



**RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

Mgr inż. Anny PIWOWAR

pt. „Analiza układów parametrycznych złożonych z sekcji pierwszego i drugiego rzędu”

1. WSTĘP

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Lesława Topór-Kamińskiego wynikające z uchwały Rady Wydziału z dnia 22 marca 2011r.

2. OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

2.1. Ocena wyboru tematu, przedmiot, cel

Rozprawa stanowi wynik prowadzonych przez mgr inż. Annę Piwowar badań poświęconych ważnemu i aktualnemu problemowi modelowania i analizy współczesnych elektrycznych i elektronicznych układów parametrycznych, które znajdują zastosowanie w technice. Jak wynika z przeglądu literatury, układy parametryczne można podzielić zasadniczo na: czasowo-ciągłe (analogowe) i czasowo- dyskretne, a każde z nich o parametrach zmiennych okresowo lub nieokresowo. Przy ograniczeniu się do liniowych układów parametrycznych, można je podzielić na dwie podstawowe klasy:

- a) układy o parametrach, zmiennych okresowo, które są opisywane za pomocą liniowych równań różniczkowych o współczynnikach zmieniających się okresowo,
- b) układy o parametrach, zmiennych nieokresowo, które są opisywane za pomocą liniowych równań różniczkowych o współczynnikach zmieniających się nieokresowo.

Układy parametryczne należące do klasy „a” są dobrze opisane w literaturze przedmiotu. Natomiast układy należące do klasy „b” są znacznie mniej zbadane i opisane w literaturze.

Tej właśnie klasie („b”) układów parametrycznych w znacznej części poświęcona jest praca doktorska mgr inż. Anny Piwowar. Doktorantka skupia się na konstrukcji modeli analitycznych, badaniu właściwości układów parametrycznych o zmiennych nieokresowo parametrach sekcji parametrycznych pierwszego i drugiego rzędu.

Ograniczenie się przez doktorantkę w pracy do wszechstronnej analizy sekcji parametrycznych pierwszego i drugiego rzędu o zmiennych nieokresowo parametrach, wydawać by się mogło znacznym zawężeniem i ograniczeniem badań. Według mojej opinii tak nie jest. Skupienie się na rozpatrywanych w pracy sekcjach umożliwiło opracowanie modeli analitycznych licznych rodzajów sekcji pierwszego i drugiego rodzaju, podaniu ich właściwości wykorzystując analityczną postać oraz dla wielu wskazanie interpretacji fizykalnych parametrów modeli sekcji. Ponadto modele te stanowią bazę do połączeń równoległych i łańcuchowych i tworzenie sekcji wyższych rzędów opisanych i przebadanych analitycznie i symulacyjnie w rozdziale 8. Elementarne sekcje stanowią będą podstawową bazę do syntezy, optymalizacji, badania wrażliwości wybranych fizycznie realizacji układowych w przyszłych badaniach z tej tematyki.

Praca ma charakter przede wszystkim teoretyczno - symulacyjny, przy czym te dwa obszary są ze sobą całkowicie spójne, wzajemnie się przenikają i uzupełniają i są ukierunkowane na realizacji wytyczonego zakresu i celu pracy.

Podsumowując ten punkt należy uznać, że temat rozprawy jest aktualny i sformułowany poprawnie, a podjęcie badań przez mgr inż. Annę Piwowar z zakresu tej tematyki i w takim zakresie uważać należy za ważne i celowe.

2.2. Ocena strony redakcyjnej

Recenzowana rozprawa liczy łącznie ze spisem literatury (98 pozycji, w tym 11 artykułów współautorstwa doktorantki, 136 stron i została podzielona na 10 rozdziałów. Dobór i przegląd literatury, swój wkład udokumentowany współautorskimi publikacjami świadczą o bardzo dobrej znajomości przez mgr inż. A. Piwowar tematyki dotyczącej opiniowanej rozprawy doktorskiej. Układ redakcyjny pracy nie budzi zastrzeżeń. Praca pod względem redakcyjnym i edytorskim należy do prac wyróżniających się, chociaż jak w każdej pracy można znaleźć sformułowania nieścisłe pod względem merytorycznym czy edytorskie. Uwagi te przekazałem bezpośrednio doktorantce i one nie wpływają według mojej opinii na merytoryczną wartość pracy. Natomiast układ pracy i ocena merytoryczna zostanie szczegółowo omówiona w rozdziale 2.3 niniejszej recenzji.

2.3. Układ pracy i ocena merytoryczna

Rozdział 1 zatytułowany „**Wprowadzenie**” stanowi wprowadzenie do tematyki pracy. Autorka opisuje podział układów parametrycznych, przedstawia jasno cel, zakres i tezę pracy oraz bardzo skrótowo układ pracy.

Rozdział 2 został zatytułowany „**Przegląd zastosowań układów LTV**”. W rozdziale tym przedstawiono na podstawie literatury dotychczasowy proces rozwoju metod analizy i projektowania układów elektrycznych i elektronicznych o zmiennych parametrach w czasie. Przegląd literatury dotyczący układów LTV (Linear Time Varying System) rozpoczyna się od prekursorskich badań nad tymi układami prowadzonymi w latach 50 ubiegłego wieku przez Zadeha i Jego zespół. Przedstawia dalszy rozwój badań teoretycznych praktycznych zastosowań układów parametrycznych w przetwarzaniu sygnałów analogowych i cyfrowych.

Rozdział 3 zatytułowany „**Formalizacja modeli różniczkowych sekcji parametrycznych**”, w którym przedstawiono podstawowe metody opisu układów liniowych i czasowo niezmienniczych LTI (Linear Time Invariant), które stanowią prototyp do opisu układów LTV. Opisano cechy wspólne oraz zasadnicze różnice, a przede wszystkim przedstawiono algorytm przejścia od prototypu LTI do LTV. Na podstawie tego algorytmu przeprowadza się uzmiennienie współczynników równania różniczkowego układu LTI, uzależniając je od czasu. Wyprowadzono w ten sposób równania różniczkowe układów LTV dla sekcji parametrycznych przede wszystkim pierwszego i drugiego rzędu. Podano również ogólną strukturę kanoniczną sekcji uniwersalnej LTV n-tego rzędu.

Rozdziały: drugi i trzeci zostały opracowane na podstawie bogatej literatury, cytowanej przez Autorkę rozprawy i nie stanowią samodzielnego wkładu. Natomiast świadczy o bardzo dobrym rozpoznaniu literaturowym z omawianej tematyki. Według mojej opinii stanowi bardzo dobre wprowadzenie do realizacji postawionej tezy i celu pracy. Ponadto rozdział ten stanowi bardzo dobry przewodnik z omawianej tematyki, która jest trudna, nowoczesna, ciągle rozwijana o czym świadczą liczne publikacje. Według mojej opinii stanowią bardzo dobre wprowadzenie do realizowania postawionej tezy, celu i zakresu pracy.

Rozdział 4 zatytułowany „**Impulsowe funkcje przejścia sekcji parametrycznych pierwszego rzędu**”. W rozdziale tym został opisany model układu LTV sekcji pierwszego rzędu, który można traktować jako model filtra dolnoprzepustowy o zmiennej pulsacji granicznej ω_g . Opisano metodę wyznaczania impulsowych funkcji przejścia oraz wyznaczono analitycznie w postaci zamkniętej (jawnej) odpowiedzi dla szerokich klas wymuszeń dla sekcji pierwszego rzędu z:

- a) parametrem zmiennym eksponencjalnie, którym jest zmienna pulsacja graniczna $\omega(t)$,
- b) z parametrem $\omega(t)$ zmiennym nieokresowo o skończonej energii.

Za pomocą parametrów $\omega(t)$ zmiennych w czasie przez odpowiedni dobór ich składowych można wpływać zarówno na wartość funkcji parametryzujących w umownej chwili $t=0$, jak i na dynamikę sekcji, skracanie czy też wydłużanie czasu osiągania stanu ustalonej wartości ω_g . Jest to istotna przyczyna wprowadzenia tej klasy układów parametrycznych. Wyznaczenie analitycznie odpowiedzi rozpatrywanej sekcji pierwszego rzędu dla szerokiej klasy wymuszeń i następnie sprawdzenie poprawności za pomocą badań symulacyjnych, należy uznać za oryginalny wkład doktorantki. W wielu znanych mi opracowaniach autorzy ograniczają się przede wszystkim do badań symulacyjnych, ze względu na trudności jakie towarzyszą wyznaczaniu postaci analitycznej.

Rozdział 5 zatytułowany jest „**Impulsowe funkcje przejścia sekcji parametrycznych drugiego rzędu**”. W rozdziale tym został opisany model układu LTV sekcji drugiego rzędu, w którym można wyróżnić dwa zmienne parametry uzależnione od czasu. Opisano metodę wyznaczania impulsowych funkcji przejścia oraz wyznaczono analitycznie w postaci zamkniętej (jawnej) odpowiedzi dla niektórych zmiennych parametrów i klas wymuszeń dla sekcji drugiego rzędu z:

- c) wybranym parametrem (parametrami) zmiennym eksponencjalnie,
- d) wybranym parametrem (parametrami) zmiennym nieokresowo.

Ze względu, że wyznaczenie impulsowej funkcji przejścia sekcji drugiego rzędu w postaci zamkniętej jest bardzo trudne, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe, w pracy została przeprowadzona klasyfikacja sekcji pod tym kątem. W rozdziale tym wykazano, że jeżeli parametry zmienne są funkcjami eksponencjalnymi, to istnieją metody pozwalające na uzyskanie impulsowej funkcji przejścia w postaci jawnej. Natomiast dla zmiennych parametrów w sposób dowolny nieokresowy, takiej możliwości nie udało się uzyskać. W pracy zaproponowano wyznaczenie odpowiedzi metodą hybrydową (analityczno-numeryczną). Dla analizowanych w pracy sekcji drugiego rzędu przeprowadzono szczegółowe badania symulacyjne z wykorzystaniem programu Mathematica i PSpice. Opracowanie tego rozdziału w tej formie i w takim zakresie należy uznać za wyróżniające. Przeprowadzone badania teoretyczne i symulacje w tym rozdziale mają znamiona oryginalnych rozwiązań dokonanych przez mgr inż. Annę Piwowar.

Rozdziały 4 i 5 cechują się dużą oryginalnością, co świadczy o dobrym przygotowaniu przede wszystkim matematycznym doktorantki.

Rozdział 6 zatytułowany „**Charakterystyki częstotliwościowe sekcji parametrycznych**”. Rozdział ten poświęcony prezentacji opisu częstotliwościowego układów stacjonarnych oraz charakterystyk częstotliwościowych układów parametrycznych dla sekcji pierwszego i drugiego rzędu. Przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych charakterystyk czasowo częstotliwościowych dla rozpatrywanych sekcji układów LTV. Należy

podkreślić, że opisane metody wyznaczania charakterystyk czasowo – częstotliwościowych układów LTV wymagają znajomości analitycznej postaci impulsowej funkcji przejścia. Uzyskanie postaci analitycznej nie jest łatwe i trud jaki włożyła mgr inż. A. Piwowar aby uzyskać te postaci dla rozpatrywanych sekcji jest godny podkreślenia.

Rozdział 7 zatytułowany jest „**Analiza stabilności sekcji parametrycznych**”. Rozdział ten można podzielić na dwie części. W pierwszej części opisano znane z literatury definicje stabilności, które następnie w drugiej części rozdziału wykorzystano do badania stabilności sekcji pierwszego rzędu z parametrami zmieniającymi się eksponencjalnie i nieokresowo, podobnie dla sekcji drugiego rzędu. Określono dla badanych sekcji obszary stabilności i obszary niestabilności. Rozdział kończy się podsumowaniem.

Rozdział 8 zatytułowany „**Połączenie elementarnych sekcji parametrycznych**”. W rozdziale tym, doktorantka przedstawiła metody opisu złożonych układów, jako wynik połączeń sekcji pierwszego i drugiego rzędu. W podrozdziale 8.2 przedstawiono złożoną strukturę z równoległe połączonych struktur pierwszego rzędu. Przeanalizowano właściwości takiej struktury. Natomiast w podrozdziale 8.3 przedstawiono zastępczą strukturę dla połączenia łańcuchowego i opisano jej właściwości. W podrozdziałach tych opisano algorytm tworzenia równań różniczkowych dla omawianych sekcji zastępczych. Przedstawiono wyznaczone impulsowe funkcje przejścia oraz charakterystyki czasowo-częstotliwościowe opisywanych sekcji.

Rozdział 9 zatytułowany „**Przykładowa realizacja parametrycznego filtra cyfrowego**”. Rozdział ten został poświęcony realizacji dolnoprzepustowego filtra cyfrowego LTV. Celem tego rozdziału było potwierdzenie, że badania prowadzone teoretyczne i symulacyjne są słuszne i na ich podstawie można było zrealizować opisany w niniejszym rozdziale filtr cyfrowy. Przedstawiona w pracy realizacja bazuje na standardowym filtrze FIR, w którym uzależniono od czasu współczynniki. W realizacji praktycznej, jako $\omega(t)$ zaproponowano funkcję schodkową. W pracy przedstawiono wyniki pomiarowe, które dobrze ilustrują rozważania teoretyczne.

Rozdział 10 zatytułowany „**Zakończenie**” stanowi syntetyczne podsumowanie rozważań prowadzonych w pracy oraz propozycje dalszych badań.

Według mojej opinii za oryginalne elementy pracy bądź bardzo wartościowe należy uznać przede wszystkim:

1. Bazując na sekcjach LTI zostały opracowane przez doktorantkę metody konstrukcji modeli analitycznych sekcji pierwszego i drugiego rzędu LTV o zmiennych parametrach eksponencjalnie.
2. Słuszność tych modeli została potwierdzona badaniami symulacyjnymi.
3. Opracowanie modeli analityczno-numerycznych sekcji LTV drugiego rzędu o parametrach zmiennych nieokresowo o skończonej energii.

4. Przebadanie stabilności rozważanych w pracy sekcji, podanie warunków stabilności w sensie BIBO. Wyznaczenie obszarów stabilności i niestabilności.
5. Wartościowym rozdziałem jest wyznaczenie charakterystyk czasowo-częstotliwościowych dla rozważanych sekcji na podstawie znajomości impulsowych funkcji przejścia
6. Opracowanie banku funkcji parametrycznych dla połączeń łańcuchowych i równoległych elementarnych sekcji.
7. Opracowanie i przebadanie dolnoprzepustowego parametrycznego filtra cyfrowego na bazie procesora sygnałowego.

Wyniki pracy mogą stanowić podstawę do:

- Realizacji analogowych struktur parametrycznych sekcji pierwszego i drugiego rzędu.
- Rozwijania tej tematyki pod kątem syntezy złożonych struktur analogowych na bazie sekcji I i II rzędu.
- Optymalizacji funkcji parametrycznych.
- Optymalizacji banku funkcji parametrycznych dla połączeń łańcuchowych i równoległych elementarnych sekcji.

2.4. Uwagi do dyskusji i komentarze

1. Ograniczenie badań sekcji parametrycznych I i II rzędu o nieokresowo zmiennych parametrach Autorka rozprawy uzasadnia jasną interpretacją fizykalną parametrów modeli sekcji, nie precyzując tych interpretacji. Dla Czytelnika mniej zorientowanego w tematyce taka interpretacja byłaby bardzo wskazana.
2. Przy przechodzeniu z transmitancji operatorowej dla prototypu LTI (np. str. 11 i inne) do postaci równań różniczkowych należałoby przypomnieć i zaznaczyć, że obowiązują zerowe warunki początkowe.
3. We wzorze (4.9) i innych należałoby zaznaczyć ostateczną postać impulsowej funkcji przejścia $h(t, \tau)$ i odpowiedzi $y(t)$ skokiem jednostkowym Heaviside'a $\mathbf{1}(t)$.
4. Impulsowe funkcje przejścia np. rys. 5.9b i inne powinny być zapisane $h(t - \tau) \mathbf{1}(t - \tau)$, dotyczy to również innych rysunków.
5. Z teorii równań różniczkowych o zmiennych parametrach wynika, że istnieją rozwiązania w postaci analitycznej (jawnej), jeżeli znane są rozwiązania fundamentalne równania jednorodnego. Jeżeli nie znamy rozwiązań fundamentalnych, to czy pozostają nam tylko rozwiązania przybliżone z wykorzystaniem metod numerycznych?
6. Proszę o wyjaśnienie na czym polega badanie stabilności układów LTV w sensie BIBO z wykorzystaniem uogólnionych wartości własnych. Proszę o podanie definicji uogólnionych wartości własnych.

7. Proszę o wyjaśnienie jakimi przesłankami należy się kierować przy tworzeniu banku zmienności parametrów $\omega_i(t)$ zarówno dla modelu połączeń łańcuchowych, jak i równoległych elementarnych sekcji.
8. Dla układów LTI przemienność sekcji dla połączeń łańcuchowych nie ma wpływu na odpowiedź, w odróżnieniu od takich samych połączeń dla układów LTV. Czy istnieje kryterium doboru kolejności doboru połączeń sekcji np. kierując się właściwościami wrażliwościami?
9. Wiadomo, że znane są trzy podstawowe rodzaje połączeń bloków elementarnych SISO: kaskadowe, równoległe, ze sprzężeniem zwrotnym. Czym uzasadnia się fakt, że ostatnie z wymienionych połączeń nie było rozpatrywane w pracy.
10. W rozdziale 9 została przedstawiona realizacja parametrycznego filtra cyfrowego z wykorzystaniem procesora sygnałowego. Realizacja i opracowane wyniki potwierdzają słuszność wyprowadzonych na drodze teoretycznej zależności i właściwości rozważanych układów LTV. Natomiast uważam, że w zastosowaniach praktycznych należy rozważyć przede wszystkim realizacje analogowe. Jako prototypy należy wykorzystać układy LTI dolnoprzepustowe, górnoprzepustowe, środkowoprzepustowe i w tym kierunku powinny iść również dalsze badania.

3. WNIOSEK KOŃCOWY

Biorąc pod uwagę, że mgr inż. **Anna Piwowar** wywiązała się z postawionych w rozprawie zadań, wykazała się umiejętnością formułowania i rozwiązywania trudnych problemów naukowych. Wykonała kompleksowe badania sformułowane w celu i zakresie pracy, wykazała postawioną tezę, z zakresu modelowania, analizy układów parametrycznych o zmiennych eksponencjalnie i nieokresowo parametrach dla sekcji pierwszego i drugiego rzędu, przez co wniosła pozytywny wkład do szeroko elektrotechniki i elektroniki. Rozprawa stanowi w wielu miejscach oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, istotnego dla współczesnej elektrotechniki i elektroniki i należy do prac wyróżniających się z tej tematyki. Stwierdzam, że Jej praca doktorska pt. „**Analiza układów parametrycznych złożonych z sekcji pierwszego i drugiego rzędu**” według mojej opinii spełnia wymagania art. 13. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki zgodnie z rozporządzeniem Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z 15 stycznia 2004 roku w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim i habilitacyjnym. Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

