Gliwice, 17.10.2011

Dr hab. inż. Jacek Konopacki
Instytut Elektroniki,
Politechnika Śląska

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwicach

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: **Testowanie elektronicznych układów analogowych z wykorzystaniem wielowymiarowej przestrzeni poszukiwań i algorytmów zbiorowej inteligencji.**

Autor rozprawy: **mgr inż. Piotr Kyzioł**

Promotor rozprawy: **prof. dr hab. inż. Jerzy Rutkowski**

1. Cel, zakres i charakter rozprawy

Rozprawa doktorska dotyczy testowania układów analogowych. Diagnostyka tych układów jest zagadnieniem otwartym, gdyż wciąż brak skutecznych i zweryfikowanych metod ich testowania. Problem jest szczególnie trudny w przypadku testowania analogowych układów scalonych między innymi ze względu na dość dużą tolerancję elementów, znaczący wpływ elementów pasożytniczych oraz niewielką liczbę dostępnych punktów pomiarowych. Ostatnia z wymienionych cech jest poważnym ograniczeniem i może dlatego liczba znanych metod przeznaczona do testowania układów analogowych z małą liczbą dostępnych punktów pomiarowych jest niewielka. Autora postawił sobie za cel poprawić sytuacje w tym zakresie i opracować nową metodę testowania układów z ograniczonym dostępem pomiarowym.
Praca ma charakter badawczy, a weryfikacja zaproponowanej metody polegała na symulacji komputerowej układów analogowych o różnym stopniu skomplikowania. Autor wykorzystał ogólnie dostępne narzędzia, np. PSPICE oraz własne procedury napisane w języku C++.

2. Zawartość rozprawy

Praca liczy łącznie 157 stron i składa się z pięciu rozdziałów, trzech dodatków oraz spisu literatury. Autor zamieścił również spis rysunków i tabel, a także bardzo przydatny wykaz oznaczeń i wykaz skrótów.
W rozdziale pierwszym, po krótkim wstępie, w który przybliżona jest tematyka diagnostyki układów analogowych, Doktorant formułuje cel i tezy pracy oraz krótko opisuje zawartość poszczególnych rozdziałów.
Rozdział drugi poświęcony jest różnym metodom testowania i diagnostyki układów elektronicznych znanych z literatury. Przedstawiony został podział metod testowania i klasyfikacja uszkodzeń. Następnie Autor skupia się na metodach słownikowych, z których dwie opisuje.
Oryginalną część pracy stanowi rozdział trzeci, w którym Doktorant zaproponował nową, czwórnikową metodę testowania, wykorzystującą symulacje przedtestową. Opisane zostały kolejne etapy konstrukcji słownika uszkodzeń, zawierające: określenie danych wejściowych, wyszukanie informacji diagnostycznej, optymalizacyjny dobór punktów testowych oraz wyznaczenie wartości elementów czwórnika testującego. Efekty weryfikacji nowej metody

zawiera rozdział czwarty. Przedstawiono wyniki testowania trzech układów i porównano je z innymi metodami.
Pracę podsumowano w rozdziale piątym, w którym zamieszczono również kierunki dalszych badań jakie według Doktoranta warto podjąć w najbliższym czasie.
W dodatkach Autor zamieścił używane w pracy dwa algorytmy heurystyczne: rojowy i programowania genetycznego oraz opisał metody syntezy dwójnika pasywnego RLC.

3. Poprawność i oryginalność podstawowej tezy

Zaproponowana przez Doktoranta nowa metoda testowania polega na dołączeniu do testowanego układu czwórnika aktywnego, dzięki czemu zwiększa się liczba dostępnych punktów pomiarowych. Wartości elementów czwórnika, w tym wartość częstotliwości źródła sinusoidalnego, stanowią pewną wielowymiarową przestrzeń, z której wybrać należy wartości, zapewniające skuteczną detekcję i lokalizację uszkodzeń. Autor stawia więc oryginalną tezę główną, że *użycie wielowymiarowej przestrzeni poszukiwań zwiększa liczbę dostępnych punktów pomiarowych oraz poprawia skuteczność diagnostyki analogowych układów elektronicznych*. Można ją uznać za poprawnie i jasno sformułowaną pod warunkiem wcześniejszego zdefiniowania przestrzeni poszukiwań. Oprócz tezy głównej zaproponowano trzy tezy cząstkowe. Dotyczą one wykorzystania heurystycznych algorytmów zbiorowej inteligencji do wyszukiwania informacji diagnostycznej, wyszukiwania minimalnego zbioru punktów testowych oraz syntezy impedancji gałęzi RLC czwórnika dołączanego do układu testowanego. Tezy te są powiązane z poszczególnymi etapami konstrukcji słownika uszkodzeń dla czwórnikowej metody testowania.

4. Analiza źródeł

Spis literatury liczy 97 pozycji z czego 13 powstało przy współudziale Autora rozprawy. Ponad 1/3 z cytowanych prac powstała po 2004 roku, co świadczy z jednej strony o aktualności podjętego tematu, a z drugiej strony o rozeznaniu Autora w najnowszych opracowaniach, jakie pojawiły się w temacie testowania układów analogowych. Cytowane źródła stanowią reprezentatywny i wystarczający zbiór dla rozważanego w pracy problemu testowania.

5. Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i znaczenie uzyskanych wyników

Zaproponowana w pracy czwórnikowa metoda testowania należy do grupy metod typu FDT (Fault Driven Test) z symulacją przedtestową. Symulacji poddaje się układ nieuszkodzony, a następnie ten sam układ z wprowadzonymi uszkodzeniami elementów. Na podstawie uzyskanych wyników buduje się tzw. słownik, który powinien pozwolić na stwierdzenie, czy wystąpiło uszkodzenie elementu i gdzie się ten element znajduje. Należy stwierdzić, że tego typu metody są intensywnie rozwijane, gdyż zapewniają niższe koszty testowania niż metody funkcjonale (SDT – Specification Driven Test). Przedstawione w rozprawie rozwiązanie bardzo dobrze wpisuje się w istniejące na rynku zapotrzebowanie na metody testowania układów analogowych. Idea dołączenia do układu testowanego dodatkowych elementów zewnętrznych nie jest nowa. Zastosowano ją, np. w oscylacyjnej metodzie testowania (OBT – Oscillation Based Test) w celu wzbudzenia drgań. Natomiast w metodzie Autora pracy głównym zadaniem czwórnika dołączanego do układu testowanego jest uzyskanie lepszej separowalności uszkodzeń. Jednocześnie metoda ta zapewnia krótszy czas testowania niż rozwiązania znane z literatury. Uważam, że przedstawiona do recenzji praca jest ważnym krokiem w rozwoju metod testowania układów analogowych i mieszanych sygnałowo.

6. Umiejętność autora do poprawnego przedstawienia wyników

Ogólnie praca jest zredagowana poprawnie. Poszczególne rozdziały są logicznie ułożone. Dobrym rozwiązaniem jest umieszczenie opisu ważnych algorytmów w dodatkach, gdyż są jedynie narzędziem używanym w pracy. Wyniki symulacji przykładów są przedstawione w czytelnych tabelach i omówione. Do nielicznych wad redakcyjny rozprawy należy zaliczyć: bardzo długie zdania utrudniające zrozumienie zamieszczonego wywodu, błędy stylistyczne i literowe. Natomiast można podać dwa poważniejsze uchybienia, jeśli chodzi o poprawne i przekonujące przedstawienie wyników. Po pierwsze, brak konsekwencji w definiowaniu pojęć, np. używane jest pojecie, które definiuje się później. Po drugie, w rozdziale piątym, podsumowującym rozprawę, zamieszczono dla każdej tezy cząstkowej podobne stwierdzenie, że wyniki przeprowadzonych badań a w szczególności przykład obliczeniowy potwierdzają słuszność tej tezy. Niestety nie sprecyzowano jakie to były badania. Być może wystarczyłoby, aby Autor odwoła się do swoich wcześniejszych prac. Pomimo tych uchybień można stwierdzić, że Doktorant potrafi w sposób jasny i poprawny przedstawić wyniki swoich badań.

7. Uwagi

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- Na początku rozdz. 3.3 Autor stwierdza, że w pracy *„ ...omówiono metodę 4-tBT tylko z pobudzeniem w postaci źródła AC. Klasa układów testowanych została w ten sposób ograniczona tylko do obwodów liniowych."* Jest to stwierdzenie nieprawdziwe, gdyż typ pobudzenia nie determinuje liniowości obwodu.
- W pracy użyto analizy Monte Carlo do odwzorowania obszarów tolerancji z przestrzeni parametrów w przestrzeń pomiarów. Przyjęto rozkład równomierny wartości parametrów jako bardziej niekorzystny od rozkładu normalnego. W rzeczywistych układach rozkłady mogą być jednak bardziej skomplikowane. Na przykład dla układów zbudowanych z elementów dyskretne o tolerancji ±5%, nie będzie elementów o wartościach z przedziału ±1%. Pytanie, jak taki nietypowy rozkład wpłynie na budowany słownika uszkodzeń?
- Na str. 101 znajduje się zdanie: *„Przyjęto rzeczywisty model wzmacniacza operacyjnego..."*. Prawdopodobnie chodziło o model rzeczywistego wzmacniacza operacyjnego. Model jest bardzo prosty i nie uwzględnia parametrów częstotliwościowych wzmacniacza, chociaż został zastosowany do analizy filtru aktywnego. Zaskakująca mała jest też rezystancja wejściowa (100 kΩ) użyta w modelu. Doktorant nie komentuje czemu wybrano tak prosty model i czy zastosowanie innego miałoby wpływ na detekcję i lokalizacje uszkodzeń?
- W czwartym etapie zaproponowanej metody wykonywana jest synteza czwórnika testującego. Do syntezy użyto algorytmu opisanego w Dodatku C. Wydaje się niepotrzebne ograniczenie wartości elementów do typoszeregu E12. Czwórnik testujący nie jest przeznaczony do produkcji masowej, a więc jego elementy mogą być indywidualnie dobierane. W przypadku elementów o wartościach z typoszeregu dochodzi problem uwzględnienia wpływu tolerancji. Problem ten nie jest jednak w pracy dyskutowany.
- Polska i angielska nazwa nowej metody są niespójne. Autor używa określenia czwórnikowa metoda testowania, w skrócie 4-tBT od angielskich słów *four-terminal based test*. Tymczasem *four-terminal* oznacza czterobiegunnik, a nie czwórnik.

Ważniejsze uwagi szczegółowe

- Trudno dociec według jakiego klucza uszeregowano wykaz oznaczeń i skrótów. Wskazane byłoby uporządkowanie alfabetyczne, gdyż ułatwia szukanie pożądanego elementu.
- Str. 1, 3. wiersz od dołu – powinno być „...układów analogowych i mieszanych sygnałowo..."
- Przedziały napięć odpowiadające zbiorom niejednoznaczności przypisane punktom testowym P_4 oraz P_{21}, zaznaczone na rys.2-4 (str. 20), nie są zgodne z wartościami podanymi w Tabeli 2-2.
- Niektóre wartości miar dla zbiorów niejednoznaczności podane w Tabeli 2-3 (str. 23) nie pokrywają się z wartościami obliczonymi ze wzorów (5) do (7).
- Wartości elementów dwójnika RLC pokazanego na rys. 3-23 (str. 91) nie należą do typoszeregu E12, pomimo że algorytm użyty do wyznaczenia tych wartości (opisany w Dodatku C) bazuje właśnie na tym typoszeregu.
- Opis struktury RLC za pomocą drzewa na rys.8-2 (str. 137) jest niejasny. Nie wiadomo jakie znaczenie mają operatory w węzłach tego drzewa.

8. Wniosek końcowy

Reasumując należy stwierdzić, że założony w pracy cel został zrealizowany. Doktorant opracował nową, oryginalną metodę testowania i zrobił to w sposób kompleksowy. Opisane zostały wszystkie niezbędne elementy potrzebne do zbudowania testera działającego według zaproponowanej metody. Efektem pracy są również istotne rozwiązania niepowiązane bezpośrednio z tezami. Zaliczyć do nich można zaproponowanie miary do oceny jakości zbiorów niejednoznaczności i punktów testowych. Na podkreślenie zasługuje także fakt, że prace związane z doktoratem mają również konkretny wymiar aplikacyjny w postaci zgłoszenia patentowego.
Pomimo podanych wyżej uwag krytycznych przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie postawionego zadania badawczego, a jej Autor wykazał się wiedzą i umiejętnością do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Spełnione są więc wymagania stawiane przez „Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki". **Wnioskuję zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Kzyioła do publicznej obrony.**