

Wykrywanie defektów rdzeni maszyn prądu przemiennego metodą skanowania magnetycznego

Streszczenie. Tradycyjna metoda wykrywania zwarcia blach w stojanach maszyn elektrycznych prądu przemiennego, polega na wzbudzeniu kołowego pola magnetycznego w żelazie i obserwacji rozkładu temperatur na wewnętrznej powierzchni żelaza. Metoda ta ma jednak istotne wady: dużą wartość prądu wzbudzającego i potrzebną moc źródła, kilkugodzinny czas potrzebny do otrzymania wiarygodnych wyników. Stosowane są więc inne metody oparte na pomiarze pola magnetycznego przy powierzchni żelaza. Typowym urządzeniem jest system ELCID firmy ADWEL. Dla każdej pary zębów otrzymuje się jedną wartość w danym miejscu na długości stojana. Wymaganiem praktyki kontroli jest bardziej precyzyjne określenie miejsca zwarcia blach, porównywalne z metodą termowizyjną. Opracowano inny sposób pomiaru pola magnetycznego przy powierzchni żelaza, czujnikami elektronicznymi. Wykorzystywana głowica ma rozdzielczość przestrzenną wyników około 10 mm. Niezbędne pomiary i obliczenia oraz wizualizacja wyników realizowane są przez dedykowany program komputerowy.

Abstract. It is presented a new method of detecting of faults in cores of AC electric machines based on measurement of the magnetic field near surface of the core. As the sensor Hall sensors have been used. (Fault diagnostics of AC electric machines cores based on scanning of magnetic field)

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, izolacja blach, badania diagnostyczne prądem zmiennym

Keywords: electrical machines, stator core insulation, AC diagnostic tests

doi:10.12915/pe.2014.01.66

Wstęp

Tradycyjna metoda wykrywania zwarcia blach w stojanach maszyn elektrycznych prądu przemiennego, polega na wzbudzeniu kołowego pola magnetycznego prądem przemiennym maszyny, a następnie obserwacji rozkładu temperatur na wewnętrznej powierzchni żelaza, dotykowo lub za pomocą kamery termowizyjnej. Jej wadami są: duża wartość prądu wzbudzającego, potrzebna duża moc źródła, kilkugodzinny czas potrzebny do otrzymania wiarygodnych wyników, oraz brak możliwości szybkiego lokalnego sprawdzenia. Stosowane są też inne metody, oparte na pomiarze pola magnetycznego. Wzbudzeniem jest też prąd wewnątrz otworu stojana, lecz o znacznie mniejszej wartości. Typowym urządzeniem jest system ELCID, w którym mierzoną wielkością jest spadek napięcia magnetycznego pomiędzy sąsiednimi zębami stojana. Stosowana jest tam jedna cewka powietrzna, aby łatwo było dostosowywać ją do rozpiętości zębów. Dla każdej pary zębów otrzymuje się więc jedną wartość w danym miejscu na długości stojana. Wymaganiem praktyki kontroli jest jednak bardziej precyzyjne określenie miejsca zwarcia blach na zębie, porównywalne z metodą termowizyjną.

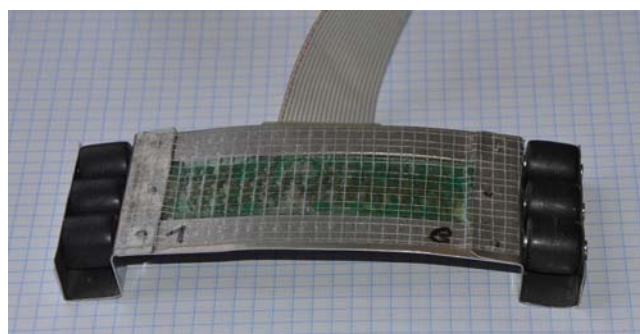
Metoda pomiaru

Dla spełnienia tych wymagań, opracowano inny sposób pomiaru pola magnetycznego przy powierzchni żelaza. Wzbudzenie pola magnetycznego realizowane jest też za pomocą prądu płynącego w przewodzie umieszczonym w otworze stojana. Wielkością mierzoną jest natomiast lokalne natężenie pola magnetycznego przy powierzchni wewnętrznej zębów z użyciem wielokanałowej głowicy elektronicznej. Umieszczone w niej równolegle czujniki pola pozwalają na uzyskanie obrazu rozkładu przestrzennego pola nad zębem. Wykorzystywana głowica wyposażona może być przykładowo w osiem niezależnych czujników i daje rozdzielczość przestrzenną pomiarów około 10 mm, już zadowalającą w praktyce. W każdym miejscu rejestrowane są przebiegi czasowe pola i prądu, następnie odpowiednio przeliczane i w efekcie uzyskiwane są wartości wskaźnika specyficznego dla istnienia zwarcia blach. Jest on mało czuły na inne czynniki mogące zakłócać pomiary. Oddzielnie używany jest niewielki pojedynczy czujnik, do lokalnego sprawdzania lub kontroli po naprawie. Niezbędne pomiary i obliczenia oraz wizualizacja wyników realizowane są przez dedykowany program komputerowy.

Artykuł, prócz prezentacji samego rozwiązania, zawiera wyniki pomiarów dokonanych w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych.

Układ pomiarowy

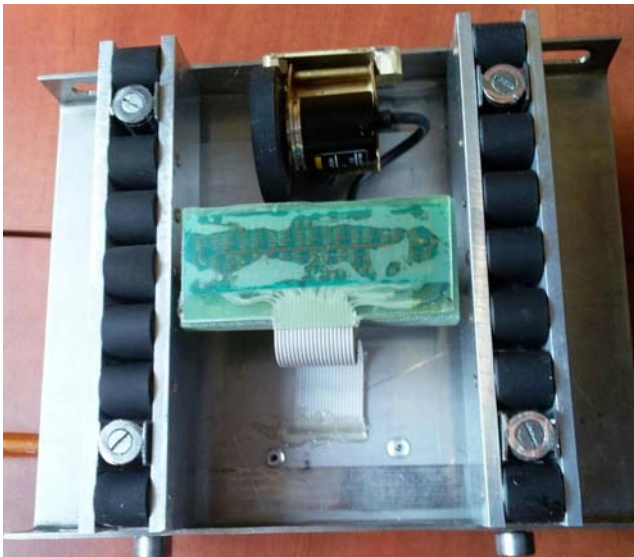
W stosowanych dotychczas układach pomiarowych, jako czujnika pola używa się cewek magnetycznych o różnych kształtach. Są one ze swej natury dość duże i mało elastyczne. Zwykle, tak jak w ELCID, jest to jedna cewka powietrzna. Typowe przetworniki pomiarowe A/C dysponują natomiast zwykle szesnastoma kanałami. Celowym jest więc zastosowanie też wielokanałowych czujników pola. Taką możliwość dają obecnie hallotronowe czujniki natężenia pola magnetycznego; tanie i o niewielkich rozmiarach. Wykorzystując je zbudowano głowicę pomiarową, której podstawową część przedstawia rysunek 1.



Rys.1 Ośmiokanałowa cienka głowica pomiarowa

Rolki boczne ułatwiają przesuwanie, a elastyczna konstrukcja dopasowanie do krzywizny otworu stojana, głównie silników indukcyjnych. Grubość głowicy można zmniejszyć do 10 mm. Do kontroli stojanów turbogeneratorów przewidziana jest głowica z rysunku 2.

Rolki prowadzące są przestawne. Czujniki pomiarowe obejmują jeden lub dwa zęby. Płytki z czujnikami nie musi dotykać do żelaza; wskazany jest nawet kilkumilimetrový odstęp. Magnesy na bokach zapewniają utrzymanie głowicy przy żelazie, nawet w górnym położeniu, co ilustruje rysunek 3.



Rys.2 Ośmiokanałowa głowica pomiarowa



Rys.3 Głowica pomiarowa z uchwytem magnetycznym

Z przodu jest przymocowane kółko z impulsatorem do pomiaru drogi. Wartości natężenia pola są równocześnie odczytywane z wszystkich czujników, wraz z chwilową wartością prądu wzbudzającego. Prąd wzbudzający pole ma częstotliwość sieciową i dlatego nie trudno go uzyskać.

Ze zmierzonych przebiegów wyliczane są wartości wskaźnika zwarcia blach, wedle metody przedstawionej w pracy [1] dla miejsca położenia każdego czujnika w danej chwili czasowej, czyli na danej długości stojana. W konsekwencji, po przejechaniu przez całą długość maszyny, otrzymuje się dwuwymiarową mapę stanu żelaza. Za jednym przejazdem głowicy kontrolowany jest pas o szerokości około 10 cm. Realnie istnieje możliwość powiększenia ilości elementarnych czujników do piętnastu, lecz cała głowica staje się wtedy mniej poręczna. Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że skuteczną kontrolę można realizować już przy indukcji w żelazie w zakresie (100-200) mT. Nie musi być ona stabilizowana. Można jej przybliżony poziom kontrolować dodatkowym uzwojeniem nawiniętym dookoła żelaza lub przez obliczeniowe szacowanie średniego natężenia pola w powietrzu przy żelazie, z wymiarów stojana i natężenia prądu wzbudzającego. Typowa wartość to 40 A/m.

Program komputerowy

Do obsługi pomiarów, wizualizacji i zapisu wyników został opracowany przez autorów specjalny program komputerowy. Główne okno programu pokazane jest na rysunku 4. Program na bieżąco oblicza oraz wyświetla

wartości współczynnika stratności K_z dla każdego z czujników. Możliwy jest również podgląd sygnałów każdego z kanałów jak również wizualizacja wartości współczynnika K_z dodatkowego kanału do dokładnej lokalizacji miejsca uszkodzenia. Podczas pomiaru na bieżąco pokazywane są wyniki w postaci mapy kolorów, której skalę można płynnie i w dowolnym momencie dostosować. Obraz ten jest w formie dość podobny do wyników uzyskanych metodą termowizyjną. Kolejne zmierzone wartości, dodawane są ręcznie lub też pomiar wyzwalany jest automatycznie dzięki zastosowaniu enkodera na rolce w głowicy. W przypadku pracy z głowicą pomiarową wyposażoną w enkoder (rysunek 2.) dodatkowo wykresy wartości maksymalnej współczynnika zwarcia na długości badanego zęba stojana, co pokazano na rysunku 4.



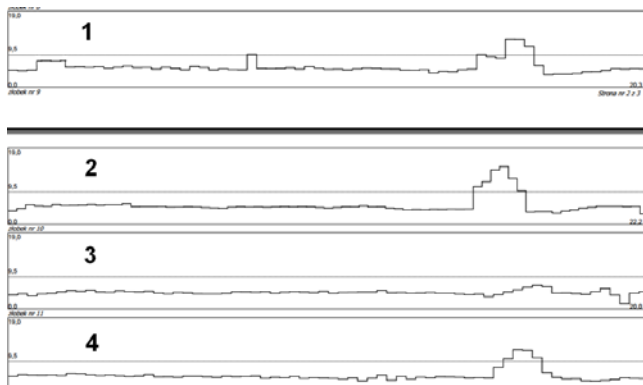
Rys.4 Okno główne ekranu pomiarowego.

Ponieważ cały system powinien już prawidłowo wykrywać obszary o niewiele podniesionej stratności – w odniesieniu do termowizji jest to rząd dwóch i więcej oC – dlatego program ma możliwość dokładnej kalibracji, którą można wykonać szybko przed rozpoczęciem każdego pomiarów.

Oprócz pokazywania wyników na bieżąco program daje możliwość wydrukowania raportów w postaci wykresów wartości maksymalnej współczynnika zwarcia na całej długości badanych zębów stojana. Ponadto, wyniki zapisywane przez program można w razie potrzeby zaimportować do innych programów, takich jak arkusze kalkulacyjne. Daje to możliwość praktycznie dowolnej dalszej obróbki i wizualizacji. Ponieważ program tworzony jest bezpośrednio przez autorów, istnieje możliwość doskonalenia go na bieżąco i dostosowywania do pojawiających się potrzeb, zgodnie ze zdobywanym doświadczeniem

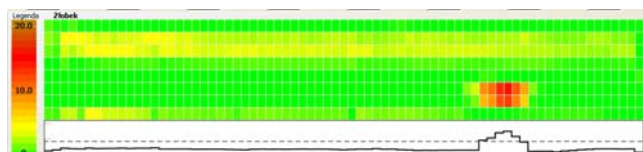
Pomiary przemysłowe

Do obsługi Wykonano pomiary symulacyjne na stojanie generatora ASEA GTP 60/150 o mocy $P=11\text{MW}$. Pakiet stojana generatora nie wykazywał żadnych uszkodzonych miejsc podczas pomiarów termowizyjnych, kiedy to indukcja w rdzeniu wynosiła $B=1\text{T}$. Zasyulowano uszkodzenie naklejając na wewnętrzną powierzchnię rdzenia folię miedzianą o powierzchni około 1cm^2 . Wykonano skanowanie magnetyczne w obszarze symulowanego uszkodzenia przy różnych wartościach indukcji co przedstawiono na rysunku 5. Poniższe wykresy przedstawiają wartości maksymalne współczynnika zwarcia K_z na długości 30cm zęba z symulowaną wadą przy różnych wartościach indukcji rdzenia. Indukcja podczas testów wynosiła odpowiednio $B_2=0,1\text{T}$, $B_3=0,05\text{T}$, $B_4=0,15\text{T}$. Indeksy odpowiadają opisom na przebiegach z rysunku 5.



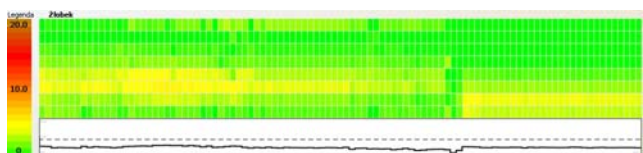
Rys.5 Wyniki skanowania magnetycznego żłobka z symulowana wadą przy różnych wartościach indukcji magnetycznej w rdzeniu.

Mapę skanowania magnetycznego opisywanego zęba na długości 30cm przedstawiono na rysunku 6.



Rys.6 Mapa skanowania magnetycznego żłobka z symulowana wadą.

Pomiary żłobka bez defektów obwodu magnetycznego nie wykazują podwyższonych wartości współczynnika K_z , co zobrazowano na rysunku 7.



Rys.7 Mapa skanowania magnetycznego żłobka bez defektów.

Podsumowanie

Wyniki pomiarów symulacyjnych wskazują na dużą skuteczność metody w wykrywaniu uszkodzeń pakietu nawet niewielkich rozmiarów. Małe gabaryty zestawu pomiarowego, duża rozdzielczość przestrzenna oraz brak szczególnych wymagań odnośnie źródła zasilania powodują, że metoda ta może być alternatywą do pomiarów termowizyjnych. Na podstawie pomiarów symulacyjnych wykazano, że minimalna wartość indukcji która zapewni dostateczną skuteczność pomiaru wynosi $B=0,1T$. Jest to zaledwie 10% wartości indukcji przy której wykonuje się pomiary termowizyjne. Podczas pomiaru występuje składowa stała wskaźnika K_z , która wpływa na czułość pomiaru. Właściwe odcięcie składowej stałej w programie komputerowym oraz odpowiednie dobranie wartości granicznych współczynnika K_z pozwala osiągnąć dużą czułość oraz skuteczność pomiaru. Wynik pomiaru rozkładu przestrzennego pola magnetycznego na powierzchni rdzenia jest w sposób jasny i zrozumiały przedstawiony w programie komputerowym oraz w raporcie z badań. Dalsze kierunki badań będą prowadziły do określenia wartości granicznych współczynnika zwarcia w porównaniu z pomiarami badań termowizyjnych, określenie wpływu indukcji w rdzeniu oraz szczeliny powietrznej na otrzymane wyniki badań.

LITERATURA

- [1] Rams W., Rad M.: *Kontrola jakości blach stojanów i wirników maszyn elektrycznych pod kątem przydatności ich do dalszej eksploatacji* Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne nr 90, 2011.
- [2] Rams W., Lerch T. Rad M.: *Kontrola stanu izolacji blach maszyn elektrycznych w warunkach przemysłowych* Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne nr 82, 2009
- [3] Bytnar A., Krok R.: *Diagnostyka on-line uszkodzeń rdzenia i uzwojenia stojana dużego turbogeneratora* Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne nr 87, 2010

Dr hab. inż. Witold Rams, rams@agh.edu.pl

Dr inż. Michał Rad, rad@agh.edu.pl

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

www.keiaspe.agh.edu.pl

Dr inż. Wojciech Kandora, wojciech.kandora@turbo-care.pl

www.turbo-care.pl, TurboCare Poland S.A.