

Automatyka zabezpieczeniowa silników średniego napięcia z funkcjami predykcji uszkodzeń

Streszczenie

Przyczyny usterek silnika i napędu nie ograniczają się tylko do jednej dziedziny techniki. Zarówno mechaniczne, jak i elektryczne usterki mogą doprowadzić do awarii silnika, a więc posiadanie odpowiedniej wiedzy decyduje o poprawie niezawodności działania silnika a jego kosztownym przestojem. W artykule scharakteryzowano wybrane uszkodzenia silników oraz przedstawiono opracowane w ramach prac badawczych zabezpieczenie silnika średniego napięcia, które umożliwia predykcję uszkodzenia: kłatek wirnika i stopnia jego degradacji, łożysk oraz sprzęgu silnika z maszyną napędzaną. W artykule przedstawiono wyniki prac badawczo-rozwojowych przeprowadzonych w firmie Elektrometal Energetyka S.A. nad zabezpieczeniami predykcyjnymi silników SN opartymi o analizę zdudnień.

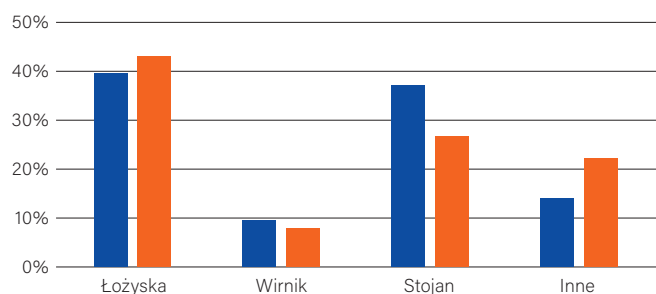
Wstęp

Silniki asynchroniczne są szeroko stosowane w bardzo wielu gałęziach przemysłu. Ich stosowanie jest powszechne z uwagi na ich cechy, takie jak: prostota konstrukcji i obsługi, bezawaryjność, duża odporność na czynniki zewnętrzne. Są one stosowane zarówno jako napędy indywidualne, jak również wchodzą w skład bardziej złożonych układów, np. linie technologiczne.

Zarówno mechaniczne, jak i elektryczne usterki mogą doprowadzić do awarii silnika, a więc posiadanie odpowiedniej wiedzy decyduje o poprawie niezawodności działania silnika a jego kosztownym przestojem.

Ciepłone i dynamiczne procesy występujące w trakcie rozruchu silnika są głównymi czynnikami powodującymi zużycie i niszczenie elementów wirnika, w postaci kłatek i pierścieni zwierających. Łożyska to jedna z najważniejszych części z jakich zbudowany jest silnik elektryczny, od ich jakości zależy będzie jego bezawaryjna praca w maszynie. Stanowią jedyny element ruchomy, który może ulec uszkodzeniu pociągając za sobą uszkodzenie innych części silnika. Przekładnie, jako element sprzęgu silnika z maszyną pracujący zazwyczaj na dużych obciążeniach cechują się niską awaryjnością. Sprzęg może ulec awarii z powodu nieprawidłowej konstrukcji całego urządzenia bądź źle przeprowadzonego montażu danego elementu, jak również w wyniku negatywnego oddziaływania pozostałych podzespołów w postaci zwiększonego poziomu drgań lub niewłaściwej osiowości.

Dostępna na rynku diagnostyka wymienionych uszkodzeń opiera się o analizy falowe występowania pewnych częstotliwości harmonicznych w prądzie silnika, według literatury są to metody



Rys. 1. Statystyka uszkodzeń silników opracowana przez: kolor niebieski EPRI [1] oraz kolor pomarańczowy IEEE-IAS [2]

obarczone dużym błędem około 20%. Wymagają obróbki sygnałów prądowych z częstotliwością rzędu kiloherców. Występują jako dodatkowe moduły do analizy uszkodzeń silników, charakteryzują się bardzo dużym kosztem dla jednostkowego urządzenia chronionego.

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczo-rozwojowych przeprowadzonych w firmie Elektrometal Energetyka S.A. nad zabezpieczeniami predykcyjnymi silników SN opartymi o analizę zdudnień.

Wybrane uszkodzenia silników średniego napięcia

Silniki stanowią ważny element systemu produkcyjnego, dlatego sposób podejścia do ich eksploatacji zwykle odbiega od tego, który jest stosowany dla pozostałych elementów Systemu Elektroenergetycznego. Uszkodzenie silnika może doprowadzać do ogromnych strat produkcyjnych, znacznie przewyższających koszty jego naprawy. Na rys. 1 przedstawiono statystykę uszkodzeń silników z rozruchem bezpośrednim, wykonaną przez EPRI [4] na próbie 6312 silników SN oraz przez IEEE-IAS [5] na próbie 1141 silników SN.

Ochronę silnika w sytuacji zjawisk szybkozmiennych realizują dedykowane przekaźniki zabezpieczeniowe, na podstawie analizy mierzonych prądów i napięć w polu chronionego silnika. Skutkiem ich działania może być wyłączenie silnika. Zjawiska wolnozmiennne są monitorowane zarówno przez zabezpieczenia, jak i dodatkowe pomiary temperatury oraz drgań.

Uszkodzenie kłatek

Wczesne wykrycie degradacji klatki jest bardzo ważne, gdyż tego typu uszkodzenie może doprowadzić silnik do poważnej i kosztownej naprawy na skutek zwiększonych drgań przyspieszających zużycie łożysk, przegrzania silnika lub mechanicznego uszkodzenia. Na tego typu uszkodzenia podatne są szczególnie silniki z rozruchem ciężkim, pulsacyjnym obciążeniem (np. kompresory) lub posiadające defekt fabryczny.

Uszkodzenie łożysk

Uszkodzenie łożysk od samego początku powoduje efekt kaskadowy przyspieszający awarię silnika. 13% usterek silnika jest spowodowanych przez uszkodzenie łożysk, a w zakładach



Rys. 2. Widok uszkodzonego wirnika, rozerwane połączenia czołowe prętów i pierścienia [3].



Rys. 3. Widok uszkodzonego łożyska w silniku, uszkodzone bieżnie, pęknięty koszyk i brak części kulek [4].

ponad 60% uszkodzeń mechanicznych to rezultat zużycia łożysk. Dlatego też umiejętność rozwiązywania tego problemu jest bardzo ważna.

Jedną z głównych przyczyn uszkodzenia łożyska jest zbyt wysokie napięcie wału silnika przekraczające zdolności izolacyjne smaru do łożysk, konsekwencją czego jest wystąpienie przebicia prądu na pierścieni zewnętrzny łożyska powodujące korozję wżerową i wyżłobienia na bieżniach łożysk. Dodatkowe przyczyny to słaba jakość stosowanych łożysk oraz czynniki zewnętrzne – niesioślawość osadzenie.

Uszkodzenie sprzęgu

Przekładnie są elementami odpowiedzialnymi za przenoszenie napędu przy pomocy minimum dwóch współpracujących ze sobą kół. Mimo pracy na dużych obciążeniach regularnie serwisowane przekładnie cechują się niską awaryjnością. Częstym powodem uszkodzenia przekładni (sprzęgu) jest nieprawidłowa eksploatacja urządzenia lub maszyny. Wiąże się ona z nadmiernym obciążeniem konkretnego sprzętu, przekroczeniem przewidywanego czasu eksploatacji, wadami materiałowymi lub niewłaściwym smarowaniem.

Zabezpieczenie silnika średniego napięcia z funkcją predykcji uszkodzeń

Optymalizacja kosztów i wdrożenie nowoczesnych strategii utrzymania ruchu pod wpływem rozwoju możliwości technicznych to cele które stawia przed sobą wiele firm. Celem tych



Rys. 4. Widok uszkodzonej przekładni zębatej sprzęgu w postaci wyłamania dwóch zębów i uszkodzenia powierzchni trzeciego [5].

działań jest wcześniejsze wykrywanie awarii lub czynników, które do awarii mogą doprowadzić, tak, aby najpóźniej w momencie planowanego przestoju instalacji technologicznej móc interweniować i w ten sposób rozwiązać problem.

Odpowiedzią firmy Elektrometal Energetyka S.A. w ramach Strategii Proaktywnej, opartej o zbieranie danych, pozyskiwania z nich odpowiedniej informacji oraz dedykowane modele oparte o sztuczną inteligencję jest opracowanie innowacyjnego zabezpieczenia silnika średniego napięcia opartego o analizę zdudnień. Zbudowane w ramach prac badawczych algorytmy umożliwiają predykcję uszkodzeń: kłatek wirnika i stopnia jego degradacji, łożysk oraz sprzęgu silnika z maszyną napędzaną, tworząc system monitorowania stanu i diagnostyki on-line chronionego urządzenia.

Opracowane rozwiązanie dedykowane jest do sterowników polowych e²TANGO-600-1200 [rys.5] i nie wpływa na sposób przetwarzania i częstotliwości próbkowania sygnałów prądowych w urządzeniu, dodatkowa innowacją na poziomie oprogramowania jest wyposażenie sterownika polowego w drugi rejestrator zakłóceń. Jest on sterowany bezpośrednio przez opracowane algorytmy predykcyjne i dostarcza im bezpośrednio danych o stanie chronionego obiektu.

Zadania diagnostyczne w prezentowanym rozwiązaniu realizuje przełącznik zabezpieczeniowy silnika, w oparciu o analizę mierzonych przez niego parametrów elektrycznych, zarejestrowanych przez rejestrator zakłóceń przebiegów prądów fazowych w różnych fazach pracy silnika: rozruch i praca ustalona. Opracowane algorytmy predykcyjne poprzez porównywanie różnych przetworzonych informacji, zebranych w czasie pracy silnika, pozwalają wykrywać pogarszanie się jego stanu technicznego i sygnalizować obsłudze konieczność interwencji w dogodnym momencie dla procesu produkcyjnego.

Zaletą opracowanego rozwiązania, na tle konkurencji, jest brak konieczności wpisywania do algorytmu parametrów technicznych chronionego silnika. Algorytmy są od razu gotowe do pracy, aby od samego początku uzyskać wymaganą dokładność klasyfikacji na poziomie powyżej 95% wymagają jedynie przeprowadzenia kilku rozruchów chronionego silnika, zarejestrowane przebiegi służą do automatycznej kalibracji algorytmów i ustalenia punktów charakterystycznych. Zalety nowego rozwiązania, to:

- szybki algorytm oparty o wyszukiwanie zdudnień zaimplementowany w sterownik polowy do zabezpieczenia silnika;
- algorytm skuteczny i pewny już w fazie inkubacji uszkodzenia (pęknięty pierścień lub pojedyncze pręty wirnika);



Rys.5. Widok sterownika polowego e²TANGO-800 zabezpieczającego pole silnikowe.

- analiza dostępnych przebiegów prądów w sterowniku polowym bez konieczności zwiększania częstotliwości próbkowania;
- niskie koszty proponowanego rozwiązania;
- łatwą możliwość dostosowania starszych wersji urządzeń zabezpieczeniowych poprzez wgranie nowego oprogramowania.

W chwili obecnej, opracowane algorytmy wraz z drugim rejestratorem zakłóceń zostały zaimplementowane w sterowniku polowym e²TANGO-800 i przechodzą testy w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych. Uzyskano skuteczność predykcji na poziomie powyżej 95%. Dostępność opracowanego zabezpieczenia w sprzedaży jest przewidywana w pierwszym kwartale 2024 roku. Wyniki prac badawczych zostały zastrzeżone w zgłoszeniu, w Urzędzie Patentowym RP.

Wnioski

Opracowane w wyniku prac badawczych algorytmy predykcyjne umożliwiają wykrywanie uszkodzeń silników w fazie inkubacji, umożliwiając służbom utrzymania ruchu zaplanowanie przesto- jów i remontów maszyn zanim ulegną one uszkodzeniu oraz do- prowadzą w konsekwencji do strat materialnych.

Obecne możliwości obliczeniowe pozwalają zabezpieczeniom silników na realizację funkcji diagnostycznych i predykcyjnych ochranianego obiektu. Korzystniej jest stosować diagnostykę, niż czekać na skutki awarii, zwłaszcza że koszty naprawy i ewentualnego przestoju maszyny napędzanej w fazie degradacji mogą być znacznie niższe.

Literatura

1. Albrecht P.F., Appiar ius J.C., Sharma D.K.: Assessment of the reliability of motors in utility applications – Updated. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 1, pp. 29–46, 1986.
2. Report I.C.: Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations. Part I and Part II, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 21, pp. 853–872, 1985.
3. Strona internetowa: <https://www.aminex24.pl/galeria/>
4. Strona internetowa: <https://silnik-elektryczny.com.pl/lozyska/lozyska-silnikach-elektrycznych/>
5. Strona internetowa: <https://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/magazyn/194-f2020/2755-naprawa-przekladni-zebatych-wybrane-zagadnienia/>
6. Nowicki R.: Monitorowanie online stanu technicznego izolacji silników indukcyjnych. „Napędy i Sterowanie” 5/2014.
7. Sajewicz D., Chmielak W., Laguna W.: Wykrywanie zdarzeń awaryjnych w silnikach asynchronicznych SN na podstawie analizy danych z rejestratorów zakłóceń. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 99 NR 1/2023.

dr inż. Dariusz Sajewicz
Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

mgr inż. Mariusz Radziszewski
Elektrometal Energetyka S.A., Warszawa

W artykule zaprezentowano wyniki badań przemysłowych i prac rozwojowych zrealizowanych przez firmę Elektrometal Energetyka S.A. w ramach projektu:

„Budowa zintegrowanych systemów wspomagających i optymalizujących prace oraz bezpieczeństwo rozdzielnic SN” PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO W RAMACH Osi Priorytetowej I „Wykorzystanie działalności badawczo – rozwojowej w gospodarce” REGIONALNEGO PROGRAMU OPERACYJNEGO WOJEWÓDZTWA MAZOWIECKIEGO na lata 2014-2020”