

Adam Decner
BOBRME Komel, Katowice

ZDALNE MONITOROWANIE MASZYN ELEKTRYCZNYCH

REMOTE MONITORING OF ELECTRIC MACHINES

Abstract: Diagnostic tests of electrical machines are part of improving operational reliability of these devices over a long period of time. This justifies the monitoring of machines, particularly those who do not have the reserve at the workplace: the power generators, hoisting machines in mines, etc. The problem of diagnosis and monitoring of electrical machines is focused on assessing the technical condition of the electromagnetic circuit and the mechanical system.

This article describes the objectives of the research project, which perform remote monitoring and diagnostics of technical condition of electrical machines.

In order to monitoring the GSM network will be used with GPRS packet data transmission. In article the diagnostic signals are described and technical infrastructure for the transmission of measurement data, as well.

1. Wstęp

Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych, są elementem poprawiającym bezpieczeństwo eksploatacji tych urządzeń w długim okresie czasu. Pozwalają na racjonalne planowanie przeglądów i remontów oraz ich zakresu. Koszty nieuzasadnionej wymiana silnika dobrego na nowy, bądź jego remont z wymianą uzwojenia, gdy jest ono dobre, wielokrotnie przewyższają koszty badań diagnostycznych. Z drugiej strony w przypadku awarii maszyny elektrycznej w czasie eksploatacji występują straty produkcyjne, które zwykle są wielokrotnie wyższe od ceny maszyny. Uzasadnia to prowadzenie monitoringu maszyn, w szczególności tych, które nie mają zainstalowanej rezerwy na stanowisku pracy: generatory w elektrowniach, maszyny wyciągowe w kopalniach, silniki walcownicze w hutach i inne.

Problem diagnostyki i monitoringu maszyn elektrycznych koncentruje się na ocenie stanu technicznego obwodu elektromagnetycznego i układu mechanicznego. Opracowanie algorytmu pozyskiwania informacji dotyczących stanu technicznego maszyny i transmisja tych danych do ośrodka monitorującego umożliwi bieżący, zdalny nadzór nad sprawnością techniczną monitorowanych maszyn, i pozwoli dostatecznie wcześniej zarejestrować ostrzeżenie o pogarszaniu się parametrów diagnostycznych maszyny.

2. Parametry diagnostyczne do celów monitoringu – przykłady

Celem projektu jest pozyskiwanie informacji o pracy maszyny i wyselekcjonowanie z tych danych informacji o stanie technicznym maszyny. Ze statystyki uszkodzeń maszyn elektrycznych [10], dla silników indukcyjnych awarie spowodowane są przez uszkodzenie:

- łożysk – około 40%,
- uzwojenia stojana – około 35%,
- wirnika – około 10%,
- inne uszkodzenia – około 15%.

Zatem diagnostykę należy skoncentrować na pierwszych trzech zagadnieniach.

Wszystkie „wskaźniki diagnostyczne” można zbudować bazując na analizie prądu stojana. Prąd silnika jest bardzo ważnym parametrem, który można łatwo zarejestrować i przetworzyć. Istnieje szereg publikacji, w których autorzy prezentują metody analizy prądu w celu określenia uszkodzenia poszczególnych elementów maszyny elektrycznej [1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11].

Na podstawie analizy prądu stojana możliwe jest określenie następujących informacji diagnostycznych:

- przerwa w uzwojeniu stojana, brak styku na zaciskach,
- uszkodzenia klatki wirnika,
- uszkodzenie elementów łożyska,
- ekscentryczność statyczna,
- ekscentryczność dynamiczna,
- asymetria zasilania,
- zwarcia międzyzwojowe w stojanie.

Informacje o stanie technicznym łożysk można pozyskiwać z pomiarów: drgań, z pomiaru tem-

peratury oraz z analizy prądu maszyny. Pogarszający się stan techniczny łożysk generuje drgania o powiększającej się amplitudzie. Dokładna analiza przebiegów czasowych prądu stojana i poznanie zależności między drganiami a tymi przebiegami, pozwala zidentyfikować sygnał informujący on-line o stanie technicznym łożysk maszyny elektrycznej.

Stan techniczny klatki wirnika najtrafniej jest oceniać z analizy prądu rozruchowego [2, 3, 8]. W sygnałach prądów fazowych silnika indukcyjnego zawarte są informacje diagnostyczne wynikające z asymetrii elektrycznej i magnetycznej obwodów stojana i wirnika. Informacje te widoczne są w widmie prądu fazowego.

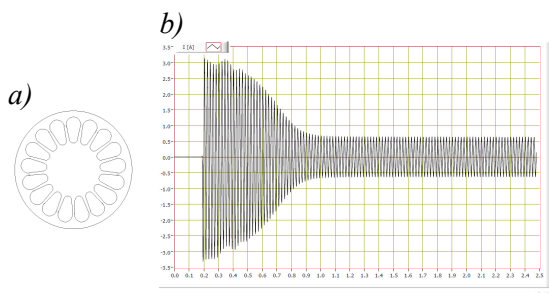
W przypadku uszkodzenia prętów klatki wirnika, w widmie prądu fazowego pojawiają się składowe opisane następującą zależnością:

$$f_{br} = (1 \pm 2 \cdot s) \cdot f_s \quad (1)$$

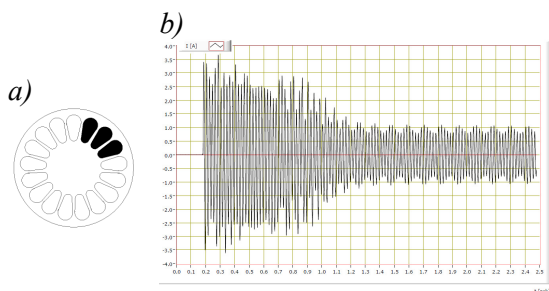
gdzie: f_s – częstotliwość prądu stojana, s – poślizg.

Na rysunku 1 przedstawiono przekrój wirnika silnika asynchronicznego o nieuszkodzonych prętach oraz przebieg prądu rozruchowego.

Na rysunku 2 przedstawiono przekrój wirnika silnika asynchronicznego o uszkodzonych trzech sąsiadujących prętach oraz przebieg prądu rozruchowego.



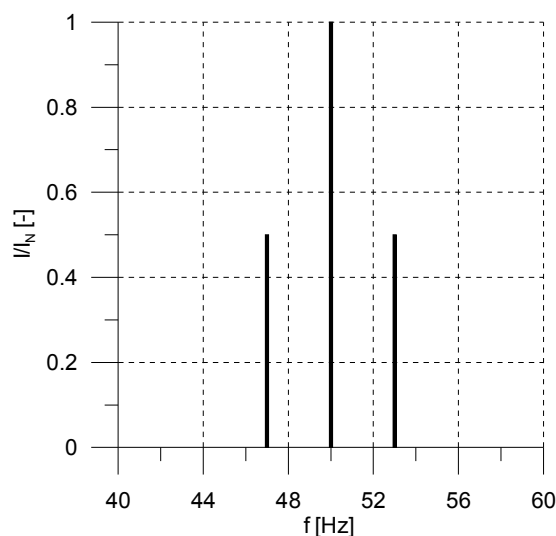
Rys. 1. Wirnik o nieuszkodzonych prętach (a) i zarejestrowany przebieg prądu stojana (b) podczas rozruchu na biegu jałowym



Rys. 2. Wirnik z uszkodzonymi 3 prętami (a) i zarejestrowany przebieg prądu stojana (b) podczas rozruchu na biegu jałowym

Poddając analizie prąd pobierany przez silnik, można w widmie prądu odnaleźć składowe opisane wzorem (1), charakteryzujące stopień uszkodzenia klatki wirnika. Znane są przyrządy diagnostyczne, określające stopień uszkodzenia klatki wirnika na podstawie analizy prądu rozruchowego.

Na rysunku 3 przedstawiono poglądowo analizę prądu stojana z charakterystycznymi częstotliwościami ujawniającymi się w przypadku asymetrii uzwojenia wirnika.



Rys. 3. Harmoniczne prądu stojana podczas pracy z uszkodzoną klatką wirnika

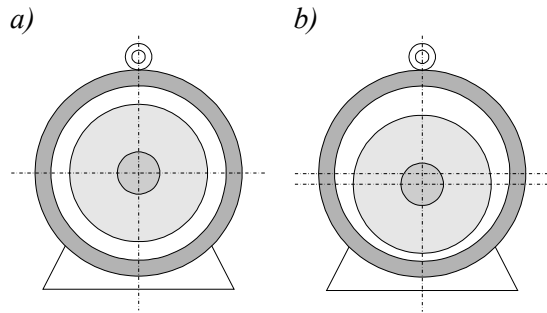
Innym stanem niepoprawnej pracy silnika jest ekscentryczność. Jest to stan maszyny, w którym szczelina powietrzna pomiędzy stojanem, a wirnikiem jest nierówna. Niewspółosiowe usytuowanie wirnika silnika indukcyjnego względem stojana wprowadza asymetrię szczeliny powietrznej. Rozróżnia się trzy rodzaje ekscentryczności [4]:

- statyczna,
- dynamiczna,
- mieszana.

Ekscentryczność statyczna występuje wtedy, gdy położenie minimalnej szczeliny powietrznej jest stałe względem stojana.

Ekscentryczność dynamiczna występuje wtedy, gdy środek wirnika nie jest środkiem wirowania i położenie minimalnej szczeliny powietrznej przemieszcza się po obwodzie stojana.

Najczęściej spotykanym przypadkiem jest jednoczesne występowanie ekscentryczności statycznej jak i dynamicznej, czyli tzw. ekscentryczność mieszana [4].



Rys. 4. Ustawienie wirnika centryczne (a) i ekscentryczne (b)

Asymetria ta w wyniku wzajemnego oddziaływania pomiędzy uzwojeniami stojana i wirnika wpływa na kształt prądu stojana.

Dla siników indukcyjnych charakterystyczne częstotliwości można opisać równaniami [4]:

- dla ekscentryczności statycznej

$$f_{es} = f_s \cdot \left(1 \pm k \cdot N_r \cdot \frac{1-s}{p} \right) \quad (2)$$

- dla ekscentryczności dynamicznej

$$f_{ed} = f_s \cdot \left(1 \pm k \cdot \frac{1-s}{p} \right) \quad (3)$$

- dla ekscentryczności mieszanej

$$f_e = f_s \cdot \left[(k \cdot N_r \pm n_d) \cdot \frac{1-s}{p} \pm n_w \right] \quad (4)$$

We wzorach 2, 3, 4 oznaczono: f_s – częstotliwość prądu stojana, s – poślizg, p – liczba par biegunów, $k=1,2,3,\dots$, N_r – liczba żłobków wirnika, $n_d=1,2,3,4,\dots$, $n_w=1,3,5,7,\dots$

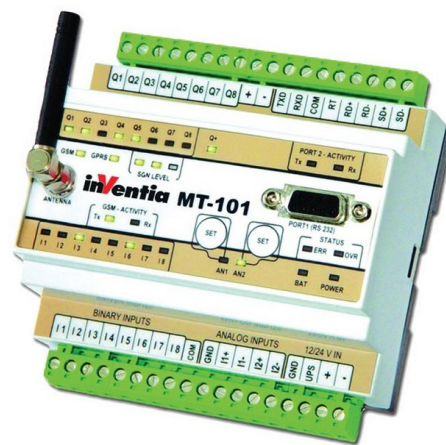
Prace badawcze, prowadzone w ramach projektu, powinny stworzyć i zweryfikować kompleksową metodę bieżącej oceny stanu technicznego monitorowanej maszyny.

Celem jest opracowanie metody i algorytmu przesyłania pakietu danych pomiarowych oraz informacji o zdarzeniach, występujących na monitorowanej maszynie do bazy danych komputera osoby lub instytucji odpowiedzialnej za monitorowanie stanu technicznego maszyny. Zdarzenia, które są istotne z punktu widzenia danych pomiarowych to: rozruchy, stopniowy lub nagły wzrost „wskaźników diagnostycznych”, przekroczenie wartości alarmowych itp.

3. System telemetryczny

Dynamiczny rozwój sieci telefonii komórkowych i ich cyfrowej transmisji sygnałów, poprzez wprowadzenie przez operatorów GSM możliwości transmisji danych w standardzie

GPRS (General Packet Radio Services), oraz coraz częściej rozpowszechnianymi technologiami EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) przyczynił się do powstania łatwo osiągalnych możliwości sprzyjających rozbudowie systemów pomiarowych. Aby system zdalnego monitoringu działał zgodnie z założonymi wymaganiami, niezbędne jest odpowiednie wyposażenie umożliwiające logowanie się i transmisję danych do sieci GSM. Urządzeniami takimi są np. moduły telemetryczne (Rysunek 5).

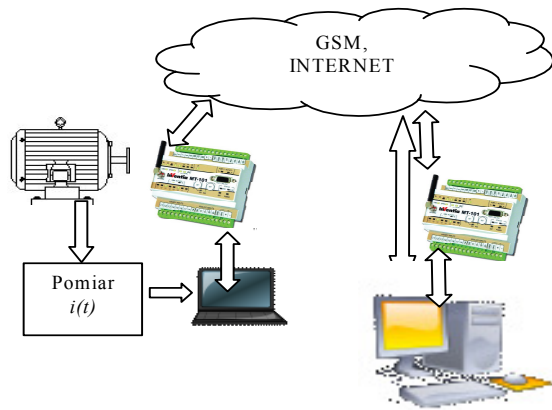


Rys. 5. Moduł telemetryczny

Aby moduł telemetryczny funkcjonował poprawnie, konieczne jest umieszczenie w module odpowiednio skonfigurowanej karty SIM dostarczonej przez operatora GSM, który oferuje usługi w zakresie transmisji danych [12].

Poza możliwością pracy w trybie GPRS konieczne jest również skonfigurowanie posiadanej karty w APN (Access Point Name) w celu otrzymania statycznego adresu IP. Przypisany do karty adres IP umożliwia transmisję do innych modułów telemetrycznych oraz serwerów pracujących w tym samym APN.

Warunkiem bezwzględnie koniecznym do prawidłowej pracy systemu pomiarowego jest wystarczająca siła sygnału GSM w miejscu umieszczenia anteny modułu telemetrycznego. Używanie modułu w miejscach o bardzo słabym sygnale może prowadzić do zrywania transmisji oraz w skrajnych przypadkach do utraty danych a także może prowadzić do powstawania dodatkowych kosztów. Technologia GSM/GPRS wydaje się idealną technologią dla systemów monitoringu i teledyktacji. Do jej zalet można zaliczyć:



Rys. 6. Schemat telemetrycznego systemu pomiarowego

- możliwość korzystania z istniejącej struktury sieci transmisyjnej,
- duży zasięg sieci,
- niskie koszty budowy i eksploatacji systemu,
- brak konieczności stosowania specjalnych anten,
- możliwość tworzenia systemów sieciowych,
- pełna ochrona dostępu,
- koszt utrzymania struktury umożliwiającej transmisję przeniesiony na operatora,
- duża dostępność różnorodnych terminali nadawczych i odbiorczych,
- opłata za rzeczywistą ilość przesłanych danych.

4. Wnioski

Opracowanie metody, która pozwoli na ocenę on-line stanu technicznego, w oparciu o pomiar i analizę parametrów pracy, daje gwarancję niezawodnej eksploatacji maszyny elektrycznej. Szereg publikacji [3, 8, 9, 11] wskazuje, że informacje o stanie technicznym maszyn elektrycznych (synchronicznych, indukcyjnych, prądu stałego) są zakodowane w przebiegach prądu i napięcia, należy je pozyskać, przetworzyć i przesłać do centrali monitoringu.

Dzięki zastosowaniu łączności przez sieć Internet lub GSM, realizowane systemy będą posiadały następujące zalety:

- zdalna kontrola systemu i obserwacja wyników przy niewielkich nakładach czasowych oraz finansowych na przygotowanie systemu,
- możliwość uzupełniania parametrów pomiarowych pozyskiwanych z czujników,

- powiadamianie służb odpowiedzialnych za eksploatację maszyn o pojawiających się sytuacjach alarmowych;
- możliwość obserwacji wyników pomiarowych równoległe przez wiele osób.

5. Literatura

- [1]. Drak B., Zientek P.: *Uszkodzenia łożysk tocznych silników indukcyjnych dużej mocy*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 64/2002, BOBRME Komel
- [2]. Glinka T.: *Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle*. Wyd. BOBRME Komel w Katowicach ISBN 83-910585-4-9, 2002r.
- [3]. Kliman G., Koegl R., Stein J., Endicott R., Madden M.: *Noninvasive detection of broken rotor bars in operating induction motors*. IEEE Trans. on Energy Conv. vol.3, no.4,1988, p. 873-879.
- [4]. Kowalski Cz., Ewert P.: *Zastosowanie analizy widmowej prądu stojana do monitorowania ekscentryczności silników indukcyjnych*; Prace Naukowe Instytutu Maszyn i Napędów Elektrycznych Nr 60 Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały Nr 27 2007.
- [5]. Kowalski Cz.: *Mikrokomputerowy system monitorowania i diagnostyki napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn i Napędów Elektrycznych Nr 44 Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały Nr 19 1996
- [6]. Kowalski Cz.: *Stan obecny i tendencje rozwojowe metod monitorowania i diagnostyki napędów z silnikami indukcyjnymi*. Wiadomości Elektrotechniczne, nr 4, 2003, str. 160-164
- [7]. Łobacz J., Fyk M.: *Przegląd komputerowych systemów diagnostycznych*. Energetyka, ISSN 0013-7294, nr 8/2003, str. 562 – 568.
- [8]. Pawlak M., Zarczyński Z.: *Przenośny system pomiarowy do diagnostyki silników indukcyjnych*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Nr 62 Politechniki Wrocławskiej Nr 62 Studia i Materiały Nr 28 2008
- [9]. Rad M.: *Automatyczna diagnostyka klatki wirnika na podstawie prądu rozruchu silnika indukcyjnego*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 79/2008, BOBRME Komel
- [10]. Sułowicz M.: *Diagnostyka silników indukcyjnych metodami sztucznej inteligencji*. Rozprawa doktorska, Instytut Elektrotechniki w Warszawie, Samodzielna Pracownia Diagnostyki Układów Elektromechanicznych w Krakowie, Kraków 2005.
- [11]. Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wyd. Politechniki Opolskiej, Opole 2006.
- [12]. Instrukcja obsługi modułu telemetrycznego MT-101.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki, jako projekt badawczy w latach 2011-2013.

Autor

dr inż. Adam Decner – specjalista badawczo-techniczny; Laboratorium Maszyn Elektrycznych BOBRME Komel, 41-209 Sosnowiec, ul. Moniuszki 29; tel. (032) 299-93-81 wew.29; e-mail: labor@komel.katowice.pl