



Diagnostyka izolacji silników

Częstym powodem uszkodzeń silników elektrycznych jest postępująca w czasie degradacja izolacji. Do monitorowania jej stanu, w celu przeprowadzenia wymiany lub konserwacji w odpowiednim czasie, stosuje się szereg metod opartych na pomiarach napięciem stałym oraz napięciem przemiennym.

Marta Gajewska

Układy izolacyjne silników elektrycznych narażone są na pracę w bardzo trudnych warunkach, takich jak działanie wysokich temperatur, sił mechanicznych oraz pola elektromagnetycznego. Ze względu na to, że trwałość eksploatacyjna silnika często zależy od trwałości jego układu izolacyjnego, obszarowi związanemu z izolacją powinno się poświęcić szczególną uwagę. Jedynie stałe monitorowanie stanu izolacji jest w stanie dać wystarczająco wcześniej informację ostrzegawczą o zachodzących zmianach, a przez to umożliwić podjęcie odpowiednio szybko działań zapobiegawczych i niedopuszczenie do awarii silnika.

Czynniki negatywnie wpływające na izolację

Na procesy degradacji układu izolacyjnego silnika mają wpływ takie czynniki, jak: przebieg eksploatacji i warunki pracy maszyny, m.in. stopień obciążenia, przeciążenia, parametry konstrukcyjne maszyn i rodzaje użytych materiałów, także warunki środowiskowe, w jakich pracują maszyny. Układ izolacyjny silników elektrycznych zużywa się w wyniku działań sił mechanicznych, drgań oraz pola magnetycznego, a także na skutek zmian temperatury oraz oddziaływania wilgotności, zapylenia i gazów aktywnych w otoczeniu. Podczas eksploatacji izolacja silników poddawana jest oddziaływaniu naprężeń mechanicznych – stałych, wibracyjnych i udarowych. Oprócz tego izolacja musi wytrzymywać narażenia występujące przy wytwarzaniu układu izolacyjnego. Na stan izolacji silnika ma również wpływ ją zdarzenia losowe, czego przykładem może być zalanie wodą.

Warto podkreślić, że uszkodzenia układów izolacyjnych najczęściej występują w maszynach wysokonapięciowych. Jeśli chodzi o maszyny niskonapięciowe, praktycznie nie dochodzi do tego typu usterek.

Podstawą jest właściwa diagnoza

W celu zminimalizowania ryzyka wystąpienia awarii układu izolacyjnego warto regularnie monitorować proces jego zużycia, aby móc ocenić, w jakim znajduje się on stanie i w razie potrzeby podjąć odpowiednie

działania remontowe. Do prawidłowej oceny stanu izolacji silnika konieczne jest przeprowadzenie szeregu różnych prób diagnostycznych. Co istotne, ograniczenie się jedynie do pomiaru stanu izolacji indukcyjnym o napięciu niższym od napięcia znamionowego badanej maszyny i określenie wskaźnika R60/R15 to zdecydowanie za mało.

Postawienie właściwej diagnozy stanu izolacji wymaga podjęcia takich działań, jak: określenie rezystancji układu izolacji przy napięciu znamionowym, analiza przebiegu odbudowy napięcia po zwarciu układu izolacyjnego oraz analiza przebiegu prądu upływu, a także określenie wskaźnika R60/R15.

Jak wynika z praktyki, w większości przypadków awaria izolacji ma swój początek w osłabieniu izolacji zwojowej (np. przebicie, przetarcie). W następstwie postępującego uszkodzenia izolacji zwojowej dochodzi do miejscowego przegrzania, a w dalszej konsekwencji do degradacji izolacji głównej, co prowadzi do doziemienia lub zwarcia międzyfazowego.

Różne metody pomiarowe

Do badania izolacji głównej silników elektrycznych stosowanych jest wiele metod diagnostycznych, dzięki którym można ocenić stan techniczny oraz monitorować proces starzenia się układu izolacyjnego uzwojeń. Istnieją metody oparte na pomiarach napięciem stałym i napięciem przemiennym.

Jeśli chodzi o metody oparte na pomiarach napięciem stałym, są one powszechnie wykorzystywane zarówno do ogólnej, jak również zaawansowanej oceny stopnia zużycia izolacji. Do ich głównych zalet należą: duża odporność na zakłócenia zewnętrzne, prostota pomiaru napięciem stałym, małe gabaryty sprzętu pomiarowego oraz szybkość otrzymania wyników.

Do badań diagnostycznych wykorzystujących napięcie stałe zaliczamy:

- pomiar rezystancji izolacji IR,
- wyznaczenie wskaźnika polaryzacji PI,
- wyznaczenie wskaźnika absorpcji dielektrycznej DAR,
- wyznaczenie wskaźnika rozładowania dielektryka DD,

Na procesy degradacji układu izolacyjnego silnika mają wpływ takie czynniki, jak: przebieg eksploatacji i warunki pracy maszyny, m.in. stopień obciążenia, przeciążenia, parametry konstrukcyjne maszyn i rodzaje użytych materiałów, także warunki środowiskowe, w jakich pracują maszyny

- pomiar napięciem narastającym schodkowo SV,
- wielokryterialna metoda prądu stałego WMPS (wpisana do normy jako metoda dodatkowa).

Co istotne, diagnostyka układów izolacyjnych w oparciu pomiary IR, DAR, PI, SV, DD bazuje na porównaniu wyznaczonych współczynników z wartościami zawartymi w normach oraz poradnikach branżowych.

Z kolei do badań diagnostycznych wykorzystujących napięcie przemienne należą:

- pomiar współczynnika strat dielektrycznych tg oraz pojemności uzwojeń,
- pomiar poziomu wyładowań niepełnych.

Warto dodać, że metody tych badań są powszechnie znane i w zależności od konieczności stosowane w praktyce. Oczywiście do przeprowadzenia tych badań niezbędny jest odpowiedni specjalistyczny sprzęt pomiarowy.

Od pomiaru rezystancji do pomiaru napięciem narastającym schodkowo

Najczęściej wykonywanym pomiarem wykorzystującym napięcie stałe jest pomiar rezystancji izolacji. Swoją popularność zawdzięcza temu, że pomiar ten jest bardzo łatwy do wykonania, dając szybki wgląd w ogólny stan układu izolacyjnego uzwojeń. Jest to podstawowy pomiar, jaki należy wykonać przed przystąpieniem do wykonywania jakichkolwiek prac remontowych. W maszynie elektrycznej, która ma dobrą izolację, rezystancja izolacji wzrasta przez długi okres, w przeciwieństwie do maszyny, która ma izolację zawilgoconą lub zabrudzoną – w tym wypadku wartość rezystancji izolacji ustala się bardzo szybko. Pomiar rezystancji izolacji w trybie IR standardowo wykonywany jest po 60 s. W zależności od wartości napięć znamionowych badanych maszyn pomiar rezystancji izolacji przeprowadzany jest przy różnej wartości napięć probierczych.

Natomiast współczynnik absorpcji DAR określany jest jako stosunek rezystancji izolacji zmierzony po 60 s od momentu rozpoczęcia pomiarów do rezystancji zmierzonej po 15 s. Pomiar opiera się na założeniu, że w całym okresie próby napięciowej temperatura badanego obiektu jest mniej więcej stała, w związku z czym obliczony wskaźnik DAR jest niezależny od temperatury. Pomiar współczynnika absorpcji DAR informuje nas o tym, czy układ izolacyjny jest suchy, zawilgocony, czysty czy zanieczyszczony. Dzięki temu można podjąć odpowiednią decyzję dotyczącą wykonywania dalszych działań związanych z remontem maszyny. Jeśli okazałoby się, że stojan jest zanieczyszczony i wilgotny, wówczas konieczne będzie jego umycie oraz suszenie, przy czym podczas procesu suszenia należy kontrolować wartość rezystancji izolacji uzwojeń.

Jeśli chodzi o współczynnik polaryzacji PI, jest to stosunek rezystancji izolacji zmierzony po 10 min do rezystancji zmierzonej po 1 min. Wskaźnik polaryzacji PI może być uznany za pozytywny, gdy uzyskane



Źródło: Fluke

wartości wynoszą minimum: 1,5 – dla uzwojeń klasy A, 2,0 – dla uzwojeń klasy B, 2,0 – dla uzwojeń klasy F, 2,0 – dla uzwojeń klasy H. Również w tym wypadku pomiar bazuje na założeniu, że w całym okresie próby napięciowej temperatura badanego obiektu jest mniej więcej stała, w celu uniezależnienia wskaźnika PI od temperatury.

Stosunkowo nową metodą badania stanu izolacji jest pomiar rozładowania dielektryka DD (*Dielectric Discharge*). W przeciwieństwie do innych metod pomiarowych, w przypadku których mierzony jest prąd podczas ładowania dielektryka, podczas pomiaru parametru DD mierzony jest prąd płynący w układzie izolacyjnym w czasie rozładowania dielektryka. Pomiar ten jest testem diagnostycznym umożliwiającym ocenę stopnia degradacji izolacji spowodowanej zesterzeniem materiału oraz obecnością wtrącin gazowych w materiale izolacji. Ponieważ wynik pomiaru zależy od charakterystyki rozładowania układu izolacyjnego, badany jest stan wewnątrz materiału dielektryka, niezależnie od zanieczyszczeń powierzchniowych.

Z kolei pomiar napięciem narastającym schodkowo SV (*Step Voltage*) bazuje na założeniu, że idealny izolator cechuje się stałą rezystancją izolacji niezależnie od wartości napięcia probierczego, a izolator zesterzały, zanieczyszczony lub zawilgocony wykazuje niższą rezystancję przy wyższych wartościach napięcia. W przypadku testu SV przeprowadzany jest standardowy pięciostopniowy pomiar trwający 5 minut, w którym napięcie probiercze jest co minutę skokowo zwiększane o jedną piątą końcowej wartości napięcia. Przyjmuje się, że odchyłki rezystancji izolacji większe niż 25% świadczą o obecności zanieczyszczeń lub wilgoci.

Kryteria oceny stanu technicznego izolacji

Stan techniczny układu izolacyjnego można sklasyfikować w skali ocen od 5 do 0. Przedstawia się

Podstawowym i najprostszym narzędziem do kontroli są oczy operatora, a także jego doświadczenie i spostrzegawczość



następująco: 5 punktów – izolacja nowa, której stan techniczny jest bardzo dobry; 4 punkty – izolacja dobra, przy czym może to być izolacja nowej maszyny, po remoncie lub kilkuletniej eksploatacji; 3 punkty – izolacja o zauważalnym stopniu zużycia, w przypadku której maszyna w ciągu 2–3 lat powinna mieć przeprowadzony remont; 2 punkty – izolacja o dużym stopniu zużycia, w konsekwencji czego maszyna w możliwie krótkim czasie powinna przejść remont; 1 punkt – izolacja zużyta, co oznacza, że maszyna w takim stanie izolacji może w każdej chwili ulec awarii; 0 punktów – maszyna, która nie nadaje się do eksploatacji, z całkowicie zużytym układem izolacyjnym lub po awarii.

Warto dodać, że układ izolacyjny zużyty w stopniu 1 czy 2 może wykazywać się bardzo wysoką rezystancją izolacji, wynoszącą nawet kilka $G\Omega/V$, co oznacza, że ocena układu izolacyjnego na podstawie wartości rezystancji nie będzie wiarygodna. Powyższa ocena punktowa nie uwzględnia izolacji zawilgoconej, którą można rozpoznać po niewielkiej wartości rezystancji ($<10\text{ k}\Omega/V$) – taka izolacja bezwzględnie kwalifikuje się do osuszenia. Fakt, że izolacja wchłania wilgoć, przemawia za znacznym stopniem jej zużycia.

W ofercie rynkowej

Biorąc pod uwagę, że 60% awarii urządzeń elektrycznych jest efektem przebicia izolacji, kluczowym elementem programu monitorowania układów izolacyjnych umożliwiającym wczesne wykrycie potencjalnych problemów są powszechnie stosowane pomiary rezystancji izolacji. Oferta rynkowa w zakresie przyrządów do pomiaru rezystancji izolacji jest bardzo bogata. Oto kilka przykładowych rozwiązań w tym zakresie.

W ofercie firmy Megger można znaleźć najwyższej jakości mierniki z napięciem probierczym 5 kV, 10 kV i 15 kV. Na szczególną uwagę zasługuje seria S1 mierników rezystancji izolacji, charakteryzująca się niezrównaną funkcjonalnością oraz możliwościami diagnostycznymi, zasilaniem zarówno akumulatorem, jak też z sieci elektrycznej, wysoką odpornością na zakłócenia, automatyzacją testów, pamięcią pomiarów i możliwością eksportu wyników przez złącze USB lub RS232. Mierniki rezystancji izolacji S1-568 5 kV umożliwiają wykonywanie dokładnych pomiarów rezystancji izolacji w skrajnie niekorzystnych środowiskach o wysokim poziomie hałasu, bardzo szybkie zwiększanie pojemności elektrycznej kabli. Dzięki funkcji obsługi zdalnej ulega zwiększeniu bezpieczeństwo eksploatacji oraz jej ułatwienie.

Inną propozycją jest miernik rezystancji izolacji Sonel MIC-15K1, który jest przeznaczony do pomiaru rezystancji izolacji obiektów elektroenergetycznych, m.in. kabli jedno i wielożyłowych, transformatorów,

silników i generatorów, kondensatorów, wyłączników oraz innych urządzeń stacji energetycznych. Szczególnie polecany jest do pomiarów w obszarach, gdzie występują bardzo duże zaburzenia elektromagnetyczne, np. na stacjach elektroenergetycznych z napięciem 1200 kV AC czy 500 kV DC. Dzięki napięciu pomiarowemu 15 kV (zgodnie z wytycznymi norm ANSI/NETA ATS-2009 TABELA 100.1) miernik można stosować do obiektów o napięciu nominalnym powyżej 34,5 kV. MIC-15k1 jest urządzeniem niezwykle nowoczesnym, ergonomicznym z intuicyjną obsługą.

Miernik rezystancji izolacji TES-3660. Miernik rezystancji izolacji – tester umożliwiający pomiar dużych rezystancji – do 10 $G\Omega$. Automatyczna zmiana zakresów. Miernik rezystancji izolacji z automatyczną zmianą zakresów. Wyposażony w duży czytelny wyświetlacz LCD z funkcją bargraf. Umożliwia pomiar rezystancji izolacji do 10 $G\Omega$ przy trzech poziomach napięcia probierczego 250 V, 500 V, 1000 V. Automatyczne rozładowanie pojemności mierzonego obwodu po pomiarze. Pomiar napięcia stałego i zmiennego do 1000 V oraz pomiar małych rezystancji i test ciągłości przewodów.

Z kolei tester rezystancji izolacji Fluke 1555C umożliwia wykonywanie cyfrowych pomiarów rezystancji izolacji napięciem do 5 kV. Przyrząd ten służy do badania ogromnego wachlarza urządzeń pracujących pod wysokim napięciem, między innymi: aparatury rozdzielczej, silników, generatorów i okablowania. Testery izolacji Fluke wykorzystują pełen zakres napięć określonych przez IEEE 43-2000 oraz spełniają standardy bezpieczeństwa CAT IV 600 V. Dzięki funkcji zapisu pomiarów i interfejsowi do komputera model 1555C jest doskonałym przyrządem do prewencyjnej i prognostycznej konserwacji. Pozwala identyfikować potencjalne usterki urządzeń przed ich wystąpieniem.

Na uwagę zasługuje też multimetr z funkcją testowania izolacji Fluke 1587 FC, który łączy funkcje cyfrowych testerów izolacji z dysponującymi pełnią możliwości multimetrami prawdziwej wartości skutecznej. Takie rozwiązanie zapewnia maksimum uniwersalności, zarówno w razie konieczności rozwiązania pojawiających się problemów, jak i podczas wykonywania czynności konserwacyjnych. Multimetr Fluke 1587 FC do testowania izolacji ma cztery nowe funkcje diagnostyczne, dostępne w aplikacji Fluke Connect Measurements: testy PI/DAR z wykresami TrendIt, które pozwalają szybciej identyfikować problemy z zanieczyszczoną lub zawilgoconą izolacją; przechowywanie pomiarów w pamięci za pośrednictwem aplikacji Fluke Connect, co eliminuje konieczność ręcznego zapisywania wyników, zmniejszając ryzyko popełnienia błędu, i pozwala śledzić dane historyczne; kompensacja temperatury za pomocą aplikacji, co pozwala na dokładne ustalenie linii bazowej i umożliwia porównania z danymi historycznymi; śledzenie danych historycznych i wyznaczanie trendów. ■



Źródło: TES