



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Piwowar pt. „Analiza układów parametrycznych złożonych z sekcji pierwszego i drugiego rzędu”

1. Ocena tematyki i celu rozprawy

Układy o parametrach zmiennych w czasie, zwane układami niestacjonarnymi lub parametrycznymi, tworzą szeroką klasę układów liniowych, których własności zbliżone są do własności układów liniowych stacjonarnych. Literatura matematyczna poświęcona tym układom ma długą historię. W ostatnich dekadach można zaobserwować wzrost zainteresowania parametrycznymi układami elektrycznymi i elektronicznymi. W pewnym stopniu wynika to z rozwoju metod numerycznych i technik komputerowych. Ogólne twierdzenia matematyczne mogą być wykorzystane do obliczeń numerycznych dla przypadków szczególnie przydatnych w zastosowaniach inżynierskich. W rezultacie wiedza o zachowaniu tych układów zostaje znacznie pogłębiona. Układy zmienne w czasie stanowią dobre modele układów nieliniowych będących pod działaniem wymuszeń okresowych. Modele takie mają swoje podstawy w pracach Lapunowa. W dokładnej analizie małosygnałowej układami takimi są układy elektroenergetyczne. Układy elektroenergetyczne mają cechy układów zmiennych w czasie również ze względu na duży wpływ na te układy urządzeń energoelektronicznych. Innym obszarem zastosowań teorii układów zmiennych w czasie jest dziedzina przetwarzania sygnałów. W literaturze obszerniej opisane są układy o parametrach zmiennych okresowo. Mniej opracowań dotyczy układów zmieniających się nieokresowo, a takie są przedmiotem recenzowanej rozprawy. Cel jakim jest opracowanie modeli analitycznych sekcji parametrycznych pierwszego i drugiego rzędu zarówno w dziedzinie czasu jak i dziedzinie częstotliwości został wybrany trafnie. Dokładna analiza sekcji pierwszego i drugiego rzędu umożliwia tworzenie modeli wyższych rzędów. Łączenie sekcji, szczególnie łączenie kaskadowe, umożliwia uzyskanie bardzo szerokiej klasy układów. Uważam, że tematyka rozprawy jest ważna i aktualna.

2. Najważniejsze wyniki rozprawy

Wyniki rozprawy są oryginalne, wartościowe tak od strony teoretycznej jak również praktycznej. Charakteryzują się dużą kompletnością, są opisane perfekcyjnie pod względem metodologicznym. Zgodnie z tematem, treść rozprawy zawiera analizę zmiennych w czasie układów złożonych z sekcji pierwszego i drugiego rzędu. Dzięki takiej konstrukcji rozprawy

możliwe było wykonanie bardzo szczegółowej i kompletnej analizy szerokiej klasy układów zmiennych w czasie. Ogólna teoria równań różniczkowych liniowych o zmiennych współczynnikach jest dostępna w wielu podręcznikach poświęconych równaniom różniczkowym zwyczajnym. Jednak bezpośrednio wykorzystanie tej teorii w zastosowaniach inżynierskich jest ograniczone, gdyż dla takich równań z reguły nie istnieją rozwiązania analityczne w postaci zamkniętej. W rozprawie wykazano, że dla układów pierwszego i drugiego rzędu możliwe jest opracowanie bardzo wyczerpującej i przystępnej teorii. Taką teorię opracowano dla nieokresowych funkcji zmienności opisanych przez funkcje wykładnicze oraz szeregi złożone z takich funkcji. Z kolei łączenie sekcji pierwszego i drugiego rzędu umożliwia tworzenie układów wyższego rzędu o pożądanych własnościach.

Wyznaczono wyrażenia analityczne funkcji przejścia sekcji pierwszego rzędu z parametrami zmiennymi wykładniczo lub aproksymowanymi szeregami wykładniczymi. Przeprowadzono analizę funkcji przejścia i zaproponowano aproksymację wyrażenia analitycznego za pomocą skończonego szeregu Taylora. Rozwinięcie to umożliwiło oszacowanie błędu dla wymuszeń aproksymowanych przez szeregi Fouriera o bazie trygonometrycznej i wykładniczej. Wyprowadzone wyrażenia analityczne są złożone i wymagały mozolnych przekształceń. Zostały one wykonane bardzo starannie i zweryfikowane na drodze obliczeń numerycznych, z wykorzystaniem dwóch języków programowania PSpice i Mathematica. Weryfikacja wyników za pomocą dwóch zasadniczo różnych programów zwiększa wiarygodność wyników. Symulacje wykonano dla wymuszenia w postaci skoku jednostkowego, wymuszenia harmonicznego i fali prostokątnej. Wyniki symulacji pokazują, że filtr parametryczny umożliwia, między innymi, poprawę dynamiki w porównaniu z filtrem stacjonarnym. Interesujące wyniki symulacji dotyczą zachowania się filtrów w stanie ustalonym jak również w stanie nieustalonym.

Szczególnie istotne są wyniki badań sekcji drugiego rzędu. Układy te podzielono na dwie klasy. Do pierwszej klasy należą układy, dla których istnieją rozwiązania fundamentalne w postaci zamkniętej. Klasę tą tworzą układy opisane równaniami różniczkowymi o współczynnikach zmieniających się wykładniczo. Do drugiej klasy należą układy, dla których nie istnieją rozwiązania w postaci zamkniętej. Dla tej klasy wyznaczono równania fundamentalne w postaci numerycznej, a następnie aproksymowano je szeregami o bazie wykładniczej. Dzięki przekształceniu równań różniczkowych do formy kanonicznej zawierającej takie parametry jak zmienna pulsacja drgań i zmienny współczynnik tłumienia uzyskano wyniki o dużej ogólności i dogodnie do interpretacji inżynierskiej. Zaproponowano takie funkcje zmienności parametrów, przy których rozwiązania fundamentalne można wyrazić za pomocą funkcji Bessela. Pokazano, że rozważane funkcje zmienności układu prowadzą do dużej różnorodności rozwiązań fundamentalnych, a w konsekwencji do dużej różnorodności odpowiedzi impulsowych. Możliwe są odpowiedzi o charakterze oscylacyjnym i monotonicznie tłumionym. Układy analizowano dla trzech przypadków odpowiadającym kolejno zmiennej pulsacji, zmiennego tłumienia i zmiennych obydwu parametrów jednocześnie. Takie podział analizy sekcji drugiego rzędu dało dobry efekt metodyczny, gdyż wiele wniosków można uzyskać bez rozpatrywania złożonego przypadku ze zmiennymi oboma parametrami.

Bardzo cenny i oryginalny jest rozdział poświęcony charakterystykom częstotliwościowym. Wykorzystując analizę czasową wyprowadzono charakterystyki amplitudowo-fazowe dla sekcji pierwszego rzędu i sekcji drugiego rzędu posiadających rozwiązania fundamentalne. Wykorzystując wyprowadzone formuły analityczne wykonano interesujące symulacje numeryczne.

Ważną częścią pracy jest rozdział poświęcony stabilności sekcji parametrycznych. Zbadano stabilność w sensie ograniczony sygnał wejściowy – ograniczony sygnał wyjściowy. Szczegółowo zbadano położenie wartości własnych na płaszczyźnie zespolonej i pokazano, że jeżeli funkcje parametryczne są dodatnie to filtry są stabilne.

W obszernym rozdziale 8 zbadano możliwości tworzenia złożonych układów w wyniku łączenia sekcji elementarnych pierwszego i drugiego rzędu. Szczegółowo zbadano własności układów uzyskiwanych przez łączenie równoległe i kaskadowe. W przypadku połączenia równoległego wyniki są dość oczywiste, ponieważ rozpatrywane układy są liniowe. Bardziej złożony jest przypadek połączenia kaskadowego. Pokazano, że w odróżnieniu od układów stacjonarnych łączenie kaskadowe układów niestacjonarnych nie jest przemienne. Kolejność bloków zmienia wynik. Jest to istotna własność umożliwiająca tworzenie dużej liczby układów przez permutację poszczególnych sekcji. Opracowano reguły wyznaczania równań różniczkowych połączenia kaskadowego sekcji pierwszego i drugiego rzędu. Wyznaczono impulsową funkcję przejścia układu kaskadowego.

Końcowy rozdział poświęcono przykładowej realizacji filtru cyfrowego. Wykonano stanowisko pomiarowe oparte na module wyposażonym w procesor stałoprzecinkowy. Panel jest sterowany i programowany z komputera PC. W układzie eksperymentalnym zrealizowano parametryczny dolnoprzepustowy filtr cyfrowy o skończonej odpowiedzi impulsowej. Wykonano pomiary dla przykładowej realizacji filtru parametrycznego. Wykonane eksperymenty laboratoryjne są bardzo cennym uzupełnieniem teoretycznej części pracy. Stanowisko pomiarowe umożliwi prowadzenie dalszych badań ukierunkowanych na praktyczne wykorzystanie teoretycznych rezultatów pracy.

Rozprawa zawiera dużą liczbę wyprowadzonych formuł analitycznych, wymagało to dużego nakładu. Wyrażenia analityczne umożliwiły wykonanie obliczeń z wykorzystaniem języka Mathematica, a następnie porównanie uzyskanych wyników z wynikami uzyskanymi podczas symulacji z użyciem programu PSpice. Dzięki temu weryfikacja poprawności uzyskanych wyników jest bardzo kompletna.

Rozprawa jest zredagowana bardzo starannie, jakość wyników symulacji i pomiarów jest bardzo dobra. Nie znalazłem błędów merytorycznych ani redakcyjnych, drobną pomyłkę zauważyłem w podpisie rys. 5.15.

3. Wniosek końcowy

Recenzowaną rozprawę oceniam jako bardzo wartościową. Wynikiem rozprawy jest kompletna teoria układów pierwszego i drugiego rzędu zmiennych w czasie nieokresowo. Teoria została opracowana głównie pod kątem przydatności do układów elektronicznych i

została zweryfikowana przez dużą liczbę starannie dobranych obliczeń numerycznych. Wykonane zostało stanowisko pomiarowe oparte na module mikroprocesorowym. Rozprawa wnosi istotny wkład do wiedzy w zakresie teorii układów elektrycznych i elektronicznych. Założone cele rozprawy zostały zrealizowane. Autorka wykazała się bardzo szeroką wiedzą z zakresu matematyki, teorii obwodów, metod komputerowych i układów elektronicznych.

Rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Anny Piwowar do publicznej obrony rozprawy.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy rozprawy, bardzo dużą liczbę uzyskanych oryginalnych wyników i wykonanie licznych symulacji komputerowych z wykorzystaniem języków Mathematica i PSpice oraz pomiarów laboratoryjnych uważam, że recenzowana rozprawa doktorska zasługuje na wyróżnienie.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. K. P.' with a stylized flourish at the end.