

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Kokota "Damage identification in electrical network for structural health monitoring"

1. Temat i zakres rozprawy

Recenzowana praca ma objętość 102 str. i składa się ze wstępu, trzech rozdziałów właściwych i podsumowania. Wykaz cytowanej literatury obejmuje 56 pozycji. Rozprawa jest napisana w języku angielskim.

Celem pracy jest wykazanie, że można wykrywać uszkodzenia konstrukcji za pomocą odpowiednio dobranej i wtopionej w konstrukcję sieci elektrycznej. Jako podzadania prowadzące do osiągnięcia tego celu Autor wymienia przystosowanie Metody Dystorsji Wirtualnych (MDW) do analizy sieci elektrycznych, opracowanie metodyki diagnostyki uszkodzeń w takich sieciach, zbadanie jednoznaczności rozwiązań zagadnienia odwrotnego dla różnych konfiguracji sieci i zaproponowanie konfiguracji najlepszych z punktu widzenia identyfikacji uszkodzeń.

We wstępie rozprawy podana jest teza pracy wraz z jej uzasadnieniem oraz przytoczone są podstawowe pojęcia z zakresu monitorowania stanu konstrukcji. Rozdział ten zawiera również krótki przegląd komercyjnych systemów monitorujących oraz odwołania do literatury z tej dziedziny.

W drugim rozdziale Autor przytacza podstawy teorii sieci elektrycznych, ograniczając się do 3 rodzajów elementów pasywnych (opornik, kondensator i cewka) oraz 2 rodzajów elementów aktywnych (źródło prądowe i źródło napięciowe). Topologia sieci opisywana jest za pomocą grafu skierowanego, którego reprezentacją analityczną stanowi macierz połączeń (*incidence matrix*). Rozpatrywane są 3 rodzaje stanów sieci: stan ustalony pod wpływem stałych prądów i napięć na wejściu, stan ustalony pod wpływem harmonicznie zmiennych prądów i napięć, stan dynamiczny pod wpływem dowolnie zmiennych w czasie prądów i napięć. W rozdziale tym opisana jest również zmodyfikowana metoda węzłowa MNA, z której korzysta większość komercyjnych programów do analizy sieci elektrycznych. Rozdział kończy przypomnienie analogii, jakie zachodzą pomiędzy układami mechanicznymi i elektrycznymi.

Rozdział 3 jest poświęcony przystosowaniu Metody Dystorsji Wirtualnych (MDW), którą zaproponował na początku lat 90-tych Promotor rozprawy prof. Jan Holnicki-Szulc, do analizy sieci elektrycznych. Wyprowadzone zostały elektryczne odpowiedniki macierzy wpływu, które stanowią podstawowy składnik MDW, przedstawiono macierzowe wzory służące do określania wpływu zmiany podstawowych parametrów składnika sieci (opór, pojemność, indukcyjność) na jej odpowiedź na dane obciążenie. W rozdziale tym omówiono również sposób wyprowadzania macierzy wrażliwości.

W rozdziale 4 Autor przedstawia koncepcję systemu detekcji uszkodzeń ELGRID i zajmuje się rozwiązywaniem zagadnień odwrotnych dla sieci elektrycznych, które będą stanowiły podstawę funkcjonowania systemu ELGRID. Rozważane sieci obejmują wiele oporników i

kondensatorów połączonych ze sobą w różnych konfiguracjach. Wartościami znanymi są konfiguracja sieci oraz jej odpowiedź na zadane obciążenie prądowe lub napięciowe. Zakłada się, że sieć jest wtopiona w materiał typu wielowarstwowy laminat lub żelbet. Uszkodzenie tego materiału powoduje skokową zmianę elektrycznych parametrów sieci. Zagadnienie odwrotne polega na zlokalizowaniu tego uszkodzenia. Rozważane są 3 przypadki obciążeń testowych: stan elektrostatyczny, stan ustalony pod prądem zmiennym i odpowiedź dynamiczna na obciążenie impulsowe. Ostatnia część rozdziału 4 jest poświęcona optymalizacji konfiguracji sieci z warunku najlepszej dokładności lokalizacji uszkodzeń.

W podsumowaniu Autor dokonał samooceny oryginalnych elementów pracy i przedstawił propozycje dalszych prac w kierunku rozwoju system detekcji uszkodzeń ELGRID.

2. Ocena ogólna

Autor rozprawy podjął zagadnienie, które jest interesujące poznawczo, a jednocześnie ważne z aplikacyjnego punktu widzenia. Dużą zaletą rozprawy jest jej wielodyscyplinarny charakter. W przeciwieństwie do wielu badaczy, którzy skupiają swą uwagę na jednym narzędziu matematyczno-obliczeniowym dołączając zastosowanie praktyczne niejako a posteriori, mgr Kokot stawia w centrum uwagi ważne z praktycznego punktu widzenia zagadnienie inżynierskie i próbuje je rozwiązać za pomocą wszelkich dostępnych narzędzi.

Opiniowana rozprawa jest częścią prac prowadzonych w zespole prof. Holnickiego-Szulca nad systemem nieinwazyjnej detekcji uszkodzeń ELGRID. System ten jest oparty na zręcznym pomysłem: zamiast borykać się z modelowaniem i identyfikacją tak niewdzięcznych materiałów konstrukcyjnych, jak żelbet czy wielowarstwowe kompozyty, wtapiamy w konstrukcję sieć elektryczną, która zachowuje się liniowo pod wpływem próbnego obciążenia. Uszkodzenie materiału powoduje lokalne uszkodzenie sieci, które można wykryć i zlokalizować za pomocą analizy odwrotnej.

Głównym problemem w analizie odwrotnej nie jest wykrycie uszkodzenia, lecz jego lokalizacja. W przypadku regularnej siatki pasywnych elementów obciążonych statycznie i obserwowanych w małej liczbie węzłów brzegowych, ustalenie, który z elementów uległ uszkodzeniu jest niemożliwe. Na str. 7 rozprawy Autor stawia tezę, że niejednoznaczność rozwiązania zagadnienia odwrotnego można usunąć po przez:

1. Odpowiedni dobór konfiguracji sieci;
2. Zastosowanie dynamicznego obciążenia próbnego.

Przykłady podane w rozdziale 4 potwierdzają, że taka możliwość istnieje. Droga do pełnego wdrożenia systemu ELGRID jest jeszcze daleka, ale analiza dokonana w opiniowanej rozprawie na pewno stanowi znaczący postęp na tej drodze. W szczególności, eliminuje ona prądy DC i AC, jako obciążenia próbne, i wykazuje konieczność wyjścia poza statyczną regularną siatkę. Zapewne w rozwiązaniu końcowym pojawi się jakaś wersja siatki adaptacyjnej z aktywnymi przełącznikami.

Problem niejednoznaczności rozwiązania odwrotnego jest kluczowy w rozważanym zagadnieniu i szkoda, że większa część rozprawy nie została poświęcona temu zagadnieniu. Można to było zrobić kosztem rozwlekłego omawiania analogii elektryczno-mechanicznej w rozdziale 2. Analogia ta jest powierzchowna, pomija bowiem istotne różnice, jakie zachodzą pomiędzy opisem propagacji pola elektro-magnetycznego w ośrodku przewodzącym, a opisem propagacji naprężeń i odkształceń w ciele odkształcalnym. Autor rozprawy ogranicza się układów dyskretnych: po stronie elektrycznej do inżynierskiej teorii sieci, a po stronie mechanicznej do analizy ustrojów prętowych. Nawet na tym poziomie nie da się przenieść

modelu elektrycznego na mechaniczny, bo w opisie sieci elektrycznej wystarczy podać jej topologię, a opis konstrukcji prętowej musi zawierać zarówno topologię, jak i geometrię układu. Autor pisze o tym, lecz dopiero na str. 34, przesadnie podkreślając na poprzednich stronach jakoby całkowitą równoważność modeli elektrycznego i mechanicznego. Ograniczony zakres tej analogii widać wyraźnie na rys. 2.12 – 2.15: przykłady mechaniczne zostały tak dobrane, aby przestrzenny układ elementów nie miał wpływu na zachowanie się całości.

Na szczęście, Autor nie postuluje powrotu do analizy kratownic za pomocą komputerów analogowych, ani stosowania programów MNA do tego celu. Ze względu na to, że model mechaniczny jest bogatszy, można jego elementy z powodzeniem przystosować do analizy układów elektrycznych. Zostało to z powodzeniem wykonane w rozprawie, gdzie Autor pokazał, że Metoda Dystorsji Wirtualnych może być skutecznie wykorzystana do rozwiązywania zwykłych i odwrotnych zagadnień analizy sieci elektrycznych.

Podsumowując, do oryginalnych elementów rozprawy zaliczam:

1. Przystosowanie MDW do analizy sieci elektrycznych.
2. Opracowanie metodyki analizy wrażliwości takich sieci na zmiany oporu i pojemności elementów składowych.
3. Zaproponowanie kilku rozwiązań usuwających niejednoznaczność rozwiązań zagadnienia odwrotnego dla sieci elektrycznej.

Rozprawa wykazuje solidną wiedzę mgr Kokota w takich dziedzinach, jak numeryczne metody analizy konstrukcji i sieci elektrycznych, zagadnienia odwrotne oraz metody optymalizacji. Praca jest dobrze napisana po angielsku, wykaz piśmiennictwa obejmuje większość istotnych pozycji z zakresu rozprawy.

3. Szczegółowe uwagi krytyczne

str. 10-11	W opisie sieci Autor wymiennie używa nazw „ <i>elements</i> ” i „ <i>components</i> ”. Godne pochwały w beletrystyce, takie wzbogacenie języka utrudnia rozumienie definicji matematycznych.
str. 15	Na rys. 2.4 widzimy podgraf zawierający same oporniki i odpowiadającą mu macierz połączeń. Krawędzie zawierające inne elementy (kondensatory, cewkę i źródła) zostały po prostu usunięte. Jak wyglądają podgrafy C i L oraz odpowiednie macierze M ?
str. 16	Dlaczego opornik jest charakteryzowany parametrem G , zamiast jego odwrotnością R ? Odpowiednikiem R dla cewki jest L .
str. 17	W opisie praw Kirchhoffa pojawia się pojęcie gałęzi „ <i>branch</i> ” bez podania definicji. Dalej w tekście „ <i>branch</i> ” jest używane wymiennie z „ <i>edge</i> ”.
str. 21	Pojawiają się pojęcia „ <i>independent node</i> ” i „ <i>independent loop</i> ” bez podania ich definicji.

str. 38	Za pomocą MWD można analizować zachowanie się konstrukcji złożonych z elementów o odcinkowo-liniowej charakterystyce, ale nie będzie to pełna analiza w zakresie sprężysto-plastycznym, bo model MWD nie uwzględnia możliwości lokalnego odciażania elementów uplastycznionych.
str. 48	Nadmiar wskaźników utrudnia czytanie wzorów (3.16).
str. 55	Małe wartości dystorsji wirtualnych obliczone w przykładzie 7 wskazują na to, że metoda numeryczna może być czuła na błędy zaokrągleń i inne zaburzenia losowe.
str. 66-67	Nie rozumiem dlaczego w modelu sieci ELGRID pojawiają się cewki indukcyjne, skoro na poprzedniej stronie stwierdzono, że nie będą stosowane.
str. 70	Założenie, że uszkodzenia matrycy materiałowej doprowadzą do całkowitego zniszczenia oporników i kondensatorów jest nierealistyczne. Bardziej prawdopodobne jest przerwanie połączeń między nimi.

Pomimo tego, że praca jest napisana poprawnie po angielsku, zdarzają się literówki i błędy stylistyczne:

str. 4	...branch of engineering which combine branch of engineering which combines ...
str. 20	To evaluate ...it is required to formulate and solve ..	In order to evaluate ... it is required to formulate and to solve ..
str. 24	... decompozition decomposition ...
str. 30	Electro-mechanical analogies ... is a well known ...	Electro-mechanical analogy ... is a well known ...
str. 39	... geometrical constancy geometrical stability ...

4. Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa mgr inż. Marka Kokota wnosi istotny przyczynek do rozwoju komputerowych metod oceny bezpieczeństwa konstrukcji. Spełnia ona zatem wymagania stawiane przez aktualnie obowiązującą Ustawę o stopniach i tytule naukowym. Stawiam wniosek o dopuszczenie tej rozprawy do publicznej obrony.



Sulejówek, 4 lipca 2011 r.