

## Streszczenie

W niniejszej rozprawie noszącej tytuł „**Metody uczenia maszynowego w diagnostyce uzwojenia stojana silnika indukcyjnego z wykorzystaniem polowego modelu zjawisk elektromagnetycznych**„, zbadano możliwość zastosowania polowego modelu zjawisk elektromagnetycznych oraz metod uczenia maszynowego w diagnostyce uzwojenia stojana maszyny indukcyjnej. Celem zrealizowanych badań była poprawa niezawodności pracy trójfazowych silników indukcyjnych poprzez wdrożenie do procesu diagnostycznego modelu polowego trójfazowego silnika indukcyjnego oraz konwolucyjnej sieci neuronowej. Na podstawie kompleksowej analizy literatury, autor szczegółowo omówił aktualne metody diagnostyczne, metody przetwarzania sygnału, a także modele matematyczne trójfazowych silników indukcyjnych w ujęciu obwodowym i polowym, z uwzględnieniem uszkodzeń uzwojenia stojana.

W ramach badań opracowano i zweryfikowano polowo-obwodowe modele trójfazowych silników indukcyjnych. Ponadto autor zestawiał metody i równania opisujące rozkład pola elektromagnetycznego za pomocą potencjałów skalarnych i wektorowych. Opracowane modele umożliwiły wyznaczenie oraz analizę przebiegów prądów fazowych trójfazowego silnika indukcyjnego, bez oraz z uwzględnieniem zwarć międzyzwojowych we wszystkich fazach rozpatrywanej maszyny. Przeprowadzono analizę wyników badań symulacyjnych, tworząc na ich podstawie bazę danych zawierającą przebiegi prądów fazowych. Dokonano eksperymentalnej weryfikacji utworzonego modelu polowego silnika indukcyjnego. Dodatkowo, w ramach pracy omówiono metody uczenia maszynowego stosowane w diagnostyce silników elektrycznych, ze szczególnym uwzględnieniem głębokich sieci neuronowych. W ramach badań opracowano autorskie oprogramowanie do wizualizacji struktury, treningu, strojenia hiperparametrów i analizy wyników konwolucyjnych sieci neuronowych. Przeanalizowano wpływ rodzaju danych treningowych i strojenia hiperparametrów na wyniki detekcji i klasyfikacji zwarć międzyzwojowych uzwojenia stojana silnika indukcyjnego. Dokonano szczegółowej analizy otrzymanych wyników oraz omówiono ich wpływ na efektywności klasyfikacji utworzonych modeli konwolucyjnych sieci neuronowych. Osiągnięcia zaprezentowane w rozprawie stanowią podstawę dla dalszych prac nad zagadnieniem zastosowania głębokich sieci neuronowych do wczesnej diagnostyki trójfazowych silników indukcyjnych.

Konrad Gajda

## **Abstract**

In this doctoral dissertation titled "Machine learning methods in the diagnostics of induction motor stator windings using a field model of electromagnetic phenomena" the possibility of applying a field model of electromagnetic phenomena and machine learning methods in the diagnostics of induction motor stator windings was investigated. The aim of the conducted research was to improve the reliability of three-phase induction motors by implementing a field model of a three-phase induction motor and a convolutional neural network into the diagnostic process. Based on a comprehensive literature review, the author thoroughly discussed current diagnostic methods, signal processing methods, as well as mathematical models of three-phase induction motors in circuit and field approaches, taking into account stator winding faults.

As part of the research, field-circuit models of three-phase induction motors were developed and verified. Additionally, the author compiled methods and equations describing the distribution of the electromagnetic field using scalar and vector potentials. The developed models enabled the determination and analysis of the phase currents of a three-phase induction motor, both with and without considering inter-turn short circuits in all phases of the considered machine. A simulation analysis of the research results was conducted, creating a database containing phase current waveforms based on the findings. An experimental verification of the developed field model of the induction motor was also carried out.

Furthermore, the dissertation discussed machine learning methods used in the diagnostics of electric motors, with a particular emphasis on deep neural networks. Proprietary software was developed within the research for visualizing the structure, training, hyperparameter tuning, and analyzing the results of convolutional neural networks. The impact of the type of training data and hyperparameter tuning on the results of inter-turn short circuit detection and classification of the induction motor stator winding was analyzed. A detailed analysis of the obtained results was conducted, and their impact on the classification efficiency of the developed convolutional neural network models was discussed. The achievements presented in the dissertation form the basis for further work on the application of deep neural networks for the early diagnostics of three-phase induction motors.

Konrad Górnig