

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz RUSIŃSKI

Wrocław, 20.02.2012 r.

Politechnika Wrocławska

Prorektor ds. Badań Naukowych i Współpracy z Gospodarką

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel. 71 320 27 30, 71 328 59 85

e-mail: prorektor.rusinski@pwr.wroc.pl



PN

**RECENZJA**  
rozprawy doktorskiej  
**mgra inż. Damiana GAŁĘZIOWSKIEGO**  
pt.

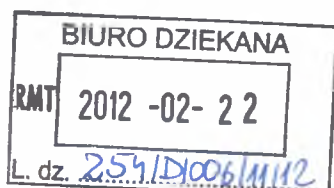
**ODWROTNE ZADANIE DYSKRETNYCH DRGAJĄCYCH UKŁADÓW  
MECHATRONICZNYCH**

**1. Przedmiot i zakres rozprawy**

Przedmiotem rozprawy jest rozwiązanie zadania odwrotnego dyskretnych mechatronicznych układów drgających. W ujęciu projektowania modeli spełniających podane wymagania, ze względu na ryzyko ciągłych powtórzeń i analiz, w pracy Doktorant zastosował syntezę. Synteza jako metoda poszukiwania układów i ich parametrów jest zadaniem odwrotnym do analizy. Wymagania w odniesieniu do projektowanych układów podano w postaci widm częstości, czyli biegunów i zer.

Układy mechatroniczne modelowano mechanicznymi układami dyskretnymi połączonymi z piezoaktuatorami typu „stack” i zewnętrznymi obwodami elektrycznymi *LRC*. Tak rozpatrywane układy, ze względu na złożoność problematyki, dotychczas omawiano w literaturze jedynie na przykładzie analizy układów o jednym stopniu swobody. Przez odpowiednie konfiguracje elementów występujących w zewnętrznym układzie elektrycznym, wykazano również możliwość działania piezoaktuatorów w funkcji tłumienia pasywnego bądź adaptacyjno-pasywnego. Brak jest natomiast w znanej literaturze pozycji opisujących rozpatrywane układy mechatroniczne, o „*n*” stopniach swobody. Autor zatem zdefiniował, jako jeden z celów, rozwiązanie zadania odwrotnego liniowych mechatronicznych układów drgających.

Problem, którego rozwiązania podjął się Doktorant, jest kontynuacją i zarazem rozwinięciem istniejących badań, prowadzonych w Ośrodku Gliwickim, dotyczących syntezy



układów mechanicznych. Problematyka syntezy układów elektrycznych oraz mechanicznych, w tym dyskretnych, ciągłych i dyskretno ciągłych jest dobrze poznana. Autor, korzystając z tych dokonań, zweryfikował dotychczasowe osiągnięcia dotyczące syntezy dyskretnych mechanicznych układów drgających, a poprzez zastosowanie algorytmu bezwymiarowych transformacji i retransformacji, w połączeniu ze znajomością zależności opisujących zjawisko piezoelektryczne, rozwinął je również o możliwość rozwiązywania zadania odwrotnego jako projektowania mechatronicznych układów drgających.

Pracę napisano na 157 stronach i podzielono na dziesięć rozdziałów. Przedstawiono w nich proces syntezy mechatronicznych układów drgających, począwszy od opisu potrzebnej teorii, sformułowania algorytmów bezwymiarowych transformacji i retransformacji, poprzez formalizację odpowiednich układów mechatronicznych, aż do przedstawienia, na wybranych przykładach obliczeniowych, charakterystyk dynamicznych. Ocenę uzyskanych wyników przeprowadzono na podstawie otrzymanych wyników i analizy wpływu, odpowiednich bezwymiarowych parametrów, na syntezywane układy mechatroniczne.

W rozdziale pierwszym Autor przedstawił znaczenie pracy, zastosowaną metodykę oraz dokonał przeglądu literatury, przedstawiającej zagadnienia syntezy układów mechanicznych i elektrycznych, a także modelowania układów mechatronicznych, z zastosowaniem piezoaktuatorów. W rozdziale tym sformułowano również tezy i cele rozprawy, dokonano przeglądu treści pracy oraz scharakteryzowano jej poszczególne części składowe.

W rozdziale drugim Doktorant przedłożył podstawy syntezy mechanicznych układów dyskretnych oraz przedstawił najważniejsze zależności związane ze zjawiskiem piezoelektrycznym. W rozwinięciu tego rozdziału Autor scharakteryzował rozważane układy, w tym opisał i zamodelował możliwe funkcje działania elementu piezoelektrycznego, w części elektrycznej i mechanicznej, a następnie przedstawił algorytm bezwymiarowych transformacji i retransformacji układów mechatronicznych.

W kolejnych rozdziałach - trzecim, czwartym i piątym Doktorant dokonał syntezy mechatronicznych układów kaskadowych, rozgałęzionych i mieszanych. Każdy z tych rozdziałów podzielono na cztery podrozdziały, w których najpierw przedstawiono w postaci graficznej przegląd możliwych do zsyntezy układów, a następnie opisano modele o jednym i o dwóch stopniach swobody (rozdział trzeci i czwarty) oraz o dwóch i trzech stopniach swobody (rozdział piąty). Dodatkowo, na przykładzie układów kaskadowych, scharakteryzowano konfiguracje działania elementu piezoelektrycznego,

których nie można otrzymać ( $R_x, R_x C_x$ ) w wyniku syntezy. Ostatecznie zagadnienie sformalizowano i uogólniono do „ $n$ ” stopni swobody.

Wybrane przykłady i zadania obliczeniowe, w odniesieniu do których zdefiniowano te same wymagania, weryfikujące modelowane i projektowane układy mechatroniczne, rozwiązano w rozdziale szóstym.

Wpływ bezwymiarowych parametrów, opisujących elementy sprężyste, inercyjne oraz tłumiące na charakterystyki projektowanych układów mechatronicznych przedstawiono natomiast, na podstawie przykładów obliczeniowych z rozdziału szóstego, w rozdziale siódmym. W celu przedstawienia schematu tworzenia układów o danej funkcji tłumienia, opisano mechatroniczne układy kaskadowe o jednym stopniu swobody. Następnie, w celu pokazania dużych możliwości tworzenia zróżnicowanych układów spełniających przyjęte kryteria, przedstawiono przykłady układów mechatronicznych kaskadowych i rozgałęzionych o dwóch stopniach swobody. Ze względu na analogiczny algorytm postępowania wybrano układ kaskadowy typu „ $LC$ ” oraz układ rozgałęziony typu „ $L$ ” i „ $LR$ ”. Ponadto w rozdziale siódmym porównano efektywność tłumienia elementu piezoelektrycznego jako funkcji pasywnej, adaptacyjno-pasywnej oraz z tłumieniem mieszanym. Doktorant wykazał, że najbardziej efektywne jest tworzenie układów z tłumieniem półaktywnym, czyli piezoaktuatorem połączonym z zewnętrznym obwodem elektrycznym  $L_x R_x C_x$ . Autor przedstawił także wpływ doboru sztywności modelującej w układzie bezwymiarowym pojemność elektryczną elementu piezoelektrycznego. Fakt ten jest istotny ze względu na realizowalność fizyczną projektowanych układów mechatronicznych. Jak wykazano, dostępność piezoaktuatorów, o odpowiednich parametrach, jest obecnie ściśle określona i ograniczona, np. pojemność elektryczna piezoelektryka.

W rozdziale ósmym sformułowano uwagi końcowe, natomiast w rozdziale dziewiątym przedstawiono bibliografię zawierającą 57 pozycji. Doktorant jest współtwórcą 11 spośród cytowanych publikacji. W rozdziale dziesiątym przedstawiano streszczenie zarówno w języku polskim jak i angielskim.

Godny uwagi jest także czynny udział Doktoranta w wielu konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych.

## 2. Oryginalne osiągnięcia rozprawy

Do oryginalnych i nowatorskich osiągnięć rozprawy należy zaliczyć:

- fakt, iż rozprawa jest pierwszym podejściem do syntezy mechatronicznych dyskretnych układów drgających. Jak dotąd w podanej literaturze ograniczano się, ze względu na złożoność problemu, do analizy prostych układów mechatronicznych o jednym stopniu swobody. W pracy rozszerzono syntezę układów mechanicznych i elektrycznych o zadanie odwrotne jako projektowanie mechatronicznych dyskretnych układów drgających, składających się z mechanicznych modeli o parametrach skupionych, połączonych z piezoaktuatorami i zewnętrznymi obwodami elektrycznymi *LRC*, syntezyzowanych ze względu na podane wymagania w postaci biegunów i zer;
- sformalizowanie i uogólnienie możliwych do zsyntezyzowania układów do „*n*” stopni swobody, a przez to pokazanie dużych możliwości tworzenia zróżnicowanych układów spełniających przyjęte kryteria, a także zwiększenie pola możliwych aplikacji syntezyzowanych układów;
- zastosowanie algorytmu bezwymiarowych transformacji i retransformacji syntezyzowanych modeli zastępczych, otrzymanych w wyniku zastosowania odpowiedniej metody syntezy, do złożonych układów mechatronicznych. Przy przedstawionym szerokim spektrum możliwych układów zaprezentowany algorytm może stanowić ułatwienie zrozumienia i modelowania zjawisk elektrycznych mechanikom, a zjawisk mechanicznych inżynierom elektrykom;
- wykazanie wpływu doboru odpowiedniej metody syntezy na funkcję tłumienia elementu piezoelektrycznego, czyli pasywną realizowaną przez układy *L*, *LR* lub półaktywną – *LC*, *LRC*,
- przedstawienie wpływu odpowiednich parametrów bezwymiarowych oraz opisujących element piezoelektryczny na syntezyzowane układy mechatroniczne, co w świetle dzisiejszych możliwości ich tworzenia i ze względu na praktyczne zastosowania, może nakreślić kolejne kierunki rozwoju materiałów piezoceramicznych, zwłaszcza w kontekście ostatnich odkryć i badań na temat

superkondensatorów („Polskie Noble”, nagroda dla prof. dr. hab. Elżbiety Frąckowiak z obszaru Nauk Chemicznych i o Materiałach).

### 3. Uwagi krytyczne

Do uwag krytycznych lub dyskusyjnych zaliczyłbym następujące:

- Autor nie weryfikuje doświadczalnie otrzymanych wyników, nie podaje również odniesienia ich do rezultatów eksperymentalnych. Przedstawione rezultaty są wykonane na podstawie teoretycznych metod, co może je obarczać błędem związanym z idealizacją modeli w odniesieniu do rzeczywistości. Wyniki powinno się zatem traktować jako przybliżone, natomiast na ich podstawie wnioskować o wpływie poszczególnych parametrów układu na jego charakterystykę w potencjalnych zastosowaniach praktycznych.
- Tematyka pracy jest ściśle określona i dotyczy obszaru zastosowania zadania odwrotnego jako projektowania mechatronicznych układów drgających. Związek grafów z tematem pracy jest przedstawiony natomiast bardzo skrótowo.
- W pracy Autor stosuje także skróty myślowe typu: „Rozważając układy mieszane, sposób projektowania układów mechatronicznych jest podobny do przedstawionych w niniejszym rozdziale układów kaskadowych...”, które zaznaczyłem w przesłanym do mnie egzemplarzu.

Również w pracy pojawiły się błędy edytorskie, które nie mają wpływu na wartość merytoryczną pracy tj.:

- Brak jest kropek po numerach podrozdziałów np. jest „ 1.1 ZNACZENIE PRACY” a powinno być „1.1. ZNACZENIE PRACY” itd. W całej pracy.
- W cytowaniu literatury brak jest spacji pomiędzy pozycjami np. na stronie 5 jest „[3,4]” a powinno być [3, 4], i tak jest w wielu miejscach pracy.
- W podpisach rysunków numery ich nie mają kropek np. jest „Rys. 2.4.1 Przykłady... ” a powinno być „Rys. 2.4.1. Przykłady...”, to samo jest w podpisie rys. 2.4.2, rys. 2.4.3, rys. 2.4.4 i tak w jest w wielu miejscach pracy.

#### 4. Podsumowanie

Recenzowana rozprawa jest wprowadzeniem oraz pierwszym podejściem do problemu syntezy dyskretnych mechatronicznych układów drgających. Uogólnienie i formalizacja zagadnienia są znaczną pomocą w doborze lub projektowaniu żądanych układów mechatronicznych, spełniających żądane wymagania w postaci częstotliwości rezonansowych i antyrezonansowych. Zastosowanie elementów piezoelektrycznych w złożonych układach mechanicznych kaskadowych, rozgałęzionych czy mieszanych, jest interesującym sposobem redukcji drgań, zwłaszcza w układach z obszaru mikropozycjonowania, optyki lub urządzeń precyzyjnych.

Mimo uwag krytycznych, rozprawa składa się z wielu wartościowych i wyróżniających ją wyników badań. Fakt ten świadczy o dużej wiedzy Doktoranta z zakresu zagadnień niezbędnych, do rozwiązania sformułowanego zadania. Zastosowany algorytm bezwymiarowych transformacji i retransformacji jest uproszczeniem przechodzenia z zagadnień mechanicznych do elektrycznych i na odwrót. Takie podejście może znacznie ułatwić projektowanie układów „interdyscyplinarnych”, czyli mechatronicznych inżynierom mechanikom i elektrykom.

Rozprawa jest wprowadzeniem do dalszych badań związanych z syntezą układów mechatronicznych, które dodatkowo można rozwinąć o mechatroniczne układy dyskretno-ciągłe. Autor stawia to za cel w dalszych badaniach.

Doktorant potwierdził swoje zdolności w planowaniu i prowadzeniu teoretycznych badań naukowych. Potrafi poprawnie analizować wyniki i przedstawić trafne uwagi końcowe. Opisane przez niego wywody są precyzyjne i czytelne.

Przytoczone uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają mojej bardzo pozytywnej oceny opiniowanej rozprawy. Wyrażam również nadzieję, że zmotywują one Autora do dalszych badań. Biorąc pod uwagę całość przedstawionej rozprawy oraz dorobek naukowy Doktoranta, potwierdzam, że rozwiązał on istotny problem współczesnej tematyki z obszaru mechaniki stosowanej.

## 5. Konkluzja końcowa

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Damiana Gałęziowskiego p.t. „Odwrótne zadanie dyskretnych drgających układów mechatronicznych” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z obowiązującą w tym zakresie Ustawą z dnia 14.03.2003r. Dz.U. Nr 65, poz. 595 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. **Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy i nadanie Panu mgr inż. Damianowi Gałęziowskiemu stopnia naukowego doktora nauk technicznych.**

Eugenium 