

Kontrola zwarców w rdzeniach dużych maszyn synchronicznych z wykorzystaniem wielu czujników magnetycznych

Michał Rad, Witold Rams, Wojciech Kandora

1. Wstęp

Rdzeń stojana maszyn elektrycznych prądu przemiennego wykonywany jest najczęściej w formie pakietu blach izolowanych pomiędzy sobą. Izolacja ta jest niezbędna do ograniczenia prądów wirowych, indukowanych w żelazie tychże rdzeni. Podczas eksploatacji maszyn, w wyniku starzenia, przegrzania, uderzeń mechanicznych, może dochodzić do zwarcia izolacji międzyblachowej. Ułatwia to drogę dla prądów wirowych, które lokalnie grzeją blachy, powodując dalsze niszczenie izolacji. Może nawet dojść do stopienia blach. Kontrola izolacji międzyblachowej jest więc bardzo ważna.

Tradycyjna metoda wykrywania takich zwarców polega na wzbudzeniu kołowego pola magnetycznego prądem przemiennym, a następnie obserwacji rozkładu temperatur na powierzchni żelaza, dotykowo lub za pomocą kamery termowizyjnej. Jej wadami są:

- potrzebna duża wartość prądu wzbudzającego, a więc duża moc źródła;
- kilkugodzinny czas potrzebny do otrzymania wiarygodnych wyników;
- brak możliwości szybkiego lokalnego sprawdzenia.

Stosowane są też inne metody, oparte na pomiarze pola magnetycznego. Wzbudzeniem jest również 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 różnej rozpiętości zębów. Dla każdej pary zębów otrzymuje się jedną wartość w danym miejscu na długości stojana.

Praktycznie przydatne jest jednak bardziej precyzyjne określenie miejsca zwarcia blach na zębie, porównywalne z metodą termowizyjną.

2. 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. Zasadę działania obrazuje rys. 1. Wielkością mierzoną jest 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

Streszczenie: Tradycyjna metoda wykrywania zwarców 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 jednakże istotne wady: duża wartość prądu wzbudzającego i potrzebna 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. 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 pomiarów około 10 mm. Pomiary i niezbędne obliczenia oraz wizualizacja wyników realizowane są przez dedykowany program komputerowy.

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

FAULT DIAGNOSTICS OF AC ELECTRIC MACHINES CORES, BASED ON SCANNING OF MAGNETIC FIELD

Abstract: A new method of detecting faults in cores of AC machines is presented. It is based on measurement of the magnetic field near the surface of the core. Some of the disadvantages of other method are dismissed. Method does not need a high source current and long operation time, like it is in thermal method. It has also better resolution than ELCID method. Dedicated computer program is used for measurement and for results visualisations which could be similar to those obtaining from the thermal camera.

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

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 zwarców

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.

3. 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. W proponowanym rozwiązaniu zdecydowano się na zastosowanie wielokanałowych czujników pola. Taką możliwość dają obecnie scalone elektroniczne czujniki natężenia pola magnetycznego – tanie i o niewielkich rozmiarach. Wykorzystując je, zbudowano głowicę pomiarową, którą przedstawiono na rys. 2. Sama część czynna głowicy (na rysunku zielona płytką) jest elastyczna, jej konstrukcja umożliwia dopasowanie do krzywizny otworu stojana, głównie maszyn synchronicznych. Grubość głowicy może wynosić tylko 10 mm.

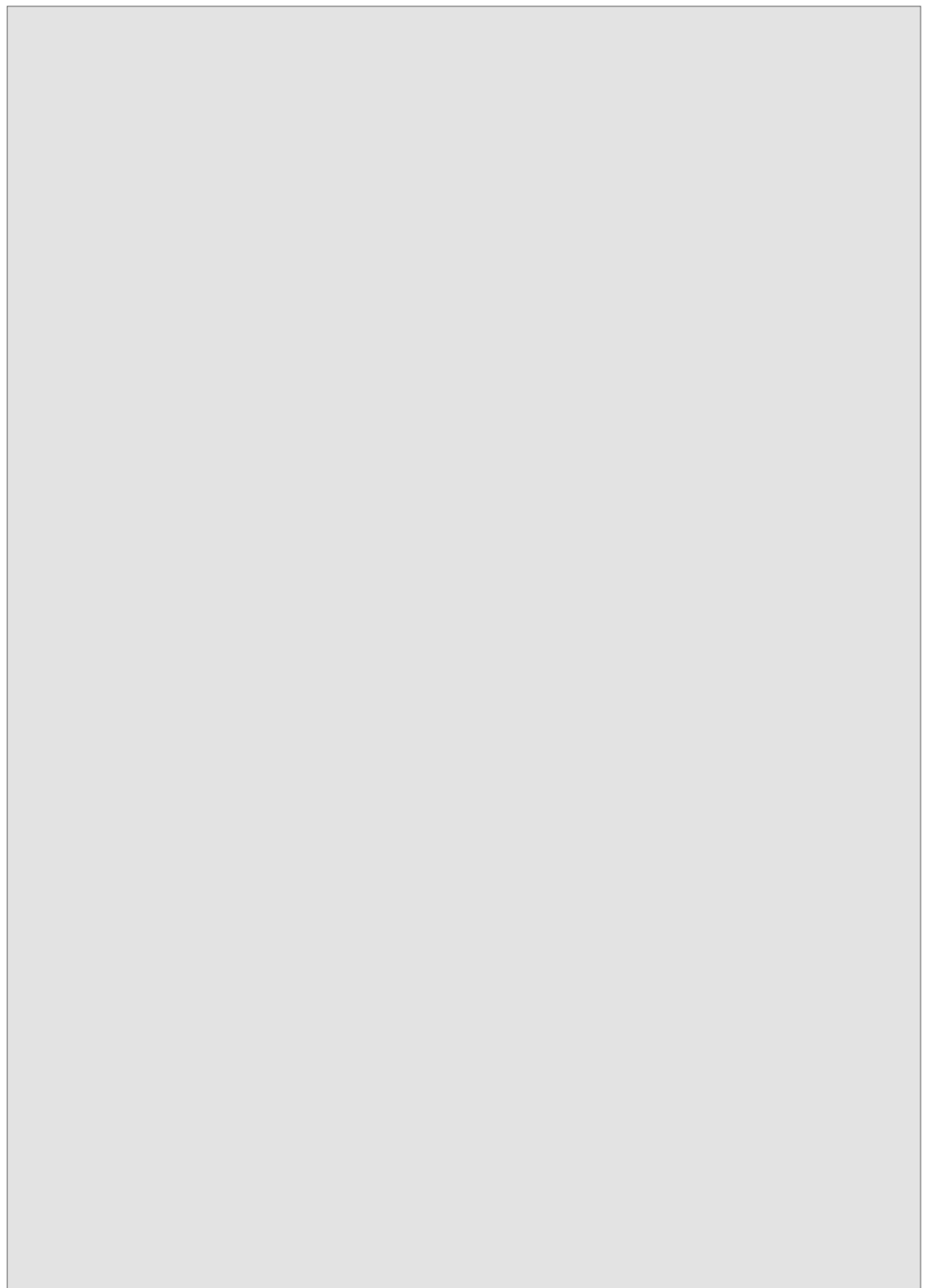
Prezentowana na rysunkach 2 i 3 głowica przewidziana jest do badań turbogeneratorów. Widoczne na rysunku 2 rolki prowadzące są przestawne. Czujniki pomiarowe obejmują jeden lub dwa zęby. Płytką z czujnikami nie musi przylegać do żelaza; wskazany jest nawet kilkumilimetrowy odstęp. Magnesy na bokach zapewniają utrzymanie głowicy przy żelazie, nawet w górnym położeniu. 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 nietrudno go uzyskać.

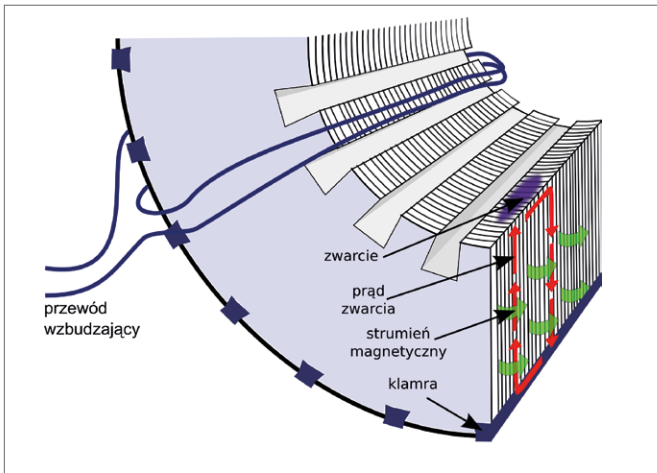
Z zarejestrowanych w każdej chwili fragmentów przebiegów, dla miejsca, nad którym znajduje się aktualnie czujnik, w oparciu

o rozkłady amplitudowo-fazowe wyliczane są wartości wskaźnika zwarcia blach, wedle metody przedstawionej w pracy [1]. 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 czterestu, 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

reklama

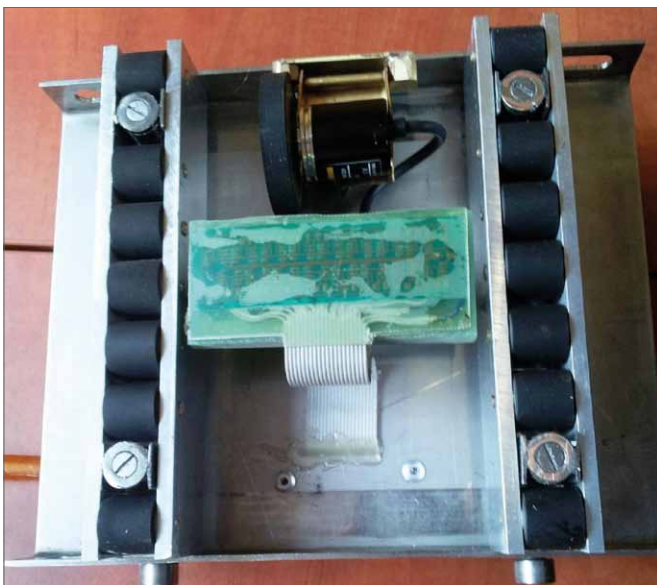




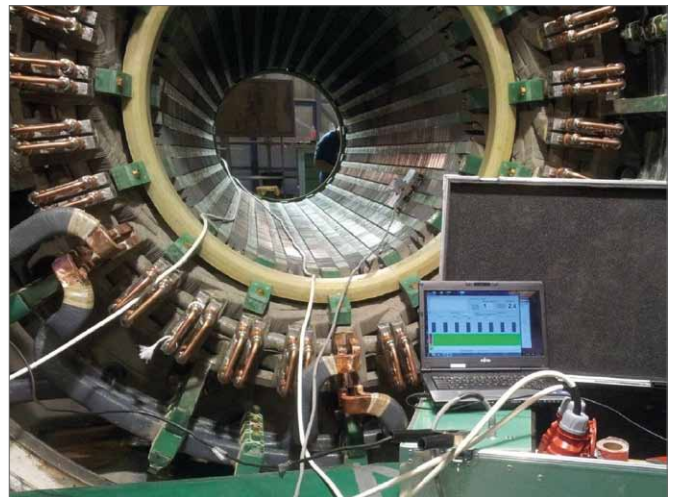
Rys. 1. Zasada działania



Rys. 3. Głowica pomiarowa z uchwytem magnetycznym podczas pomiarów



Rys. 2. Ośmiokanałowa głowica pomiarowa



Rys. 4. System podczas pomiarów turbogeneratora

szacowanie średniego natężenia pola w powietrzu przy żelazie, z wymiarów stojana i natężenia prądu wzbudzającego. Typowa wartość to 40 A/m.

4. Program komputerowy

Niezbędne pomiary i obliczenia oraz wizualizacja wyników realizowane są przez dedykowany program komputerowy. Widok głównego okna programu przedstawiony jest na rys. 5.

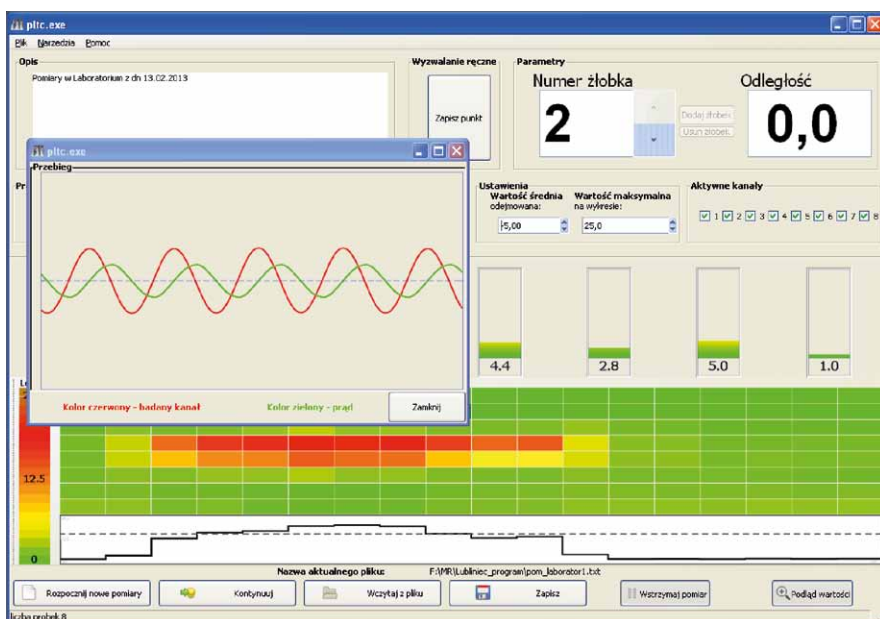
Program ten, stanowiący kluczową część systemu, zapewnia implementację samego algorytmu pomiaru i przeliczeń, wizualizację wyników pomiarów, zapis wyników i ewentualne powtórne ich przeglądnięcie po pewnym czasie. Pozwala również na dostrojenie pomiarów do warunków zewnętrznych (pomiary najczęściej wykonuje się w warunkach przemysłowych) oraz kalibrację podłączonego sprzętu.

Widoczne na rys. 5 słupki wysokością i kolorem wskazują na bieżąco w czasie pomiaru wartości wskaźnika zwarcia w miejscu, nad którym znajduje się głowica z czujnikami. Kolorowy, środkowy obszar to wyniki w postaci mapy dla wszystkich wykonanych pomiarów nad zębem (lub, dokładniej, pasem o szerokości głowicy pomiarowej). Na dole ekranu zamieszczony

jest wykres maksymalnych wartości wskaźnika w funkcji położenia wzdłuż zęba. Na rys. 5, na pierwszym planie, pokazane jest okno z aktualnymi przebiegami sygnałów, co pomocne jest szczególnie w czasie pierwszego uruchomienia systemu oraz podczas kalibracji sprzętu.

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

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.



Rys. 5. Główne okno programu podczas pomiarów wraz z podglądem rejestrowanych przebiegów

5. Podsumowanie

Wyniki pomiarów symulacyjnych i przemysłowych wskazują na dużą skuteczność metody w wykrywaniu uszkodzeń pakietu nawet niewielkich rozmiarów. Pomiary mogą być prowadzone zarówno przed wyjęciem uzwojenia, jak i po jego wyjęciu. Małe gabaryty zestawu pomiarowego, duża rozdzielczość przestrzenna oraz brak szczególnych wymagań odnośnie do źródła zasilania powodują, że metoda ta może być alternatywą wobec pomiarów termowizyjnych.

Na podstawie pomiarów symulacyjnych wykazano, że minimalna wartość indukcji, która zapewnia dostateczną skuteczność pomiaru, wynosi $B = 0,1$ T. 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, określenia wpływu indukcji w rdzeniu oraz szczeliny powietrznej na otrzymane wyniki badań.

6. Literatura

- [1] RAMS W., RAD M.: *Kontrola jakości blach stojanów i wirników maszyn elektrycznych pod kątem przydatności ich do dalszej eksploatacji*. Zeszyty Problematyczne „Maszyny Elektryczne” 90/2011.
- [2] RAMS W., LERCH T., RAD M.: *Kontrola stanu izolacji blach maszyn elektrycznych w warunkach przemysłowych*. Zeszyty Problematyczne „Maszyny Elektryczne” 82/2009.
- [3] BYTNAR A., KROK R.: *Diagnostyka online uszkodzeń rdzenia i uzwojenia stojana dużego turbogeneratora*. Zeszyty Problematyczne „Maszyny Elektryczne nr” 87/2010.

 dr hab. inż. Witold Rams –

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
e-mail: rams@agh.edu.pl;

dr inż. Michał Rad –

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
e-mail: rad@agh.edu.pl;

dr inż. Wojciech Kandora –

TurboCare Poland SA,
e-mail: wojciech.kandora@turbocare.pl