

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Warszawa, dn. 15.11.2024 r.

Instytut Podstaw Budowy Maszyn

Politechniki Warszawskiej

**Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Roczka**

**pt.**

**„Metoda diagnozowania układów napędowych linii pras z zastosowaniem parametrów elektrycznych”**

*na zlecenie Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna*

*dr hab. Inż. Alicji Piaseckiej-Belkhat prof. P. Śl.*

**1. Wprowadzenie**

Diagnostyka techniczna w dobie rozwoju coraz bardziej zautomatyzowanych linii produkcyjnych staje się dziedziną wiedzy, której wykorzystanie jest niezbędne w każdym nowoczesnym zakładzie. Trudności ze znalezieniem relacji stan- symptom powodują, że badania w tym zakresie w dalszym ciągu mają charakter naukowy. Pan magister inżynier Krzysztof Roczek podjął się trudnego zadania opracowania systemu diagnostycznego linii produkcyjnej pras mechanicznych. Jest rzeczą oczywistą, że sprawnie działający taki system jest ze wszech miar użyteczny zwłaszcza w produkcji potokowej, a wybór metody diagnozowania o wysokim współczynniku pewności jest zadaniem trudnym. **Tym samym tematykę rozprawy należy za aktualną i mającą wysoki potencjał aplikacyjny.**

**2. Omówienie rozprawy**

Przedstawiona do oceny praca liczy 132 strony z czego 110 zasadniczego tekstu i 19 stron spisu literatury liczącego 252 pozycje (plus jednostronicowy załącznik). Praca podzielona jest na 12 rozdziałów i uzupełniona wykazem oznaczeń. Spis literatury można uznać za adekwatny i wystarczający, chociaż gdy autor odnosi się do diagnostyki eksploatacyjnej nieco brakuje prac z Politechniki Śląskiej i Warszawskiej, dotyczących modelowania elementów maszyn z uszkodzeniami doraźnymi.

Biurowo Dziekana

wpłynęło dnia 18.11.2024  
20241126 511 2024  
Zał.

W rozdziale 1 Autor przedstawił zakres pracy oraz jej cel, który stanowi opracowanie nowej metody diagnostycznej, umożliwiającej ocenę stanu technicznego układu napędowego prasy mechanicznej. Następnie w rozdziale 2 Autor przedstawia podstawowe informacje na temat typów pras dostępnych na rynku. Prasy zostały podzielone ze względu na różne rodzaje układów napędowych:

- prasy hydrauliczne
- prasy mechaniczne
- prasy z napędem typu serwo

Została również omówiona zasada działania poszczególnych typów pras wraz ze wskazaniem na charakterystyczne punkty związane z ruchem suwaka. Opisano zasadę działania silnika indukcyjnego oraz przemiennika częstotliwości, by w rozdziale 3 scharakteryzować podstawowe błędy oraz uszkodzenia tych komponentów z podziałem na uszkodzenia elektryczne i mechaniczne. Wskazano również główne przyczyny ich powstania. Następnie (rozdział 4) opisano metody diagnozowania silników indukcyjnych. Dokonano podziału na testy możliwe do wykonania podczas pracy oraz testy do przeprowadzenia w warunkach warsztatowych. Rozdział stanowi również wprowadzenie do metody diagnozowania silników z wykorzystaniem sygnatur prądowych. Zwrócono uwagę na różnice między układami sterowanymi i zasilanymi za pomocą przemienników częstotliwości oraz w sposób tradycyjny za pomocą styczników. W rozdziale 5 opisano problem diagnozowania układu napędowego prasy zasilanego za pomocą przemiennika częstotliwości. Wskazany został również pomysł Autora na wykorzystanie do tego celu hodografów Parka.

Na podstawie wymienionych wywodów, które można uznać za wprowadzenie czytelnika w problematykę, w rozdziale 6 Autor zdefiniował tezy pracy, które brzmią jak następuje:

- hodografy wektorów Parke'a mogą być wykorzystane do monitorowania i diagnostyki stanu trójfazowych silników indukcyjnych prądu przemiennego zasilanych falownikami;
- możliwa jest klasyfikacja stanu technicznego trójfazowego silnika indukcyjnego na podstawie hodografów wektora przestrzennego Parka przy użyciu metod przetwarzania obrazu, analizy i rozpoznawania wzorców;
- możliwe jest wykorzystanie hodografów wektora Parka do diagnostyki trójfazowych silników indukcyjnych zasilanych przez falownik;

- możliwe jest zastosowanie metod analizy obrazu hodografu wektora Parka w celu klasyfikacji stanu technicznego silnika indukcyjnego, a uzyskane cechy mogą być źródłem informacji diagnostycznej;

- cechy obrazów hodografów Parka mogą być wykorzystane do klasyfikacji stanu technicznego napędu prasy przy użyciu sieci neuronowych (ANN).

Poczynając od rozdziału 7 Autor rozpoczyna wykazanie słuszności powstałych tez. Definiuje przedmiot badań, a także omawia przeprowadzoną analizę krytyczności wykorzystującą metodę MFMEA.

W rozdziałach 8 i 9 omówiono poszczególne części systemu diagnostycznego z podziałem na układ pomiarowy, układ akwizycji danych oraz układ przetwarzający i interpretujący sygnały, a także szczegółowo opisano budowę wdrożonego systemu diagnostycznego z zastosowaniem przekładników prądowych oraz środowiska LabView wraz ze sterownikiem CompactRIO. Układ diagnostyczny został zintegrowany z systemem sterowania prasą. Autor zaimplementował metodę sygnatur prądowych do oceny stanu technicznego napędu. Zaprezentowany został także główny panel operatorski utworzony też w środowisku LabView.

W rozdziale 10 zidentyfikowano stany maszyny. Pomiarzy były realizowane na przestrzeni trzech lat. Do każdego stanu maszyny został przyporządkowany identyfikator, który później wykorzystano do klasyfikacji danych. Przedstawiono tutaj 2 różne podejścia. W pierwszym, stan maszyny po naprawie został sklasyfikowany jako osobny stan układu. W drugim Autor potraktował go jako ten sam stan zdatności.

Kluczowe dla pracy są rozdziały 11 i 12, w których Autor wskazał cechy relewantne poszczególnych sygnałów zidentyfikowane z wykorzystaniem metody Pearsona. Przedstawił również sposób analizy hodografów w środowisku National Instruments Visual Builder, co było podstawą do klasyfikacji danych z wykorzystaniem sieci neuronowych. Klasyfikacja została zrealizowana dla trzech oraz dla pięciu stanów maszyny.

We wnioskach autor potwierdził zdefiniowane tezy oraz wskazał na dalsze możliwości rozwoju przeprowadzonych badań. Przeprowadzone wywody należy uznać za logiczne, a udowodnienie postawionych tez za zrealizowane..

Pod względem edycyjnym praca nie budzi zastrzeżeń i właściwie dokumentuje wykonane badania.

### 3. Uwagi krytyczne i zapytania

Staranna lektura rozprawy składania do postawienia następujących pytań:

1. Informacje diagnostyczne Autor pozyskuje z obserwacji sygnałów prądowych. Jakie nowe wartości można uzyskać dzięki stosowaniu tak skomplikowanego przetwarzania sygnałów jak analiza hodografów Parka techniką rozpoznawania obrazów?
2. Czy zdaniem Autora można by istotnie zwiększyć pewność diagnozy obserwując równocześnie symptomy będące innym zjawiskiem fizycznym (np. drgania mechaniczne)?

### 3. Opinia końcowa

Z pełnym przekonaniem uważam, że wyniki i wnioski podane w pracy zawierają istotną wartość naukową. Autor wykazał się umiejętnością postawienia zadania i rozwiązania go na drodze eksperymentalnej poprawnie planując i wykonując skomplikowane badanie. Wykazał się przy tym rzetelną wiedzą z zakresu techniki pomiarowej i nowoczesnych metod cyfrowego przetwarzania sygnałów. Praca ma również duży potencjał aplikacyjny. Tematyka nie jest zamknięta i sugeruje kontynuację.

### Konkluzja

Uważam, że praca doktorska „Metoda diagnozowania układów napędowych linii pras z zastosowaniem parametrów elektrycznych” bez zastrzeżeń spełnia wymogi Ustawy i stawiam wniosek o dopuszczenie jej Autora Pana mgr inż. Krzysztofa Roczka do publicznej obrony.

