



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

ARIEL DZWONKOWSKI

METODA
DIAGNOSTYKI ŁOŻYSK
NA PODSTAWIE ANALIZY
PRZEBIEGÓW
PRĄDU I NAPIĘCIA
ZASILAJĄCEGO
SILNIK INDUKCYJNY

GDAŃSK 2018

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Janusz T. Cieśliński

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

Michał Szydłowski

REDAKTOR SERII

Zbigniew Krzemiński

RECENZENCI

Robert Hamus

Andrzej Wilk

REDAKCJA JĘZYKOWA

Agnieszka Frankiewicz

PROJEKT OKŁADKI

Jolanta Cieślawska

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem

www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog

zamówienia prosimy kierować na adres wydaw@pg.edu.pl

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej,
Gdańsk 2018

ISBN 978-83-7348-726-0

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	5
1. WSTĘP	9
2. WPROWADZENIE	11
3. PRZEGLĄD METOD DIAGNOSTYKI ŁOŻYSK W SILNIKACH INDUKCYJNYCH	13
3.1. Podstawowe informacje dotyczące diagnostyki łożysk	13
3.2. Budowa łożysk	13
3.3. Uszkodzenia łożysk	15
3.4. Wybrane metody diagnostyki łożysk	18
3.4.1. Metody wibroakustyczne diagnostyki łożysk	19
3.4.1.1. Pomiar emitowanych drgań	19
3.4.1.2. Pomiar impulsów udarowych	19
3.4.1.3. Pomiar emitowanego hałasu	21
3.4.1.4. Metoda obwiedni wysokoczęstotliwościowych	21
3.4.2. Metody prądowe diagnostyki łożysk	22
3.4.2.1. Metoda analizy widma prądu stojana w stanie pracy ustalonej	23
3.4.2.2. Statystyczna metoda adaptacyjna czasowo-częstotliwościowa	25
3.4.2.3. Metoda detekcji uszkodzeń łożysk z wykorzystaniem wektora Parka	26
3.5. Podsumowanie	28
4. NOWA METODA DIAGNOSTYKI ŁOŻYSK SILNIKÓW INDUKCYJNYCH	30
4.1. Proponowana metoda	30
4.2. Podstawy matematyczne proponowanej metody	31
4.3. Podsumowanie	35
5. BADANIA SYMULACYJNE	36
5.1. Wprowadzenie	36
5.2. Obwodowy model matematyczny silnika indukcyjnego	39
5.3. Wyniki badań obwodowego modelu matematycznego silnika indukcyjnego	39
5.3.1. Widmo mocy chwilowej dla silnika nieuszkodzonego	40
5.3.2. Widmo mocy chwilowej dla silnika uszkodzonego	41
5.3.2.1. Silnik z uszkodzeniem bieżni zewnętrznej łożyska	41
5.3.2.2. Silnik z uszkodzeniem bieżni wewnętrznej łożyska	43
5.3.2.3. Silnik z uszkodzeniem elementu tocznego łożyska	45
5.4. Podsumowanie	48
6. BADANIA EKSPERYMENTALNE USZKODZEŃ ŁOŻYSK Z WYKORZYSTANIEM NOWEJ METODY DIAGNOSTYCZNEJ	49
6.1. Sposób przeprowadzania badań nową metodą	49
6.2. Stanowisko badawcze	51
6.2.1. Część sprzętowa stanowiska badawczego	51
6.2.2. Część programowa stanowiska badawczego	55
6.3. Pomiar testowe	59
6.3.1. Pomiar wykonane wibrometrem laserowym	60
6.3.2. Pomiar wykonane systemem DREAM	62
6.3.3. Pomiar wykonane kamerą termowizyjną	63
6.3.4. Podsumowanie	63

6.4. Badania silników indukcyjnych z symulowanymi uszkodzeniami łożysk na podstawie analizy sygnałów elektrycznych	64
6.4.1. Widmo mocy chwilowej dla silnika nieuszkodzonego	65
6.4.2. Widmo mocy chwilowej dla silnika z uszkodzeniem łożyska symulowanym przez drgania wzbudnika o częstotliwości $f_H = 40$ Hz	65
6.4.3. Widmo mocy chwilowej dla silnika z uszkodzeniem łożyska symulowanym przez drgania wzbudnika o częstotliwości $f_H = 27,3$ Hz	66
6.4.4. Widmo mocy chwilowej dla silnika z uszkodzeniem łożyska symulowanym przez drgania wzbudnika o częstotliwości $f_H = 32$ Hz	67
6.4.5. Podsumowanie	68
6.5. Badania silników indukcyjnych z rzeczywistymi uszkodzeniami łożysk na podstawie analizy mocy chwilowej	69
6.5.1. Widmo mocy chwilowej dla silnika nieuszkodzonego	70
6.5.2. Widmo mocy chwilowej dla silnika z uszkodzeniem pierścienia zewnętrznego łożyska	71
6.5.3. Widmo mocy chwilowej dla silnika z uszkodzeniem pierścienia wewnętrznego łożyska	75
6.6. Podsumowanie	78
7. ANALIZA METROLOGICZNA UKŁADU POMIAROWEGO	81
7.1. Wstęp	81
7.2. Niepewność pomiaru mocy chwilowej w układzie z przetwornikiem napięcia i przetwornikiem prąd–napięcie	82
7.2.1. Niepewność pomiaru napięcia	83
7.2.1.1. Wariancja estymacji przekładni przetwornika napięciowego – $u^2(k_u)$	84
7.2.1.2. Wariancja pomiaru napięcia kartą akwizycji danych – $u^2(u_{wy})$	85
7.2.1.3. Wariancja złożona estymaty napięcia – $u^2(u)$	86
7.2.2. Niepewność pomiaru prądu	87
7.2.2.1. Wariancja estymacji przekładni przetwornika prąd–napięcie – $u^2(k_i)$	88
7.2.2.2. Wariancja złożona estymaty prądu – $u^2(i)$	89
7.2.3. Niepewność pomiaru mocy chwilowej	90
7.3. Niepewność pomiaru mocy chwilowej w układzie z bocznikiem i dzielnikiem napięcia	91
7.3.1. Niepewność pomiaru napięcia	92
7.3.1.1. Wariancja estymacji przekładni dzielnika napięciowego – $u^2(k_D)$	93
7.3.1.2. Wariancja złożona estymaty napięcia – $u^2(u)$	94
7.3.2. Niepewność pomiaru prądu	95
7.3.2.1. Wariancja estymacji przełożenia prądu na napięcie dla bocznika – $u^2(R_b)$	95
7.3.2.2. Wariancja złożona estymaty prądu – $u^2(i)$	96
7.3.3. Niepewność pomiaru mocy chwilowej	96
7.4. Podsumowanie	97
8. PODSUMOWANIE	98
BIBLIOGRAFIA	100
Streszczenie w języku polskim	104
Streszczenie w języku angielskim	105