadal znacznego wysiłku inżynierskiego i pozyskania nowych danych. Jak na dość sporą ilość przytoczonych referencji (123 pozycje) czytelnik ma wrażenie, że nie wszystko zostało przedstawione.

Szczególnie tematyka związana z przykładami praktycznych realizacji i badań tzw. „pilot scale”. Odniesienie się do takich badań z punktu widzenia modelowania i weryfikacji laboratoryjnej miałoby trudne do przecenienia znaczenie. Zabrakło np. odniesienia do badań:

“Pilot scale microbial fuel cells using air cathodes for producing electricity while treating wastewater Ruggero R. et.al. (2021);

gdzie autorzy zbudowali pilotażowy demonstrator MFC z biofiltrem (BF) - średnia moc produkowana przez okres 6 miesięcy wynosiła $0.45 \text{ W} \pm 0.35 \text{ W}$ przy średnim prądzie $1.54 \pm 0.9 \text{ A}$. Te wartości wydają się bardzo niskie jednakże autorzy wskazali, że wykorzystanie kombinacji MFC/BF do oczyszczania ścieków wymaga bardzo mało energii tj. 0.13 Wh/L . Niemniej jednak w przytoczonej pozycji pomimo zaawansowanego stanowiska pilotażowego próżno szukać podejścia elektrotechnicznego oraz cyfrowego modelowania MFC w celu weryfikacji symulacyjnej.

Zatem tematyka podjęta przez Autora jest nowatorska, z dużym potencjałem, ale jednak zdecydowanie na bardzo wczesnym etapie rozwoju a szczególnie w dziedzinie elektrotechniki czy energoelektroniki (tu zagadnienie praktycznego wykorzystania MFC nie istnieje – wg mojej wiedzy).

W większości jest to zagadnienie rozwijane chemicznie lub biochemicznie pod kontem poszanowania środowiska naturalnego i tak jest ono przedstawiane w większości znanych mi publikacji.

W rozdziale 4 - wpływ prędkości przepływu na parametry mikrobiologicznego ogniwa paliwowego przedstawił metodologię swoich badań na tle bardzo skromnego przeglądu literatury (zawartego w krótkim jednostronicowym wstępie do tegoż rozdziału). Na wykresach rys. 4.2 przedstawiono maksymalne napięcie celi na poziomie 10 mV przy przepływie 7.2 L/d (litra na dzień). Natomiast na rysunku 4.5 przedstawiono sprawność kolumbowską poniżej $0,3\%$ dla przepływu od $0,72$ do $7,5 \text{ L/d}$.

Autor w czasie testu (jak rozumiem rzeczywistego obiektu MFC – proszę Autora o wyjaśnienie w dalszej części recenzji) uzyskał maksymalną gęstość mocy na poziomie 16 mW/m^2 przy gęstości prądu ok 80 mA/m^2 .

Na rysunku 4.7 przedstawione są wyniki symulacyjne (różne od tych przedstawionych na rysunku 4.6. Tutaj też będę prosił Autora o wyjaśnienie tego faktu.

Rozdział 5 opisuje wpływ zewnętrznego obciążenia rezystancyjnego na właściwości mikrobiologicznego ogniwa paliwowego. Przyjęto rezystancję wewnętrzną MFC równą $2210 \text{ } \Omega$. Testów dokonano dla zmiennej rezystancji wyjściowej ($560, 1000, 1500, 2200, 2700, 3300 \text{ } \Omega$).

W rozdziale 6 Autor przedstawił próbę modelowania napięcia na zaciskach MFC. Rysunki 6.11 oraz 6.12 wydają się potwierdzać dokładność działania opracowanego modelu symulacyjnego odpowiednio dla napięcia w układzie otwartym (OCV) oraz chemicznego zapotrzebowania na tlen (COD). Rysunki 6.13 - 6.15 przedstawiają pracę układu w stanach przejściowych (zmienne napięcie). Nie jest jednak dla mnie jasne jak uzyskano takie przebiegi w warunkach eksperymentalnych.



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

Rozdział 7 jest poświęcony wybranym strategiom ciągłej generacji energii przy pomocy MFC. Powstaje pytanie jak przedstawione modele w tym rozdziale (symulacyjne i eksperymentalne) mają się do obiektu badań w rozdziale 6. Autor przedstawił tu model symulacyjny i symulacje eksperymentu („simulation experiments” str. 72 l.1) – powstaje pytanie co Autor miał na myśli?

W rozdziale tym wartość prądu obciążenia zmieniała się od 0,25 do 3,5 mA. Przy czym dla prądu MFC 1,36 mA otrzymano maksymalną sprawność (efektywność energetyczną EE) na poziomie 17,4% (w testach zakładających stały prąd obciążenia). Dla testów przy stałym napięciu obciążenia Autor założył zmiany napięcia wyjściowego od 0.04 do 0.7V. Przy napięciu MFC 0.41 V uzyskano maksymalną efektywność energetyczną EE=17,5%.

Wreszcie przedstawiono wyniki przy założeniu stałej mocy wyjściowej. Moc zmieniano od 0,1 do 0,7 mW. Dla mocy obciążenia równej 0,1 mW zaobserwowano EE na poziomie 32,3%.

Następnie przedstawiono wyniki dla stałego obciążenia rezystancyjnego. Przebadano symulacyjnie zmiany rezystancji obciążenia w zakresie od ok. 25 Ohm do 1990 Ohm. Dla rezystancji obciążenia ok. 304 omy uzyskano EE=17,4%.

Należy przy tym zaznaczyć, że Autor założył w rozdziale obciążenie pasywne (obwód z rezystorem) i obciążenie aktywne (obwód z przekształtnikiem DC/AC lub DC/DC). Nie podano jednak żadnych schematów, topologii i parametrów znamionowych przekształtników.

Autor wspomina również o programowalnym obciążeniu (również nie mogłem znaleźć parametrów i jak zostało użyte). Nie jest również dla mnie jasne co Autor ma na myśli poprzez „bach mode”.

Rozdział 8 jest poświęcony maksymalizacji efektywności energetycznej i zapotrzebowania chemicznego na odprowadzanie tlenu w warunkach ciągłej generacji energii elektrycznej mikrobiologicznego ogniwa paliwowego. Wyniki zebrano w oparciu o opracowany materiał w rozdziałach 6 i 7.

W rozdziale 9 wg. Autora znajdują się wnioski lecz jest to bardziej podsumowanie zawartości poszczególnych rozdziałów.

3. Uwagi ogólne

Uwagi dyskusyjne o charakterze ogólnym:

- 1) Autor podjął zagadnienie w mojej ocenie ważne i nowatorskie oraz interdyscyplinarne.

Przedstawienie jednak tematu z mojego punktu widzenia pozostawia sporo do życzenia być może wynika to z faktu, iż większość literatury tematu publikowana jest w dyscyplinach związanych z chemią, biochemią lub ochroną środowiska. Warto by wyjaśnić jak się mają parametry stanowiska laboratoryjnego przedstawionego w rozdziale 5 do parametrów stanowisk laboratoryjnych w następnych rozdziałach pracy?

Autor powinien zebrać parametry stanowisk laboratoryjnych w tabeli, podać w następnej tabeli aparaturę wykorzystywaną do badań (np. multimetr cyfrowy w 5.3.3 -jaką miał dokładność pomiarową, typ, producent itp.), w każdym z rozdziałów i uzasadnić różnice np. w poziomie napięć i prądów w rozdziale 5 i w następnych rozdziałach.

Proszę zwrócić uwagę również na różnicę mocy wyjściowej w rozdziale 5 zmieniającą się od 0,4 do 1,4 mikro W. Tym bardziej, że rozdział 6 zatytułowany jest jako modelowanie MFC. Powstaje pytanie czy modelowanie odbyło się symulacyjnie za pomocą oprogramowania np. Matlab czy wykorzystano do modelowania zasilacze laboratoryjne (jakie, typ, model, producent).



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

Proszę w miarę możliwości udostępnić zdjęcia poszczególnych stanowisk laboratoryjnych z opisem co jest co.

2) Brakuje również dokładniejszej analizy i syntezy wyników badań.

Autor powinien odnieść się do badań eksperymentalnych z rozdziału 5 w następnych rozdziałach. Szczególnie, że tematem pracy są :*"Badania mikrobiologicznego ogniwa paliwowego oraz jego modelowanie obwodowe w celu poprawy jego wydajności jako źródła energii elektrycznej skojarzonej z oczyszczaniem ścieków"*.

Proszę powiązać uzyskane wyniki w poszczególnych rozdziałach i wyjaśnić dlaczego nie przebadano symulacyjnie przypadku z rozdziału 5? Jeżeli to możliwe proszę przedstawić wyniki badań symulacyjnych w opracowanym przez Autora modelu dla parametrów pracy z rozdziału 5 (zmiana prądu od 0,02 mA do 0,06 mA).

3) Proszę wyjaśnić jak działa model symulacyjny opracowany przez Autora i czym się wyróżnia. Proszę przedstawić schemat z Matlab Simulinka lub załączyć przykładowy listing modelu Matlab. Na platformie GitHub (Fred Model - Microbial Fuel Cell Model) jest dostępny model MFC. Czy Autor również udostępnia swój model na tejże platformie? Czy korzystał z tego modelu w opracowaniu swojego?

4) Na czym polegał test Voltage-relaxation method (VRM), jak dobrano jego parametry i czy można spróbować wykonać skokowych zmian napięcia dla warunków pracy osiągniętych w rozdziale 5?

5) W rozdziale 6 przedstawiono modele i stanowisko laboratoryjne o innych parametrach niż w rozdziale 5 – dlaczego?

6) Nie jest dla mnie jasne co oznacza „analytical measurement” (podrozdział 6.4.3) proszę o wyjaśnianie.

7) Dlaczego Autor zdecydował się na limit prądu przy testach VRM do 0.3 prądu maksymalnego? Co się stanie po przekroczeniu tej wartości np. do 0,5 I_{max} i do I_{max}? Proszę przedstawić w miarę możliwości wyniki symulacyjne.

8) Proszę wyjaśnić jak i na którym stanowisku eksperymentalnym zebrano wyniki pomiarowe z rys. 6.11 – 6.15. Autor przedstawia na nich wyniki symulacyjne i pomiarowe (w przypadku dwóch ostatnich rysunków wykonano dwa pomiary). Na czym polega różnica w pomiarach?

9) Autor jak pisze zaproponował kombinację modelu bioelektrochemicznego z elektrycznym. Proszę zrobienie zrzutu ekranu jak taki model zbudowano w Matlabie. Na czym polega praca modelu w czasie rzeczywistym – nie jest to dla mnie jasne na podstawie opisu zawartego w pracy. Jak wygląda Pana Model symulacyjny?

10) W rozdziale 7 na stronie 76 Autor wspomina o wymaganiach procesu oczyszczania ścieków i doboru na tej podstawie punktu pracy za pomocą odpowiedniego maksymalnego punktu energii (MEP). Nasuwa się pytanie dla jakich parametrów oczyszczania ściegów Autor przyjąć przedstawione wyniki. Jakie są rekomendacje Autora?



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

11) Dlaczego Autor powtarza rysunek 7.1 na rys. 8.1? Proszę przedstawić zdjęcie ze stanowiska laboratoryjnego z rozdziału 8, oraz z rozdziału 7 (rozumiem, że to jest to samo stanowisko) i rozdziału 5.

12) Jak wykonano pomiary napięcia, prądu z rysunku 8.3 i dlaczego wykonano trzy pomiary COD a nie więcej?

13) Co to oznacza, że test MFC z aktywnym obciążeniem wykonano średnio z rezystancjami:

The parameters for the MFC AEL test equivalent circuit of the proposed model were in average as follow $R_{iAEL} = 61.5380 \Omega$, $R_{dAEL} = 65.3840 \Omega$ and $C_{dAEL} = 18.8 F$. The model presents accurate

Wcześniej Autor pisze, że obciążenie aktywne było modelowane za pomocą przekształtników AC/DC i DC/DC? Proszę o wyjaśnienie.

14) W rozdziale 8.4.4 podano wskazówki do projektowania przekształtników współpracujących z MFC. Proszę o podanie przykładów rozwiązań, które wg. Autora spełniłyby wymagania przez niego postawione w tym rozdziale.

Czy znane są Autorowi takie rozwiązania stosowane w MFC z literatury?

Czy Autor próbował zbudować taki przekształtnik symulacyjnie lub eksperymentalnie?

15) Proszę jasno napisać co Autor uważa za osiągnięcia własne, proszę sformułować wnioski końcowe z pracy syntetyzujące uzyskane wyniki w rozdziałach 5-8.

Jak zdaniem Autora wygląda realna możliwość zastosowania MFC do współpracy z przekształtnikami DC/DC lub DC/AC.

Jakie następne kroki należałoby podjąć aby osiągnąć lepszą kontrolę nad pracą MFC?

Jakiego rodzaju trudności Autor napotkał wykonując te badania, jak je rozwiązał?

Czy opracowane modele przez Autora są/będą dostępne w domenie publicznej i można je będzie wykorzystać jako bazę do dalszych badań tematu szczególnie w zakresie dyscypliny AEEITK?

16) Proszę przygotować podział wkładu poszczególnych autorów w prace nad artykułami, z których materiał został użyty w pracy doktorskiej Autora. Należy uzyskać podpisy współautorów potwierdzające ich udział.

17) Proszę przedstawić listę wszystkich swoich publikacji.

18) Proszę napisać jak zbadano intensywność oczyszczania ścieków - czy faktycznie było to badane?

19) Czy przedstawione przez Autora testy (jak rozumiem rzeczywistego obiektu MFC) w rozdziale 4 dotyczą rzeczywistego obiektu zbudowanego i badanego przez Autora? (Parametry: maksymalna gęstość mocy na poziomie 16 mW/m^2 przy gęstości prądu ok 80 mA/m^2).

20) Dlaczego zależność napięcia celi w funkcji prądu jest różna na rys. 4.6 i 4.7?

21) Na rysunku 5.2 przedstawiono zależność prądu wyjściowego MFC od rezystancji zewnętrznej - prosba o wyjaśnienie zależności prądu od rezystancji przedstawionej na tym rysunku. Rezystancja zewnętrzna rośnie i prąd rośnie? Czy to jest prąd wyjściowy czy jakiś inny prąd?



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

22) Proszę o wyjaśnienie sformułowania: symulacje eksperymentu? („simulation experiments” str. 72 l.1) – powstaje pytanie co Autor miał na myśli? Jak wykonano te badania? Czy to były badania symulacyjne? Czy eksperymentalne? Czy np. hardware in the loop?

23) W rozdziale 7 wykorzystano obciążenie pasywne (obwód z rezystorem) i obciążenie aktywne (obwód z przekształtnikiem DC/AC lub DC/DC). Nie podano jednak żadnych schematów, topologii i parametrów znamionowych przekształtników. Autor wspomina również o programowalnym obciążeniu (również nie mogłem znaleźć parametrów i jak zostało użyte). Nie jest również dla mnie jasne co Autor ma na myśli poprzez „batch modes”. Proszę o wyjaśnienie i dodatkowe informacje.

4. Uwagi szczegółowe

Redakcja rozprawy doktorskiej jest ogólnie staranna jednak w kilku miejscach należałoby zastanowić się nad poprawą składni czy pojęć w języku angielskim. Autor starał się zawrzeć wyjaśnienia większości pojęć niemniej jednak nie we wszystkich przypadkach mu się to udało.

5. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-symulacyjno-doświadczalny. Autor przedstawił modele matematyczne, badania symulacyjne i badania eksperymentalne co stanowi dowód dobrego zgrębieńia tematu.

W mojej ocenie stanowi oryginalne dzieło i wnosi istotną i nową wiedzę w dziedzinie poświęconej mikrobiologicznym ogniwoom paliwowym (zadowalająco spełniające wymagania). Tym bardziej, że według mojej wiedzy jest to jedna z niewielu prac próbujących przedstawić zjawiska w taki sposób aby umożliwić ich zastosowanie w elektrotechnice. Wczesna praca, tematyka dopiero się rodząca i w ogóle nie rozpoznana pod względem użyci MFC w energoelektronice (według mojej wiedzy).

Za osiągnięcia własne Autora rozprawy uznaję:

1. Przeprowadzenie oryginalnych badań MFC w kilku trybach pracy.
2. Sparаметryzowanie ogniwo MFC i przedstawienie podstawowych wniosków z charakterystyki ich działania.
3. Opracowanie modelu symulacyjnego i wykonanie badań weryfikujących jego dokładności za pomocą badań eksperymentalnych.

W pracy nie zdefiniowano tezy ale postawiono hipotezę:

„Dokładne modelowanie konwersji energii w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym pozwala na identyfikację wzajemnego wpływu parametrów nieelektrycznych i elektrycznych oraz prognozowanie maksymalnej wydajności w kontekście operacyjnym.”

W mojej ocenie jest ona trafna i autor zweryfikował w swojej rozprawie doktorskiej postawioną hipotezę.

6. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Szymon Potrykus pt. „*Badania mikrobiologicznego ogniwa paliwowego oraz jego modelowanie obwodowe w celu poprawy jego wydajności jako źródła energii elektrycznej skojarzonej z oczyszczaniem ścieków*” niezależnie od powyższych uwag krytycznych stanowi dowód dojrzałości, samodzielności i znajomości zagadnienia przez doktoranta.

Uważam, że opiniowania rozprawa wnosi istotny i znaczący wkład do zagadnień związanych z modelowaniem, symulacją oraz weryfikacją eksperymentalną ogniwo mikrobiologicznych.



Politechnika Warszawska

Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

Przedstawione wyniki mogą wpłynąć na rozwój teorii i praktyki związanej z MFC w sposób istotny. Autor jednoznacznie udowodnił, że opanował teorię i praktykę dotyczącą problemu.

Potrafi w sposób analityczny i praktyczny zweryfikować działanie opracowanych metod modelowania używając do tego odpowiednie narzędzia.

Podsumowując powyższe podkreślam, że recenzowana przeze mnie praca spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych w zakresie dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Marek Jasiński