

Autonomiczny, telemetryczny, wielokanałowy system akwizycji danych do monitorowania trakcyjnych maszyn elektrycznych

Marcin Barański, Adam Decner, Tomasz Jarek, Artur Polak

1. Wstęp

Maszyny elektryczne, jak każde urządzenie elektryczne czy mechaniczne, ulegają awariom. Duży wpływ na awaryjność ma charakter pracy oraz warunki pracy. Zużywanie się podzespołów maszyny oraz ich niewłaściwa eksploatacja są przyczynami większości awarii. Wykluczając niewłaściwą eksploatację i analizując przyczyny pozostałych awarii, można stwierdzić, że są one konsekwencją postępujących procesów starzenia oraz zużywania się materiałów zastosowanych do wytworzenia danej maszyny.

Zdaniem autorów ocena stanu technicznego maszyn elektrycznych często jest błędna. Przykładem może być diagnostyka stanu technicznego klatek wirników silników indukcyjnych. Silnik indukcyjny z uszkodzoną klatką może pracować na pozór normalnie, może nawet dokonywać kolejnych rozruchów, a początkowe drobne pęknięcie jednego pręta stanie się początkiem procesu niszczenia klatki, który to proces ma charakter postępujący i w konsekwencji prowadzi do poważnej awarii silnika z awarią katastrofalną włącznie [5, 9, 11, 12, 13–16]. Autorzy w czasie prowadzenia badań diagnostycznych w zakładach reprezentujących różne gałęzie przemysłu spotykali się z trzema typami nadzoru nad pracującymi urządzeniami:

1. Ciągły monitoring, diagnostyka w systemie online, połączony z bieżącym śledzeniem jej parametrów ruchowych pozwala określać stan techniczny maszyny i zaawansowanie procesów starzenia. Kiedy przyjmuje się odpowiednie kryteria, istnieje możliwość generowania alarmów o różnej wadze.
2. Okresowa diagnostyka offline maszyn elektrycznych pozwala na wyznaczenie tendencji i szybkości zachodzących zmian niektórych parametrów określających stan techniczny maszyny.
3. Diagnostyka offline, wykonywana jedynie w przypadku zauważenia przez służby utrzymania ruchu/obsługę niepokojących symptomów, którymi mogą być: pojawienie się dymu, zadziałanie czujników ochrony termicznej, subiektywny wzrost hałasu pracującego urządzenia itp. Pojedyncze testy diagnostyczne dostarczają informacji o aktualnym stanie technicznym maszyny elektrycznej.

2. Autonomiczny, telemetryczny, wielokanałowy system akwizycji danych

Wieloletnie doświadczenia autorów w dziedzinie badania, diagnostyki i monitoringu maszyn elektrycznych pozwoliły na opracowanie urządzenia, które jest wykorzystywane podczas pomiarów prowadzonych głównie w warunkach

Streszczenie: Budowa systemu pomiarowego opartego o sieci komórkowe jest stosunkowo łatwa i tania w budowie i eksploatacji. System zdalnego monitoringu musi zostać odpowiednio dostosowany do specyficznych wymagań sieci, niezbędne jest odpowiednie wyposażenie, umożliwiające rejestrowanie i przesyłanie danych w sieci GSM lub Internet. Działanie urządzenia zostało przedstawione w artykule na podstawie ciekawego przypadku uszkodzeń trakcyjnych silników elektrycznych. Silniki były wykorzystywane do napędu pojazdów szynowych, a pomiary zostały wykonane w trakcie normalnej eksploatacji pojazdu. Przedstawiono również przykładowe wyniki pomiarów. Pomiary i rejestracje wykonywane były zdalnie za pomocą urządzeń telemetrycznych, których koncepcja została opracowana przez autorów niniejszego artykułu. Budowa autonomicznego, telemetrycznego, wielokanałowego systemu oraz możliwe zastosowania również zostały przedstawione. Autorzy planują poszerzenie możliwości urządzenia o pomiar innych wielkości nieelektrycznych.

AUTONOMOUS, TELEMETRIC, MULTI-CHANNEL SYSTEM OF DATA ACQUISITION TO MONITOR THE TRACTION ELECTRIC MACHINES

Abstract: The structure of the measurement system based on the cellular networks is relatively easy and cheap in building and operation. Remote monitoring system must be appropriately adapted to the specific requirements of network, it is necessary the appropriate equipment allowing to record and transmit the data on the GSM network or the Internet. Operation of the device is presented in this article on the basis of an interesting case of damage of the traction electric motors. The motors were used for driving of vehicles, and the measurements were made during the normal vehicle operation. The examples of measurement results are also presented. Measurements and recordings were carried out remotely using the telemetric devices, whose concept was developed by the authors of this article. Structure of the autonomous, telemetric, multi-channel system and the possible applications are also presented. The authors plan to expand the capabilities of the device by the measurement of other non-electrical quantities.

przemysłowych. Urządzeniem tym jest telemetryczny, wielokanałowy system akwizycji danych, umożliwiający monitorowanie pracy maszyn i urządzeń elektrycznych. Urządzenie to,



Rys. 1. Autonomiczny system akwizycji danych w wykonaniu trójkanałowym

zaprojektowane przez autorów, może pracować w niekorzystnych warunkach środowiskowych: bardzo duży hałas i wibracje, zapylenie, oddziaływanie warunków atmosferycznych itp.

Prezentowany telemetryczny, wielokanałowy system akwizycji danych (rys. 1) posiada funkcje pozwalające na wykonanie rejestracji, pomiaru, zapisanie wyników oraz przesłanie informacji o aktualnej sytuacji związanej z obiektem badań. Oprogramowanie urządzenia pozwala na rejestrację wartości chwilowych, średnich oraz skutecznych mierzonych sygnałów oraz definiowanie wartości progowych, które wyzwalają rejestrację zadeklarowanych wielkości. Dla każdego kanału próg zadziałania może być nastawiany niezależnie. Żądanie wygenerowania raportu z wykonanych rejestracji na obiekcie, jak i stanu urządzenia można przesłać za pomocą odpowiednio sformatowanej wiadomości SMS bądź e-mail. Wszystkie powyższe cechy dają użytkownikowi możliwości zdalnego kontrolowania urządzenia pomiarowego, jak i procesu pomiarowego.

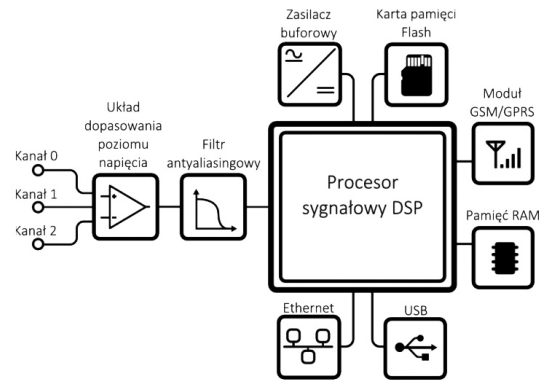
W celu przybliżenia zasady działania oraz części składowych urządzenia na rysunku 2 przedstawiony jest schemat blokowy urządzenia rejestrującego. Sercem całego układu jest procesor sygnałowy (DSP). Jest to wyspecjalizowany układ do obróbki sygnałów cyfrowych. W jednym układzie zawarte są:

- układ kontroli;
- jednostka arytmetyczno-logiczna;
- pamięć ROM i RAM;
- układy wejściowe;
- układy wyjściowe.

Przedstawiony na rys. 2 schemat blokowy urządzenia spełnia wszystkie założenia (dotyczące pomiarów i przetwarzania danych) wymienione powyżej. Technologia GSM/GPRS jest doskonale dopasowana dla systemów monitoringu i telemetrii. Posiada wiele zalet, m.in.:

- dostępność komunikacji GSM;
- możliwość korzystania z istniejącej struktury sieci transmisyjnej;
- duży zasięg sieci;
- niskie koszty budowy i eksploatacji systemu;
- brak konieczności stosowania specjalnych anten;
- koszt utrzymania struktury umożliwiającej transmisję przeniesiony na operatora;
- opłata za rzeczywistą ilość przesłanych danych.

Aby funkcja zdalnego monitoringu funkcjonowała poprawnie, konieczne jest umieszczenie w urządzeniu odpowiednio skonfigurowanej karty SIM operatora GSM, oferującego usługi w zakresie transmisji danych [10].



Rys. 2. Schemat blokowy trójkanałowego systemu akwizycji danych



Rys. 3. Uszkodzone uzwojenie wirnika silnika trakcyjnego



Rys. 4. Przełom uszkodzonych prętów wirnika silnika trakcyjnego

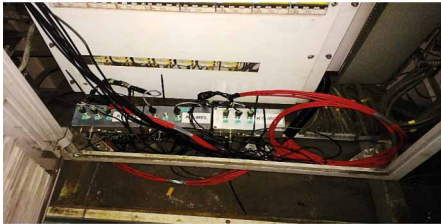
3. Zastosowanie telemetrycznego, wielokanałowego systemu akwizycji danych w diagnostyce przemysłowej

Zalety opisanego urządzenia wykorzystano m.in. w poszukiwaniu przyczyn uszkodzenia się wirników silników indukcyjnych klatkowych zastosowanych do napędu pojazdów trakcji kolejowej (rys. 3, 4).

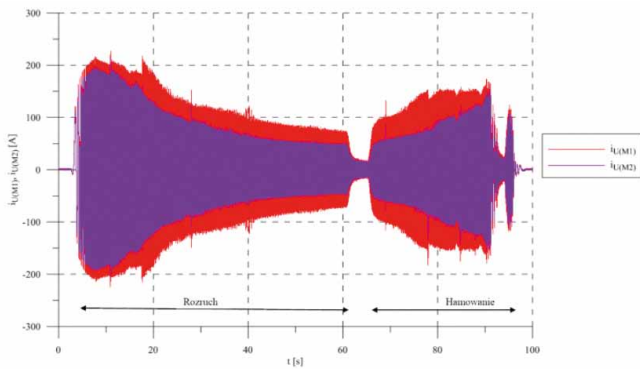
Wyniki przeprowadzanych wcześniej testów nie pozwalały na sformułowanie jednoznacznych wniosków. Taki stan był bezpośrednią przyczyną zaproszenia do badań zespołu badawczego złożonego z autorów niniejszej publikacji. Po zapoznaniu się ze skalą problemu oraz przeanalizowaniu struktury zasilania i układu mechanicznego skonfigurowano system pomiarowy przeznaczony do wykonania pomiarów na pojeździe trakcyjnym. System pomiarowy opierał się na wyselekcjonowaniu odpowiednich czujników, które umożliwią pomiar i rejestrację sygnałów o zmiennej częstotliwości i umożliwią niezawodną współpracę z układem telemetrycznym. Po zaprogramowaniu parametrów rejestracji (wartości progowe, sposób i czas



Rys. 5. Przetworniki prądu zamontowane pod pojazdem szynowym



Rys. 6. Wielokanałowy system akwizycji danych zamontowany w rozdzielni pojazdu szynowego

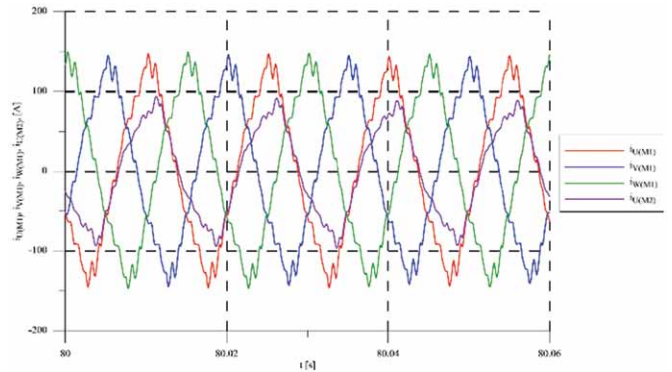


Rys. 7. Przebieg czasowy prądów silników podczas rozruchu oraz hamowania dynamicznego

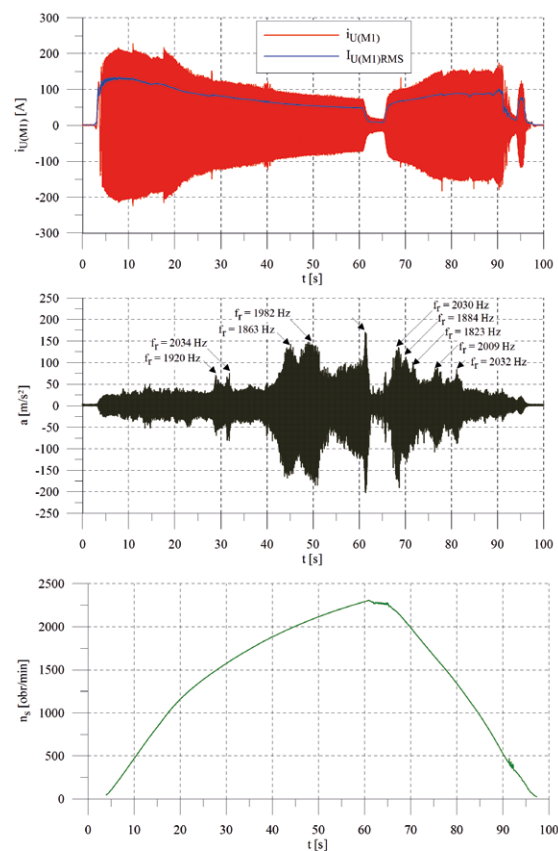
archiwizacji) urządzenia zostały zamontowane w pojeździe trakcyjnym (rys. 5, 6).

Badania były przeprowadzone zdalnie, w ciągu 30 dni normalnej eksploatacji pojazdu trakcyjnego. Rozpatrywane hipotezy przyczyn występowania awarii zostały ograniczone do jednej głównej przyczyny: praca silników w warunkach występowania częstotliwości zbliżonych do częstotliwości własnych wirników. Na rysunku 7 przedstawiono wyniki rejestracji prądów tej samej fazy dwóch silników zasilanych z tego samego falownika, napędzających ten sam zestaw napędowy. Wyniki rejestracji ujawniają różnice w obciążaniu się poszczególnych maszyn podczas przyspieszania i hamowania dynamicznego (odzyskowego). Na rysunku 8 przedstawiono zarejestrowane wszystkie prądy jednego silnika oraz prąd jednej fazy silnika drugiego podczas hamowania dynamicznego, podłączonych do tego samego falownika. Porównując prądy fazowe obu silników, można zaobserwować powstające asymetrie.

Wykorzystanie telemetrycznego, wielokanałowego systemu akwizycji danych umożliwiło przeprowadzenie analizy drgań



Rys. 8. Przebieg czasowy prądów silników podczas hamowania dynamicznego



Rys. 9. Przebiegi czasowe podczas rozruchu oraz hamowania dynamicznego pojazdu szynowego: a) wartości chwilowe oraz skuteczne prądu silnika; b) wartości chwilowe przyspieszenia drgań; c) prędkości wirowania pola

występujących na diagnozowanych silnikach. Na rysunku 9 przedstawiono wartości chwilowe oraz skuteczne prądu silnika, wartości chwilowe przyspieszenia drgań oraz przebieg prędkości wirowania pola (prędkości synchronicznej).

4. Wnioski

Prezentowane w niniejszym artykule wybrane wyniki badań są przykładem wielopłaszczyznowego podejścia do problemu pomiarów maszyn elektrycznych w warunkach

przemysłowych. Standardowa aparatura pomiarowo-rejestrująca, która wykorzystywana jest w laboratoriach badawczych, nie sprawdza się podczas pomiarów prowadzonych na obiektach pracujących w urządzeniach przemysłowych. W takich sytuacjach wymagana jest większa kreatywność w konfiguracji układów pomiarowych. Prowadzenie pomiarów długotrwałych często wymaga budowania własnych przyrządów, np. rejestratorów, co przedstawiono w artykule. Przydatność przedstawionych rozwiązań w praktyce inżynierskiej potwierdzają uzyskane wyniki. Obecnie autorzy pracują nad wykorzystaniem telemetrycznego, wielokanałowego systemu akwizycji danych jako narzędzia do bezczujnikowej diagnostyki drganiowej maszyn elektrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi [1–8]. Jest to nowa metoda diagnostyczna, przeznaczona do nadzoru diagnostycznego dla generatorów i silników ze wzbudzeniem od magnesów trwałych.

Literatura

[1] BARAŃSKI M.: *Vibration diagnostic method of permanent magnets generators – detecting of vibrations caused by unbalance*. IEEEExplore, Ever, 2014.

[2] BARAŃSKI M.: *New vibration diagnostic method of PM generators and traction motors – detecting of vibrations caused by unbalance*. IEEEExplore, Energycon, 2014.

[3] BARAŃSKI M., JAREK T.: *Electrical machine with permanent magnets as a vibration sensor – a test stand model*. IEEEExplore, ICEM, 2014.

[4] BARAŃSKI M., BĘDKOWSKI B.: *Analysis of PMSM Vibrations Based on Back-EMF Measurements*. IEEEExplore, ICEM, 2014.

[5] NANDI S., TOLIYAT H.A.: *Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines – a review*. Industry Applications Conference, 1999.

[6] TORREGROSSA D.: *Multiphysics Finite-Element Modeling for Vibration and Acoustic Analysis of Permanent Magnet Synchronous Machine*. IEEE Transactions On Energy Conversion, 2011.

[7] ISLAM R.: *Analytical Model for Predicting Noise and Vibration in Permanent-Magnet Synchronous Motors*. IEEE

Transactions On Industry Applications, 2010.

[8] LAKSHMIKANTH S., NATRAJ K.R., REKHA K.R.: *Noise and Vibration Reduction in Permanent Magnet Synchronous Motors – A Review*. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2012.

[9] GEORGAKOPOULOS I.P., MITRONIKAS E.D., SAFACAS A.N.: *Detection of Induction Motor Faults in Inverter Drives Using Inverter Input Current Analysis*. Industrial Electronics. IEEE Transactions on, 2011.

[10] BELLINI A., FILIPPETTI F., TASSONI C., CAPOLINO, G.A.: *Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines*. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2008.

[11] NEMEC M., DROBNIC K., NEDELJKOVIC D., FISER R., AMBROZIC V.: *Detection of Broken Bars in Induction Motor Through the Analysis of Supply Voltage Modulation*. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2010.


[12] LOPARO K.A., ADAMS M.L., WEI LIN, ABDEL-MAGIED M.F., AFSHARI N.: *Fault detection and diagnosis of rotating machinery*. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2000.

[13] ZAPAŚNIK R.: *Silniki indukcyjne z miedzianą odlewana klatką wirnika*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 71/2005.

[14] STRYCHARZ J.: *O możliwości wczesnego wykrywania pęknięć prętów klatki wirnika podczas pracy maszyny asynchronicznej*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 71/2005.

[15] BERNATT M., RUT R., MRÓZ J.: *O uszkodzeniach klatek wirnika*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 79/2008.

[16] BARAŃSKI M., DECNER A., JAREK T., POLAK A.: *Diagnostyka i monitoring trakcyjnych maszyn elektrycznych przy wykorzystaniu autonomicznego, telemetrycznego, wielokanałowego systemu akwizycji danych*. „Logistyka” 3/2015.

 dr inż. Marcin Barański
dr inż. Adam Decner
mgr inż. Tomasz Jarek
dr inż. Artur Polak

artykuł recenzowany