

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Rozprawa doktorska
Streszczenie

Mgr inż. Krzysztof Roczek

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

Promotor
Dr hab. inż. Marek Fidali, Prof. Pol.Śl.

Promotor pomocniczy
Dr inż. Tomasz Rogala

Gliwice, 2024

Obecnie silniki indukcyjne znajdują zastosowanie niemal we wszystkich gałęziach przemysłu. Dzieje się tak ze względu na ich wydajność, prostą konstrukcję, cenę, a także dostępność układów sterowania zapewniających prawidłową pracę. Oznacza to również, że w przypadku ich powszechnego stosowania, działanie wielu urządzeń uzależnione jest od ich niezawodności. Można tu wymienić wszystkie urządzenia dostarczane sterowane i napędzane silnikami elektrycznymi, jak np. pompy, wentylatory, przenośniki czy młyny. Z tego powodu w celu zapewnienia stabilnej funkcjonalności maszyn konieczne jest wczesne wykrywanie usterek. Awarie maszyn indukcyjnych można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. Pierwsza – wady nieodłączne, spowodowane są głównie siłami elektrycznymi lub mechanicznymi działającymi w maszynie. Zewnętrznym źródłem problemów mogą być uszkodzenia uzwojeń lub łożysk, pęknięte pręty wirnika i mimośrodowość.

Mając na uwadze konieczność zapewnienia ciągłości produkcji oraz wysokie koszty potencjalnych postojów w produkcji, rozprawa doktorska ma celu opracowanie metody diagnozowania układ napędowego prasy z wykorzystaniem parametrów elektrycznych. Cała praca i analiza powstała z wykorzystaniem realnego obiektu przemysłowego, jakim jest prasa mechaniczna. W pierwszym kroku została przeprowadzona analiza krytyczności metodą MFMEA (Machinery Failure Modes and Effects Analysis), mająca na celu wskazanie najbardziej krytycznego układu maszyny z punktu widzenia ciągłości produkcji. Autor rozprawy dobrał i zainstalował na prasie komponenty umożliwiające akwizycję danych, a także połączył je z systemem sterowania prasą. Wykorzystana do tego celu została sieć DeviceNet, jako dominująca na tej linii produkcyjnej. Dodatkowo konieczna była modyfikacja programu sterowania prasą w celu wypracowania sygnału rozpoczynającego pomiar prądu pobieranego przez silnik główny. Pomiar ten był realizowany przez przekładniki prądowe zainstalowane pomiędzy przemiennikiem częstotliwości a silnikiem głównym, a sama akwizycja oraz analiza sygnałów jest oparta na komponentach National Instruments CompactRio oraz oprogramowaniu LabView. Każdy pomiar był realizowany w górnym punkcie prasy. Uzyskano dzięki temu takie same warunki pomiarowe i wyeliminowano wpływ operacji zaprzęgnięcia oraz tłoczenia na cykl pomiarowy. Pomiar był realizowany z częstotliwością samplowania 100 kHz. Sam pomiar trwał 0,1 s, co daje 10 000 próbek.

Do samej analizy wykorzystano wektory Park'a, dzięki którym wygenerowano hodografy. Przegląd literatury potwierdził duży potencjał w tej metodzie w zakresie diagnostyki mapędów. Dodatkowo zauważono, że wiele publikacji dotyczy analizy hodografów dla układów zasilanych z sieci zasilającej 50 Hz. Badany układ napędowy jest przemysłowym systemem

zasilanym jest z falownika częstotliwości, co wskazuje to na lukę badań w podanym obszarze i możliwość uzupełnienia jej poprzez badania podjęte w rozprawie. Wiele publikacji wskazuje również na możliwość wykorzystania hodografów Parka'a w diagnostyce silników asynchronicznych, jednak brakuje wskazania dokładnych parametrów, które mogą posłużyć do takiej analizy. Stanowiło to motywację do dalszej analizy. Na tej podstawie sformułowano następujące tezy:

- Hodografy wektorów Parka mogą być wykorzystywane 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 do analizy hodografu wektora Parka w celu klasyfikacji stanu technicznego silnika indukcyjnego, a uzyskane cechy mogą być źródłem informacji diagnostycznej.
- Cechy obrazów hodografów Parka mogą być wykorzystywane do klasyfikacji stanu technicznego napędu prasy przy użyciu sztucznych sieci neuronowych (ANN).

W pierwszym kroku zdefiniowane zostały stany maszyny. Przyjęto 2 podejścia:

- 1) każdy stan po naprawie układu był traktowany jako osobny stan techniczny;
- 2) każdy stan po naprawie układu był traktowany jako jeden stan techniczny (stan sprawny)

Analizę rozpoczęto od podzielenia danych na trenujące, testujące i walidujące oraz wygenerowania hodografów dla wszystkich zrealizowanych pomiarów. W kolejnym etapie hodografy zostały poddane analizie w oprogramowaniu National Instruments Vision Builder. Hodografy zostały potraktowane jak obrazy i obliczono cechy dla ich konturu zewnętrznego jak i konturu wewnętrznego. Obliczono również parametry dla przebiegów czasowych natężenia prądu elektrycznego. W kolejnym etapie liczba danych została zredukowana za pomocą macierzy korelacji Pearsona, która to pozwoliła na wyznaczenie cech relewantnych. Cechy te zostały wyznaczone dla sygnałów natężenia prądu silnika, konturu zewnętrznego oraz konturu wewnętrznego. W kolejnym kroku nastąpiła klasyfikacja danych z wykorzystaniem sieci neuronowych. Klasyfikacja była prowadzona dla obliczonych cech relewantnych, dla

pięciu i trzech wyjść. Wyniki pokazały, że cechy relewantne i analiza hodografów umożliwiają przeprowadzenie analizy stanu technicznego układu napędowego prasy mechanicznej.

Wdrożenie sieci neuronowych do klasyfikacji danych jest odpowiednią metodą dla analizowanego przypadku, aby poprawnie klasyfikować dane. Ostateczne wyniki opierały się na analizie parametrów sygnałów czasowych oraz cech hodografów (konturu i części wewnętrznej). Celem było wdrożenie efektywnego systemu rozpoznawania stanu w rzeczywistym obiekcie przemysłowym. Dzięki przeprowadzonym analizom można zaobserwować, że wartości zrównoważonej czułości dla trzech stanów istotnych cech wewnętrznej części hodografów oraz sygnałów prądowych wynoszą odpowiednio ponad 78% i 74%. Całe badanie pokazuje również, że dobrą praktyką jest zmniejszenie liczby stanów maszyny i przypisanie jednego stanu technicznego po jej remoncie. Co więcej, eksperyment pokazuje, że warto wybrać istotne cechy w celu zmniejszenia liczby parametrów do analizy. W większości analizowanych przypadków wartości zrównoważonej precyzji oraz zrównoważonej czułości były na zadowalającym poziomie. Badania wykazały również, że analiza zewnętrznej części hodografu nie dała zadowalających wyników. Z przemysłowego punktu widzenia rozsądne jest zmniejszenie liczby parametrów poprzez wyznaczenie cech relewantnych, a także zakwalifikowanie stanów maszyny po naprawach jako tego samego stanu technicznego. Przeprowadzone badania umożliwiły potwierdzenie wszystkich postawionych wcześniej tez.

Całe badanie mogłoby również uwzględniać klasyfikację wszystkich obliczonych cech i parametrów sygnałów prądowych. Niestety, z powodu małej liczby pomiarów duża liczba wejść powodowałaby, że liczba parametrów sieci neuronowej stosunku do liczby przykładów uczących byłaby znacząca. Z tego samego powodu nie sklasyfikowano całych hodografów z wykorzystaniem sieci neuronowych.