

Prof. dr hab. inż. Marek Gorgoń
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
MGR INŻ. DANIELA KRÓLA
ZATYTUŁOWANEJ
„OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW SYSTEMU PRZETWARZANIA
SYGNAŁÓW POMIAROWYCH, DLA NAJLEPSZEJ IDENTYFIKACJI
CHARAKTERYSTYK CZASOWYCH I CZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH
OBIEKTÓW ELEKTROAKUSTYCZNYCH”

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska zatytułowana „Optymalizacja parametrów systemu przetwarzania sygnałów pomiarowych, dla najlepszej identyfikacji charakterystyk czasowych i częstotliwościowych obiektów elektroakustycznych”, napisana w roku 2015, której autorem jest mgr inż. Daniel Król.

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Witold Byrski z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Niniejsza ocena została przygotowana na zlecenie dr hab. inż. Antoniego Cieśli, Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH, zawarte w piśmie z dnia 02.07.2015 roku, w związku z decyzją Rady Wydziału z dnia 25.06.2015 r.

Omówienie treści rozprawy

Rozprawa doktorska mgra inż. Daniela Króla napisana jest w języku polskim i liczy 133 strony. Tekst rozprawy podzielono na 6 rozdziałów (w tym Wstęp) poprzedzonych spisem treści oraz wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów. Dopełnienie stanowią zamieszczone na końcu bibliografia i Dodatek A.

Tematyka pracy dotyczy problemu metodyki wyznaczania, sposobu pomiaru, weryfikacji i porównania charakterystyk czasowych i częstotliwościowych urządzeń elektroakustycznych. Celem pracy założonym przez Autora, było zaproponowanie nowej metody pomiarowej, polegającej na połączeniu metod MLS (ang. *Maximum Length Sequence*) oraz wielokanałowego kształtowania wiązki (ang. *Beamforming*).

We wstępie Autor zwraca uwagę na niedoskonałości istniejących metod pomiaru charakterystyk urządzeń elektroakustycznych. Wyznaczenie tych charakterystyk w pełnym zakresie pasma akustycznego jest możliwe w komorze bezechowej. Pomiar taki uznawany jest za pomiar referencyjny. W praktyce dostęp do komory bezechowej jest bardzo ograniczony, gdyż ze względu na wysokie koszty stworzenia i utrzymania, takich laboratoriów jest zaledwie kilka w skali kraju. Alternatywą są quasi-bezechowe metody pomiarowe opisane w literaturze. Jednakże, jak pokazuje Autor, nie dają one wyników porównywalnych z metodą bezechową w zakresie niskich częstotliwości pasma akustycznego

lub są trudne do przeprowadzenia – wymagają skomplikowanych zabiegów pomiarowych, pomieszczeń o dużych powierzchniach oraz wykonania znacznej liczby pomiarów i złożonych operacji obliczeniowych. Autor stwierdza, że jest możliwe przezwycięzenie tych trudności i proponuje własną metodę quasi-bezechową stawiając następującą tezę pracy: „Zaawansowane przetwarzanie sygnałów w oparciu o połączenie technik MLS (*Maximum Length Sequence*), SAR (*Successive Approximation Register*) oraz wielokanałowego kształtowania wiązki, umożliwia poprawę dokładności uzyskiwanych charakterystyk obiektu elektroakustycznego. Pomiar z wykorzystaniem wielokanałowej macierzy mikrofonowej może z powodzeniem zostać zastąpiony serią pomiarów pojedynczym mikrofonem ze zmienną pozycją w przestrzeni”.

W rozdziale 2 omówiono współczesne stosowane metody wyznaczania charakterystyk urządzeń elektroakustycznych. Zwrócono uwagę na istniejące w tym zakresie unormowania prawne. Scharakteryzowano podstawowe pojęcia takie jak m.in.: pole bliskie, pole dalekie, pole swobodne, pole rozproszone, sygnały pomiarowe, charakterystyka amplitudowa i fazowa oraz wiele innych. Definicje poparto przytoczeniem formuł matematycznych i wyprowadzeń. Rozdział zilustrowano wykresami i rysunkami. W rozdziale omówiono metodę pomiaru i wyznaczania charakterystyk przy pomocy szumów tercjowych z uśrednianiem wyników, metody impulsowe ze szczególnym uwzględnieniem metody MLS (*Maximum Length Sequence*).

Rozdział 3 poświęcony został metodzie kształtowania wiązki akustycznej z wykorzystaniem macierzy mikrofonowej. Rozdział stanowi wprowadzenie teoretyczne, opracowane na podstawie źródeł literaturowych. W kolejnych podrozdziałach omówiono zasadę działania liniowych macierzy mikrofonowych, ich charakterystyki kierunkowe, oraz zjawisko aliasingu przestrzennego. W drugiej części rozdziału pokazano z kolei sposób cyfrowego sterowania wiązką (ang. *Beamsteering*) uzyskiwany z wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania sygnałów. Zwrócono uwagę na korzyści wynikające z zastosowania adaptacyjnego sterowania wiązką, polegające na lepszym tłumieniu zakłóceń docierających do macierzy mikrofonowej z kierunków innych niż źródło dźwięku.

Rozdział 4 zawiera opis opracowanego i wykonanego przez Autora urządzenia do pomiaru i przetwarzania sygnałów dla metody MLS. Urządzenie zostało wykonane w formie specjalizowanej zewnętrznej przystawki do komputera i uzupełnione pakietem programowym, umożliwiającym wizualizację dokonanych pomiarów i obliczeń w formie graficznej. Widok urządzenia i oprogramowania został przedstawiony w Dodatku A. Skonstruowane urządzenie zawiera tor pomiarowy zmodyfikowany w stosunku do rozwiązań typowych. Autorskie modyfikacje polegają na zastosowaniu przetwornika analogowo-cyfrowego typu SAR w miejsce standardowo używanego przetwornika sigma-delta w torze wejściowym oraz rezygnacji z przetwornika cyfrowo-analogowego na rzecz wzmacniacza operacyjnego w torze wyjściowym. Parametry skonstruowanego urządzenia zostały porównane z wynikami pomiarów wykonanymi przy pomocy profesjonalnego zestawu pomiarowym *Clio FW-01*. W pierwszej kolejności dokonano porównania charakterystyk czasowych i częstotliwościowych torów pomiarowych, a następnie, przy pomocy obu urządzeń dokonano pomiaru charakterystyk wzmacniacza elektroakustycznego i źródeł niskich częstotliwości dla zestawu głośnikowego w polu bliskim. Wyniki analiz wskazują na liczne walory skonstruowanego urządzenia (lepsza niż dla przetwornika sigma-delta liniowość amplitudy i fazy) i jego pełną przydatność do pomiarów urządzeń elektroakustycznych. Uzyskane wyniki pomiarów charakterystyk dla wzmacniacza mocy, a zwłaszcza głośnika niskotonowego i tzw. tunelu „*bass-reflex*” w zakresie niskich częstotliwości wykonane metodą MLS w polu bliskim, w odległości 1 cm od źródła dźwięku, były znacząco lepsze niż przy użyciu urządzenia *Clio*. Dodatkową zaletą skonstruowanego urządzenia jest krótszy czas niezbędny do wyznaczenia charakterystyk na podstawie przeprowadzonych pomiarów.

W rozdziale 5 porównane zostały znane metody pomiaru charakterystyk i zaproponowane zostało wykorzystanie adaptacyjnego kształtowania wiązki akustycznej w celu uzyskania wyników bardzo zbliżonych do uzyskiwanych w komorze bezechowej. Autor zwraca uwagę na trudności w wyznaczeniu charakterystyk częstotliwościowych w zakresie niskich częstotliwości, wskazując, że to zadanie jest możliwe do wykonania w komorze bezechowej, natomiast istniejące metody quasi-bezechowe dają wyniki obciążone znacznymi błędami. Generalnie przeszkodą do wyznaczenia charakterystyk jest wpływ odbicia fali akustycznej, które nakładając się na sygnał dobiegający bezpośrednio ze źródła dźwięku wpływa na zafałszowanie wyników.

W kolejnych podrozdziałach, w sposób wyjątkowo systematyczny, wyjaśniono zjawiska, które sprawiały, że charakterystyki uzyskiwane przy pomocy dotychczas znanych metod quasi-bezechowych nie mogły dorównać jakości tych, które wyznaczone są w komorze bezechowej. Wnioski wypływające z tych przemyśleń, doprowadziły Autora do zaproponowania kolejnych udoskonaleń i ostatecznie zaproponowania własnej, kompletnej i oryginalnej metody quasi-bezechowej, która umożliwia pomiar poza komorą bezechową – w pomieszczeniu testowym – a uzyskane wyniki są bardzo zbliżone do wyników referencyjnych. Nowatorskim rozwiązaniem, które pozwoliło uzyskać tak dobre wyniki, jest połączenie metody MLS z adaptacyjnym kształtowaniem wiązki akustycznej. Wyznaczenie charakterystyki w całym paśmie akustycznym wymagało zastosowania metody hybrydowej, polegającej na łączeniu charakterystyk wyznaczonych w polu bliskim i przy pomocy kształtowania wiązki akustycznej. Innowacją zaproponowana w pracy było wykonanie łączenia w sposób automatyczny. Dodatkowo, w pracy zaproponowane zostało zastąpienie macierzy mikrofonowej, niezbędnej do kształtowania wiązki, przez kolejne urządzenie skonstruowane przez Autora – precyzyjną prowadnicę liniową sterowaną cyfrowo, na której umieszczono pojedynczy mikrofon. Dzięki temu znacznie uproszczono sposób dokonywania pomiarów.

Rozdział zakończono prezentacją i omówieniem wyników pomiarów charakterystyk amplitudowych, fazowych oraz wygaszania sygnału wyznaczonych różnymi metodami dla badanego zespołu głośnikowego: standardową metodą quasi-bezechową (ręczne złożenie charakterystyk uzyskanych w polu bliskim i dalekim bez adaptacyjnego kształtowania wiązki), hybrydową (zaproponowaną w pracy), szumem tercjowym (zalecanym do wyznaczania charakterystyk w Polskich Normach) oraz w komorze bezechowej. Zaproponowana metoda hybrydowa dała wyniki najbardziej zbliżone do uzyskanych w komorze bezechowej, co zilustrowane zostało na wykresach oraz potwierdzone wyliczeniem wartości pierwiastka błędu średniokwadratowego różnic pomiędzy charakterystykami dla całego badanego zakresu częstotliwości (10Hz – 48kHz), a następnie dla wydzielonego z niego zakresu pasma akustycznego (20Hz – 20kHz).

W rozdziale 6 zawarto wnioski końcowe oraz wskazano dalsze prace badawcze, po czym zamieszczono spis bibliografii obejmujący 98 pozycji.

Aktualność tematyki rozprawy i ocena stanu wiedzy

Zagadnienia wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych i czasowych dla urządzeń elektroakustycznych są przedmiotem badań od wielu lat.. Potwierdzają to cytowane w pracy źródła literaturowe z lat siedemdziesiątych poprzedniego wieku. Nie mniej jednak, w cytowanej literaturze nie brak pozycji bardzo aktualnych, wydanych w latach 2012-14, bezpośrednio nawiązujących do tematyki omawianej w rozprawie. Wskazuje to na dobrą orientację Autora w stanie współczesnych badań i ciągle dużą aktualność poruszanych zagadnień. Mimo wielkiej popularności zagadnień związanych z konstruowaniem i testowaniem urządzeń elektroakustycznych, bardzo dużego rynku zbytu na sprzęt i aparaturę

w tej dziedzinie, metody zaprezentowane w pracy są nowatorskie i mają duży potencjał zastosowania w praktyce.

Mocne strony rozprawy, realizacja tezy, wkład w rozwój nauki i techniki

W rozprawie zaprezentowano kilka bardzo wartościowych koncepcji i wykonano znaczną ilość eksperymentów potwierdzających ich słuszność. Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny. Najbardziej wartościowym elementem pracy jest zaproponowana hybrydowa metoda wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych. Metoda umożliwia wyznaczenie charakterystyk w zwykłym pomieszczeniu o powierzchni 20m^2 , bez żadnego specjalistycznego przygotowania, z dokładnością zbliżoną do uzyskiwanych w komorze bezechowej. Warto podkreślić, że metoda ta okazuje się bardziej dokładna niż metody uważane za standardowe i opisane w literaturze a także w Polskich Normach. Metoda ponadto nie wymaga znacznych nakładów finansowych i może znaleźć wielorakie zastosowania praktyczne. Oznacza to, że wysoka jakość wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych głośników w zakresach niskich częstotliwości akustycznych, dotychczas zarezerwowana dla pomiarów w komorze bezechowej, będzie możliwa do uzyskania w zwykłych pomieszczeniach.

Warte podkreślenia jest skonstruowanie i uruchomienie dwóch profesjonalnych urządzeń: interfejsu pomiarowego z przetwornikiem SAR wraz z oprogramowaniem oraz precyzyjnej prowadnicy liniowej sterowanej cyfrowo. Oba urządzenia okazały się bardzo pomocne w wykazaniu tezy pracy.

Skonstruowany tor wejściowy interfejsu pomiarowego, dzięki zaproponowanej modyfikacji w stosunku do stosowanych obecnie rozwiązań, polegającej na wykorzystaniu przetwornika SAR w miejsce przetwornika sigma-delta, osiąga wyraźnie lepsze parametry w trakcie pomiarów metodą MLS. Autor dostrzegł bowiem i uzasadnił w rozprawie, że najbardziej istotne dla poprawienia wyników pomiarów odpowiedzi impulsowej nie jest zwiększanie rozdzielczości przetwornika – stosowane przetworniki sigma-delta mają rozdzielczość 24-bitową a użyty przetwornik SAR 16-bitową – lecz sama zasada działania przetwornika. Zwrócił uwagę, że przetwornik SAR, stosowany w cyfrowych urządzeniach w przemysłowych systemach akwizycji danych, lepiej radzi sobie z przebiegami prostokątnymi, których używa zastosowana i zmodyfikowana przez niego metoda MLS.

Wobec powyższych osiągnięć realizacja tezy rozprawy nie pozostawia najmniejszej wątpliwości.

Nie budzi też najmniejszej wątpliwości, że praca ma istotny wkład w rozwój metod pomiaru i wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych urządzeń elektroakustycznych. Praca ma charakter interdyscyplinarny: warstwa teoretyczna – wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych na podstawie odpowiedzi impulsowej – osadzona jest w Automatyce i Robotyce, warstwa praktyczna – konstrukcja urządzeń i oprogramowania w Elektronice i Informatyce.

Uwagi krytyczne

Mimo iż praca ma wystarczającą podbudowę teoretyczną, dowód tezy w dużej mierze opiera się na analizie wyników eksperymentalnych. Szkoda, że Autor nie przebadął większej liczby głośników lub zestawów głośnikowych. Zestawienia wyników takich pomiarów wzmocniłyby wartość osiągniętych rezultatów, a być może pomogłyby również w przygotowaniu dalszych eksperymentów, których ambitny plan został nakreślony w rozdziale 6.

Uwagi edytorskie i językowe

Praca przygotowana jest wyjątkowo starannie. Wywód jest spójny, argumentacja niemal pozbawiona luk i niedociągnięć. Stosowane środki i formy charakterystyczne dla pracy naukowej w dziedzinie nauk technicznych zawierają: zapis matematyczny, schematy, wykresy w skalach liniowej i logarytmicznej (czytelne wizualnie dzięki użyciu siatek), rysunki 2D i 3D, schematy elektroniczne blokowe i ideowe. Niemal wszystkie elementy perfekcyjnie dopracowane graficznie.

Pewnym niedociągnięciem w kilku miejscach pracy jest rozmieszczenie rysunków na stronach poprzedzających odwołania do nich następujące w tekście. Pewien kłopot sprawia analiza niektórych wykresów, na których poszczególne linie charakterystyk nakładają się na siebie (np. wykres 2.9 – zbyt wiele charakterystyk nałożonych na siebie). Drobne usterki na wykresach 4.10 – umieszczenie w złym miejscu współczynnika skalującego „ $\times 10^4$ ”, w opisie rysunku 4.56 wskazanie wykresu (a) powinno poprzedzać fragment tekstu, który się do niego odnosi: „Odpowiedzi impulsowe: a) głośnika niskotonowego, oraz b)...”

Po usunięciu drobnych usterek praca kwalifikuje się do wydania w formie monografii naukowej. Synteza formy i treści rozprawy wskazuje, że Autor jest dobrze przygotowany do kontynuowania pracy naukowej.

Autor zadbał, aby praca została poddana bardzo starannej korekcie językowej. Można znaleźć bardzo nieliczne usterki językowe – głównie interpunkcyjne (np. brak przecinka w zdaniach wtrąconych np. str. 7 ostatnie zdanie, str. 10 pierwsze zdanie ostatniego akapitu) i literówki.

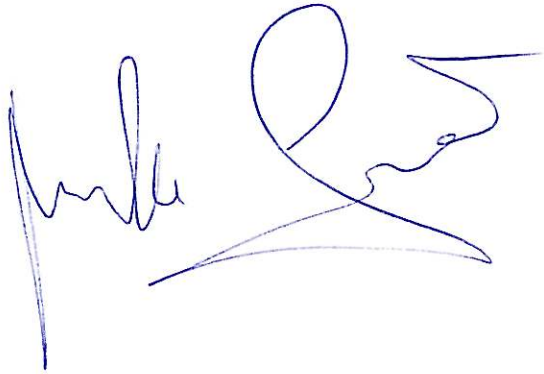
Poniżej kilka zauważonych przez recenzenta błędów językowych:

1. Str. 17. i wielokrotnie dalej – użycie poprawnych, lecz nieeleganckich w tekście pisanych fraz „ fakt, że”, „z faktu ... wynika, że...”
2. Str. 46. i wielokrotnie dalej jest: „24 bitowych” powinno być: „24-bitowych”
3. Str. 46. jest: „Jednym z celi...” powinno być: „Jednym z celów...”
4. Str. 47. jest: „...na wyposażeniu laboratorium Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie – gdzie autor jest zatrudniony...” propozycja korekty „...na wyposażeniu laboratorium Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie, w której autor jest zatrudniony...”
5. Str. 50. jest: „...16 bitowym przetwornikiem równoległymi (SAR)” powinno być 16-bitowym przetwornikiem równoległym (SAR)”
6. Str. 81. jest: „Znaczące różnice, będące wynikiem z błędów” powinno być: „Znaczące różnice, będące wynikiem błędów”.
7. Str. 82. jest: „...rezonans tunelu widoczny na rysunku 4.57 w okolicach częstotliwości 45 Hz”, powinno być: „rezonans tunelu widoczny na rysunku 4.58 w okolicach częstotliwości 45 Hz”
8. Str. 93. jest: „Mikrofonu pomiarowy...” powinno być: „Mikrofon pomiarowy...”

Podsumowanie i konkluzja:

Zdaniem recenzenta, pomimo przedstawionych w ocenie nielicznych uwag krytycznych, które nie mają decydującego znaczenia dla jednoznacznie pozytywnej oceny pracy, należy uznać, że **rozprawa spełnia z wyraźnym nadmiarem stosowne kryteria określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym** stawianym pracom na stopień doktora nauk technicznych. Recenzent wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Daniela Króla do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony pracy.

Kraków, 23 listopada 2015.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several fluid, connected strokes. The signature is positioned to the right of the date.