

Od napędów elektrycznych stosowanych w różnych gałęziach przemysłu, a zwłaszcza w obszarze związanym z elektromobilnością, wymaga się spełnienia norm bezpieczeństwa. Z tych względów każdy element napędu elektrycznego powinien być na bieżąco diagnozowany podczas jego pracy. Interesującym zagadnieniem, które zyskuje na popularności jest sterowanie odporne na uszkodzenia (ang. FTC – Fault Tolerant Control), które ma na celu zapewnienie na bieżąco diagnostyki pracy układu oraz jego elementów wykonawczych, a w razie wykrycia usterki podejmowane są odpowiednie działania pozwalające na dalszą pracę układu. Jednym z kluczowych elementów stosowanych w napędach elektrycznych są czujniki prądu, dzięki którym możliwe jest precyzyjne sterowanie momentem silnika elektrycznego poprzez sprzężenia zwrotne. Ze względu na oferowane możliwości, a także stosunek jakości do ceny, popularnie stosowane są czujniki wykorzystujące zjawisko Halla do pomiaru prądu.

Do tej pory diagnostyka czujników prądu opierała się na wykorzystaniu prostych modeli matematycznych, które symulowały działanie czujnika prądu, a także jego uszkodzony stan pracy. Zasada działania tego elementu jest jednak bardziej skomplikowana, a sam opis matematyczny zjawisk fizycznych, które zachodzą podczas pomiaru wymaga stosowania zaawansowanego aparatu matematycznego.

Modele matematyczne czujników prądu z efektem Halla uwzględniające te zjawiska są używane do celów związanych z projektowaniem nowych konstrukcji czujników. Do tej pory jednak ich rola się na tym kończyła, a w obszarze związanym z diagnostyką uszkodzeń czujników prądu tego typu modele nie były wcześniej stosowane. W niniejszym projekcie badawczym planowane jest rozszerzenie istniejących modeli matematycznych tych czujników o możliwość symulowania ich uszkodzeń, a następnie wykorzystanie tak opracowanych modeli do generowania wzorców treningowych dla sztucznych sieci neuronowych, których celem będzie detekcja i klasyfikacja rzeczywistych uszkodzeń czujników prądu.

W ramach niniejszego projektu opracowane zostaną modele matematyczne uszkodzeń czujników prądu takich jak zmiana wzmocnienia, offset, nasycenie, co odbędzie się na podstawie serii pomiarów, które zostaną przeprowadzone na zbudowanym w ramach projektu stanowisku badawczym. Czujniki prądu z efektem Halla będą poddawane różnego rodzaju uszkodzeniom (wpływ temperatury, zakłócenie zewnętrznym polem elektromagnetycznym, zmiana napięcia zasilania, uszkodzenia mechaniczne, przetężenia prądu), a zebrane dane pomiarowe zostaną dokładnie opisane, skatalogowane, a następnie udostępnione w ramach otwartych zasobów. Rezultatem badawczym tych działań będzie poszerzenie aktualnego stanu wiedzy na temat wpływu warunków środowiskowych na działanie czujników prądu.

Do modelowania matematycznego uszkodzeń zostaną wykorzystane opisane w dostępnej literaturze zaawansowane modele czujników prądu z efektem Halla. Modele te zostaną rozbudowane o możliwość symulowania poszczególnych uszkodzeń. Badania symulacyjne wykonane zostaną w środowisku MATLAB/Simulink, dzięki czemu kod programu i uzyskane w ramach badań modele będą mogły również zostać udostępnione w środowisku naukowym. Weryfikacja poprawności działania uzyskanych w ten sposób nowych modeli uszkodzeń odbędzie się poprzez porównanie wyników symulacji do pomiarów eksperymentalnych z wykorzystaniem metod statystycznych.

W ostatnim etapie badań nowo opracowane modele uszkodzeń czujników prądu zostaną wykorzystane do generowania wzorców treningowych dla sztucznych sieci neuronowych, takich jak perceptron wielowarstwowy, LSTM, CNN, których zadaniem będzie detekcja oraz klasyfikacja uszkodzeń czujników prądu. Proces treningu odbędzie się zatem symulacyjnie z użyciem opracowanych modeli uszkodzeń czujnika, a weryfikacja działania systemu detekcji i klasyfikacji odbędzie się na rzeczywistym stanowisku pomiarowym. Badania zostaną przeprowadzone również w warunkach pracy napędu elektrycznego z silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych, z uszkodzonymi czujnikami prądu.

Pozytywne wyniki badań przyczynią się do zwiększenia wiedzy na temat natury powstawania uszkodzeń czujników prądu, a także symptomów tych uszkodzeń. Ważnym aspektem, jest również skrócenie procesu treningu sieci neuronowych, które wymagają zazwyczaj znacznej liczby danych treningowych. Opracowane w ramach projektu modele matematyczne uszkodzeń pozwolą na bezinwazyjne generowanie wzorców treningowych dla neuronowych detektorów i klasyfikatorów uszkodzeń. Przyczyni się to do redukcji kosztów związanych z procesem treningu sztucznych sieci neuronowych do tego typu zastosowań, ponieważ model symulacyjny będzie w stanie zastąpić rzeczywiste czujniki, których nie trzeba będzie fizycznie uszkadzać.