

Recenzja rozprawy doktorskiej dla
Rady Dyscypliny Elektroniki, Elektrotechnika i Automatyka Politechniki Rzeszowskiej

Tytuł rozprawy: Sterowanie wzmacniacza mocy klasy D z wykorzystaniem ujemnego sprzężenia
zwrotnego z wyjściowego filtra LC

Autor rozprawy: mgr inż. Mirosław Sobaszek

1. Jakie zagadnienia naukowe są rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostały one jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny inny)?

Celem rozprawy był analiza i konstrukcja wzmacniacza klasy D, w którym pętla sprzężenia zwrotnego została zamknięta za wyjściowym filtrem LC. Wzmacniacze impulsowe klasy D stały się standardem współczesnych rozwiązań elektroakustycznych. Ich zaletą jest duża sprawność, wadą natomiast nieliniowe zniekształcenia sygnału, w tym zniekształcenia intermodulacyjne, które utrudniają zaliczenie takich rozwiązań do sprzętu najwyższej klasy (rozumianego w sensie wierności odtwarzania dźwięku). Autor rozprawy postawił sobie jako cel: skonstruowanie takiego urządzenia z ujemną pętlą sprzężenia zwrotnego zamkniętą za wyjściowym filtrem LC. Użyty termin przez mgr. inż. Mirosława Sobaszka termin „skonstruowanie” nie oddaje w pełni prowadzonych prac. Rzeczywisty wymiar tych prac jest zdecydowanie szerszy, obejmuje bowiem projekt, analizę zachowań poszczególnych bloków, zaprojektowanie układów elektronicznych i ich uruchomienie. Jest to bardzo szeroki zakres prac, które budzą moje uznanie. Warto wskazać, że układy elektroniczne, szczególnie związane z praktycznym ujęciem konstrukcji są nadzwyczaj rzadko podejmowane w ramach projektów doktorskich. Wynika to często z dość nieszczęśliwej wyceny prac typowo konstrukcyjnych w wielu czasopismach naukowych, gdzie tego typu działalność widziana jest jako działanie typowo inżynierskie (przedstawiane w kontraście do działań uznawanych za tzw. naukowe) Prezentowana praca jest zatem wyjątkiem w tej materii, podejmuje w mojej ocenie istotną problematykę, która jest ważna nie tylko dla elektroakustyki, ale również dla nowoczesnych energooszczędnych układów np. energoelektroniki.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

W rozprawie przeprowadzono właściwą analizę źródeł. Cytowano 80 prace, co może wydawać się niewielką liczbą, ale warto zwrócić uwagę, że podjęta przez mgr. inż. Mirosława Sobaszka tematyka nie należy do dziedzin szeroko cytowanych i publikowanych. Zdecydowana większość prac do których doktorant się odnosi to prace zagraniczne. Prace krajowe to jedynie artykuły własne jego promotora prof. dr. hab. inż. Leszka Trybusa. Według mojej wiedzy zagadnienia analizy i konstrukcji elektroakustycznych wzmacniaczy klasy D, są w Polsce podejmowane w nielicznych ośrodkach (np. w laboratoriach dr. hab. inż. Krzysztofa Sozańskiego z Uniwersytetu w Zielonej Górze), a praca p. mgr. inż. Mirosława Sobaszka podejmuje ten temat nadzwyczaj dogłębnie.

Oceniam zatem, że cytowane źródła są reprezentatywne dla dziedziny. Autor rozprawy cytował je w odpowiedniej proporcji w odpowiednich miejscach, wnioski wyciągane na ich podstawie są prawidłowe i przekonujące.

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

Oceniam, że do rozwiązania postawionego problemu doktorant użył prawidłowych metod i technik badawczych. Autor wykazał biegłość w zakresie teorii sterowania, syntezy i analizy układów automatyki. Biegłe poruszał się w zakresie analityki układów i ich symulacji. Praca wymagała również biegłości w zakresie szeroko rozumianego przetwarzania sygnałów. Doktorant wykazał w tym zakresie biegłość, co widoczne jest w wielu prezentowanych charakterystykach częstotliwościowych, szumowych i charakterystykach przenoszenia. Moim zdaniem jednak lakoniczność pracy nie pokazuje jednak techniki przeprowadzanych pomiarów, co z punktu widzenia traktowania tej pracy jako materiału źródłowego dla dalszych prac byłoby w mojej ocenie bardzo cenne.

W przedstawionych materiałach widać również wiedzę i doświadczenie mgr. inż. Mirosława Sobaszka w zakresie konstrukcji układów elektronicznych. Zamieszczone schematy jednoznacznie pokazują, że dba on o staranność budowanych konstrukcji. Nie stwierdziłem zasadniczych błędów układowych. Jedyną moją sugestią byłoby szersze stosowanie blokowania szyn zasilania (innymi słowy łączenie razem z kondensatorami elektrolitycznymi kondensatorów ceramicznych). Zaprezentowany układ jest nadzwyczaj rozbudowany, integruje w mojej ocenie najnowsze monolityczne układy scalone, których rozbudowane funkcje wymagają jednak zaprojektowania i użycia złożonych obwodów pomocniczych definiujących np. wstępne polaryzacje linii sterujących itp. Uruchomienia modelu takiego układu wymaga w mojej ocenie nadzwyczajnej staranności w studiowaniu materiałów pomocniczych, jak i staranności w samym uruchamianiu tego typu układu modelowego. Ocena tak złożonej konstrukcji modelu wzmacniacza budzi moje uznanie.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Koncepcja zamknięcia pętli zwrotnej na wyjściu filtra LC nie była podejmowana przez innych konstruktorów układów impulsowych. W pętli sprzężenie zwrotne pracuje klasyczny filtr PID. Zwracam jednak uwagę, że dobór nastaw takiego układu oraz jego wykonanie w formie układu nieciągłego nie jest zadaniem trywialnym. Trudności są związane z ustaleniem niezbędnej rozdzielczości przetworników analogowo-cyfrowych, częstotliwości próbkowania i doboru nastaw. Nastawy regulatora PID dobierano metodą eliminacji zer i biegunów w układzie otwartym dla założonego zapasu fazy. Metoda ta, podobnie jak sam algorytm PID, jest metodą klasyczną (znana z teorii obwodów) wymaga jednak nadzwyczajnej staranności w przygotowaniu i przeprowadzeniu odpowiednich obliczeń i symulacji.

Oryginalnym pomysłem jest obliczanie nastaw dla konkretnego głośnika dołączanego do wzmacniacza. Skonstruowany wzmacniacz pozwala na elastyczną optymalizację parametrów sterowania, która przeprowadzana jest na podstawie szybkiego pomiaru charakterystyki obciążenia. Zwracam uwagę w tym miejscu, że procedura ta wygląda prosto, ale jej implementacja sprzętowo-programowa jest nadzwyczaj złożona wymaga dużej biegłości w zakresie i programowania i przetwarzania sygnałów.

Wyniki pracy zostały opublikowane w pracy:

Mirosław Sobaszek, Self-Tuned Class-D Audio Amplifier With Post-Filter Digital Feedback Implemented on Digital Signal Controller, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, VOL. 67, NO. 3, 797, 2020.

Jest to obszerna publikacja, w której zawarto w zasadzie cały materiał rozprawy. Praca jest opublikowana w prawdziwie renomowanym czasopiśmie stowarzyszenia IEEE. Jest ona napisana przejrzysto, uznaję, że fakt publikacji wyników prawie wszystkich rozważań w tak rozpoznawalnym czasopiśmie pokazuje wartość doktoratu p. mgr. inż. Mirosława Sobaszka. W mojej ocenie jest to bardzo rzadki przypadek, kiedy doktorant nie dzieli materiału z rozprawy na liczne, ale pojedyncze prace z wybranymi selektywnie danymi.

W rozprawie wykazano również kilka prac publikowanych w krajowych czasopismach. Rozumiem, że dokumentują one liczne działania i aktywności doktoranta. Dodatkowo mogą służyć jako materiał źródłowy dla środowisk techników inżynierów. Z punktu widzenia polityki naukowej Państwa, prace te mają mały jednak wpływ na notowania i ewaluację jednostek, a oceniając te publikacje uważam, że miałyby one swoje miejsca w czasopismach ministerialnych zdecydowanie lepiej punktowanych.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników/zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Praca p. mgr inż. Mirosława Sobaszka jest napisana poprawnie. Przedstawiony materiał daje obraz działań prowadzonych przez doktoranta.

Oceniam, że te drobne uchybienia warto poprawić, aby w wersji ostatecznej i publicznie dostępnej one już się nie pojawiały. Warto wskazać jednak uwagi, które mają charakter dyskusyjny:

-w kilku miejscach popełniono błędy np. w pisowni tytułów i stopni (powinny być one pisane małą literą), parametry liczbowe powinno pisać się z przecinkami a nie kropkami.

-razi błąd gramatyczny w tytule rozprawy, napisano „...z wyjściowego filtru LC...” powinno być: „...z wyjściowego filtra LC...”.

W mojej ocenie warto te usterki poprawić, tak aby w wersji archiwalnej (bibliotecznej) one się już nie pojawiły i nie szkodziło pozytywnemu odbiorowi tej wartościowej rozprawy.

Z merytorycznego punktu widzenia

-dla przejrzystości lektury warto byłoby moim zdaniem przedstawić opis podstawowych pojęć związanych z tematyką wzmacniaczy elektroakustycznych. W mojej ocenie opis tych parametrów, ich interpretacja, szczególnie z punktu widzenia przetwarzania analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego, jest rzadko prezentowana zarówno w literaturze polskiej jak i zagranicznej. Dotyczy to również zagadnienia pomiarów tych parametrów i dlatego rozwinięcie tej tematyki w rozprawie byłoby potrzebne i atrakcyjne. W mojej ocenie rozprawa doktorska pełni również rolę podręcznika, do którego powinni sięgać inni badacze. Taki skrócony przewodnik byłby dla nich pomocny, aby dobrze zrozumieć przekaz rozprawy i następnie przenosić zawarte w niej informacje.

-do uwagi powyższej nawiązuje również stosunkowo niezręczne i stosunkowo rzadko stosowane pojęcie zniekształceń liniowych, które ujawniają się *de facto* w zakresach częstotliwości gdzie obserwowany jest spadek przenoszenia amplitudowej charakterystyki częstotliwościowej przenoszenia wzmacniacza.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Moje uwagi, które, jak podkreślam, nie umniejszają wartości prezentowanej rozprawy.

Słabością analiz przedstawionych w mojej ocenie jest pominięcie dyskusji jak zaprojektowany układ można byłoby zaprojektować w technologii układów specjalizowanych (ang. application specific integrated circuit-ASIC). Uważam, że tego typu konstrukcja zapewniłaby zwiększenie niezawodności przetwarzania, istotnie zredukowałaby koszty montażu i mogłaby albo powinna otworzyć drogę do produkcji masowej. Będę prosić mgr. inż. Mirosława Sobaszka o odpowiedź na stawiane ten sposób pytanie w czasie publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Będę również prosić doktoranta o przedstawienie techniki pomiaru poszczególnych charakterystyk przenoszenia skonstruowanego wzmacniacza i obwodów sterowania. Oceniam, że były one rejestrowane w rozbudowanych systemach pomiarowych, których kompozycja wraz z opracowaniem oprogramowania sterującego i akwizycji danych nie jest sprawą trywialną. W mojej ocenie powinno to być również wyświetlone szczegółowo w tekście rozprawy doktorskiej.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiona rozprawa jest ważna dla postępu w dziedzinie układów wzmacniaczy elektroakustycznych. Tematyka ta wydaje się zamknięta przez konstrukcje opracowane przez kilka firm produkujących sprzęt elektroakustyczny, co pozostawia jednak nieco miejsca dla konstrukcji typowo specjalistycznych. Uważam również, co wydaje mi się najważniejsze, że zdobyte doświadczenie będzie cenne z punktu widzenia konstrukcji układów impulsowych mocy. Układy te będą znajdować coraz większe zastosowanie we współczesnej elektronice z racji zwiększonej sprawności energetycznej. W dobie oszczędności energetycznych tego typu konstrukcje będą uzyskiwały coraz większe znaczenie. Stąd prace prowadzone i opisane w rozprawie formują moim zdaniem sylwetką naukowca i inżyniera mgr. inż. Mirosława Sobaszka.

Podkreślam autentycznie praktyczny, w tym najlepszym znaczeniu tego pojęcia, wymiar prowadzonych prac. W mojej ocenie przedstawiona rozprawa odróżnia się dzięki temu od prac realizowanych w dziedzinie układów elektronicznych, gdzie analizy prowadzone są często przesadnie teoretycznie, co w znacznym stopniu wyklucza jakiegokolwiek przełożenie konstrukcyjne. Praca jest doskonałym udokumentowaniem ciężkiej i starannej pracy doktoranta. Może służyć jako bardzo pożyteczny materiał do dalszych eksperymentów prowadzonych w zakresie konstrukcji wysokosprawnych układów impulsowych mocy. Uważam, że z tego powodu może ona stanowić podstawę do realizacji projektów rozwojowych, jej wpływ na postęp w dziedzinie nauk podstawowych wydają się jednak ograniczony.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Pracę p. mgr inż. Mirosława Sobaszka *Sterowanie wzmacniacza mocy klasy D z wykorzystaniem ujemnego sprzężenia zwrotnego z wyjściowego filtra LC* zaliczam do prac spełniających wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy. Ogromną wartość upatruję w formowaniu sylwetki naukowej i inżynierskiej mgr. inż. Mirosława Sobaszka. Po przeprowadzeniu tak szerokiego programu prac doktorant jest dojrzałym pracownikiem naukowo-badawczym zdolnym do podejmowania ambitnych działań w zakresie konstrukcji układów elektronicznych, oprogramowania wbudowanego, przetwarzania sygnałów i teorii sterowania. Ten rozwój sylwetki uczonego i inżyniera zasługuje na wskazanie i dlatego wnioskuję o wyróżnienie przedstawianej rozprawy.

Uwzględniając przedstawione powyżej uwagi stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Wrocław, 3 lutego 2022 roku

