

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	7
1. Wstęp	
1.1. Wprowadzenie	11
1.2. Stan wiedzy w obszarze modelowania przetworników wiropądowych	14
1.3. Poprawa parametrów metrologicznych wiropądowych przyrządów pomiarowych	15
1.4. Cel i zakres pracy	16
2. Podstawy fizyczne działania przetworników wiropądowych	
2.1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej	21
2.2. Podstawy matematyczne modelowania pól elektromagnetycznych – równania Maxwella	22
2.3. Potencjały pola elektromagnetycznego	25
2.4. Zjawisko naskórkowości	26
3. Klasyfikacja przetworników wiropądowych	
3.1. Kryteria klasyfikacji	29
3.2. Przetworniki parametryczne i generacyjne	33
3.2.1. Przetworniki parametryczne	33
3.2.2. Przetworniki generacyjne	36
3.3. Przetworniki transformatorowe z wyjściem prostym i różnicowym	38
3.4. Przetworniki wiropądowe w technologiach planarnych	39
4. Budowa przyrządu do badań wiropądowych	
4.1. Schemat blokowy	41
4.2. Wielkość mierzona i wielkości wpływające	41
4.3. Dobór częstotliwości pracy przyrządu. Dostrojenie toru pomiarowego	43

5.	Analiza pola elektromagnetycznego przetwornika wiroprowodowego dla materiału bez wad	
5.1.	Pole elektromagnetyczne wokół przetwornika wiroprowodowego umieszczonego nad materiałem przewodzącym homogenicznym izotropowym	45
5.2.	Rozwiązanie analityczne równań różniczkowych dla modelu jednozwojowego	46
5.3.	Model wielozwojowy	54
5.4.	Wyniki symulacji komputerowej	55
6.	Analiza pola elektromagnetycznego przetwornika wiroprowodowego dla materiału z wadą	
6.1.	Sformułowanie problemu	63
6.2.	Poszukiwanie funkcji Greena	65
7.	Analiza przetworników wiroprowodowych metodą elementów skończonych	
7.1.	Modele przetworników wiroprowodowych do analizy metodą elementów skończonych (MES)	67
7.2.	Model trójcewkowy, metoda reflektometryczna	69
7.3.	Model dwucewkowy, metoda transmisyjna	75
7.4.	Model wielocewkowy, metoda reflektometryczna	77
8.	Spektrum wartości własnych i czasów relaksacji układu „przetwornik wiroprowodowy – obiekt badany”	
8.1.	Zagadnienie obliczania wartości własnych w elektromagnetyzmie	83
8.2.	Obliczenia wartości własnych i funkcji własnych dla układu „przetwornik wiroprowodowy wielozwojowy – materiał przewodzący bez wady”	86
8.3.	Analiza spektrum wartości własnych i czasów relaksacji materiałów o różnych konduktywnościach i przenikalnościach magnetycznych	92
8.4.	Porównanie wartości własnych i rozkładu funkcji własnych układu dla materiału z wadą i bez wady, dla przetwornika wiroprowodowego wielocewkowego	96
8.5.	Analiza statystyczna zbioru wartości własnych	103

9. Wzorce do pomiarów wiropądowych	
9.1. Wymagania stawiane wzorcom	109
9.2. Wzorce konduktywności	110
9.3. Badania nad określeniem odległości między zaciskami prądowymi i napięciowymi dla czterozaciskowej metody pomiaru rezystancji	119
9.4. Wzorce defektów do zastosowań w defektometrii wiropądowej	122
9.5. Metody wytwarzania sztucznych wad wzorcowych dla defektometrii wiropądowej	124
9.6. Pomiar wymiarów wad wzorcowych	125
10. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych wiropądowych przyrządów pomiarowych	
10.1. Cyfrowy konduktometr wiropądowy z detektorem fazoczułym	129
10.2. Stanowisko badawcze do wykrywania i badania wad w metalach i stopach	131
10.3. Mikroprocesorowy defektometr wiropądowy	134
10.4. Wiropądowy przyrząd pomiarowy z cyfrową syntezą sygnału wzbudzenia	136
11. Detekcja i klasyfikacja wad z zastosowaniem sieci neuronowych	
11.1. Przedstawienie problemu	139
11.2. Wielowarstwowa sieć perceptronowa	140
11.3. Sieć neuronowa z neuronami o radialnych funkcjach bazowych	141
12. Podsumowanie	143
Literatura	147
Streszczenie	163
Summary	164