

Diagnostyka uszkodzeń silników synchronicznych z magnesami trwałymi z wykorzystaniem głębokich sieci neuronowych i uczenia transferowego

Rozwój nowoczesnych przedsiębiorstw zgodnie z ideą przemysłu 4.0 bezpośrednio wymusza konieczność opracowywania w pełni zintegrowanych układów, w których rola człowieka (eksperta) jest stopniowo ograniczana na rzecz zautomatyzowanych systemów informatycznych. Połączenie najnowszych osiągnięć dziedziny informatyki, neuronauki, a także klasycznej elektrotechniki umożliwia opracowanie narzędzi zapewniających bezpieczeństwo, jak również przyczyniających się do zwiększenia niezawodności układów elektromechanicznych. Obecnie we współczesnych układach napędowych stosowanych w wielu gałęziach przemysłu oraz w zastosowaniach komercyjnych coraz częściej wykorzystywane są silniki synchroniczne z magnesami trwałymi (PMSM). Fakt ten powiązany jest z dynamicznym rozwojem metod sterowania tymi maszynami dzięki upowszechnieniu układów mikroprocesorowych. Stosowane bowiem przemienniki częstotliwości, stanowiące kluczowy element układów napędowych, zapewniają wydajną pracę silnika, umożliwiają łagodny rozruch oraz płynną regulację prędkości z zachowaniem dużego momentu obciążenia. Niemniej jednak pomimo wysokiej jakości układów sterowania silnikami PMSM nie są one w pełni odseparowane od czynników wpływających na ich stan techniczny. W związku z powyższym, podczas ich eksploatacji w przemysłowych układach napędowych, mogą powstawać różnego rodzaju defekty, ograniczające lub uniemożliwiające dalszą pracę maszyny.

Obecnie jednym z głównych aspektów podczas doboru elementów składowych układów napędowych jest ich niezawodność, a przede wszystkim możliwość ciągłego monitorowania w czasie rzeczywistym. Tylko wówczas realne jest zapewnienie wysokiej wydajności produkcji, szybkiej reakcji na awarie, a także efektywna oraz łatwa obsługa całej linii. Ponadto, trend ciągłego doskonalenia zautomatyzowanych układów elektromechanicznych obserwowany jest obecnie na szeroką skalę zarówno w zastosowaniach przemysłowych, jak i dziedzinach związanych z elektromobilnością.

Pomimo wielu podobieństw pomiędzy silnikami elektrycznymi, nie jest możliwe bezpośrednie przeniesienie systemów diagnostycznych z jednej na drugą maszynę. Problem uniwersalności systemu zauważalny jest szczególnie w przypadku wczesnej detekcji uszkodzeń maszyn o różnych parametrach znamionowych. W związku z powyższym istnieje realna potrzeba opracowania uniwersalnych systemów diagnostycznych, których sposób działania umożliwia zmianę rodzaju silnika lub jego parametrów znamionowych. Co więcej, uniwersalny system zapewniałby pełne wykorzystanie informacji pochodzących z modeli matematycznych obiektów. Dzięki czemu implementacja nowych funkcji systemu (rozpoznawanie innego rodzaju uszkodzenia) nie wymagałaby fizycznego uszkodzenia obiektu. Fakt, ten ma szczególne znaczenie w przypadku silników dużej mocy, w których fizyczne modelowanie uszkodzeń wiąże się z wysokim niebezpieczeństwem.

Spełnienie powyższych wymagań dotyczących systemów diagnostycznych może być realizowane przy zastosowaniu głębokich struktur neuronowych, których proces treningu przeprowadzany jest zgodnie z ideą uczenia transferowego. Uczenie transferowe jest techniką polegającą na wykorzystaniu cech systemu nabytych podczas procesu treningu dla jednego problemu, w innym, ale pokrewnym zadaniu. Takie podejście stwarza szansę na opracowanie uniwersalnych (stosowanych dla różnych rodzajów silników elektrycznych) oraz skalowalnych (stosowanych dla maszyn o różnych parametrach znamionowych) systemów diagnostycznych silników prądu przemiennego.

Celem projektu badawczego jest opracowanie i weryfikacja (symulacyjna oraz eksperymentalna) nowoczesnych metod diagnostyki uszkodzeń silnika synchronicznego z magnesami trwałymi (PMSM) przy wykorzystaniu uczenia transferowego głębokiej sieci neuronowej. Zakres prac badawczych obejmuje analizę uszkodzeń magnesów trwałych oraz zwarć w uzwojeniach stojana silnika PMSM, a także uszkodzeń mieszanych. Wobec destrukcyjnego charakteru oraz wysokiej dynamiki postępowania analizowanych uszkodzeń silnika PMSM szczególną uwagę skupiono na zapewnieniu bardzo szybkiej detekcji defektów na możliwie wczesnym etapie. Wynika to zarówno w szybkiej eskalacji uszkodzeń uzwojeń stojana, jak również niekorzystnego wpływu na stan techniczny magnesów trwałych. W związku z tym w badaniach zastosowano bezpośrednią analizę wielkości mierzonych z pominięciem znanych metod analizy sygnałów. Takie podejście umożliwia wielokrotne skrócenie czasu reakcji systemu diagnostycznego na zaistniałe uszkodzenie. W ramach niniejszego projektu zakłada się opracowanie systemów diagnostycznych bazujących na głównie na głębokich sieciach konwolucyjnych. Zastosowanie techniki uczenia transferowego głębokich sieci konwolucyjnych zapewni precyzyjną oraz szybką diagnostykę uszkodzeń PMSM. Ponadto neuronowe detektory uszkodzeń silników elektrycznych bazujące na metodach uczenia transferowego zapewnią uniwersalność oraz skalowalność aplikacji diagnostycznych.