

Tomasz Węgiel, Maciej Sułowicz, Dariusz Borkowski
Politechnika Krakowska, Kraków

ROZPROSZONY SYSTEM AKWIZYCJI SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH DLA SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

A DISTRIBUTED SYSTEM OF DIAGNOSTICS SIGNAL ACQUISITION FOR INDUCTION MOTORS

Abstract: In this paper, the realization of a distributed measuring system is presented. The so called Tele-Measuring System (TMS) is developed at our University. As for data transmission via TMS, the Internet and the Ethernet networks are used as inexpensive reliable links. The measuring process requires installation of suitable sensors or actuators. In our case, we used the Hall effect converters (LEM), which convert the measured values of currents to voltage. The implementation of the LEM sensors in the Ethernet network requires an installation of a new smart device (data collector) that has an A/D converter, microcontroller with data flash and a LAN controller with embedded WEB server in one small package. The data collectors equipped in Ethernet 10Base-T adapters with RJ-45 connectors allow to build local measuring networks in star topology up to 100m distance between measuring object and nearest hub or switch. This board makes many measuring applications imaginable. Think of a diagnostic that can be easily controlled using either special front-end software and comfortable Internet browser from anywhere around the World. The detailed TMS elements design is described in this article.

1. Wstęp

Wraz z rozwojem technologii sieciowych i internetowych dla przemysłu otworzyły się zupełnie nowe możliwości budowy i stosowania systemów pomiarowych. Ze względu na to, iż dane pomiarowe z obiektu można za pomocą sieci przesłać na znaczne odległości i odczytać praktycznie z każdego miejsca na Ziemi, wszelkie działania związane z pomiarami w warunkach przemysłowych mogą odbyć się bezinwazyjnie. Ma to szczególne znaczenie podczas pracy urządzeń, gdyż wyłączenie na przykład układów napędowych lub ich elementów wiąże się z przerwami w produkcji, a awarie powodują duże straty finansowe.

W pracy użyta została koncepcja rozproszonego systemu akwizycji sygnałów diagnostycznych. Obiektami, których stan jest poddawany analizie są w tym przypadku silniki indukcyjne klatkowe ze względu na bardzo dużą ich popularność w przemyśle wynikającą z niskich kosztów zakupu i eksploatacji. Bezinwazyjna diagnostyka tych maszyn jest możliwa między innymi w oparciu o analizę widmową prądów faz stojana, które są bardzo łatwo dostępne w warunkach normalnej eksploatacji.

Realizacja rozproszonego systemu pomiarowego powinna być niezależna od infrastruktury sieciowej przeznaczonej do sterowania i zarządzania urządzeniami zainstalowanymi w przedsiębiorstwie. Dlatego też przedstawiona w pra-

cy koncepcja będzie oparta o odseparowaną podsieć wykorzystującą technologię sieci LAN, Internet i serwery baz danych dla gromadzenia danych pomiarowych i wzorców diagnostycznych.

Proponowane rozwiązanie składa się z trzech głównych warstw:

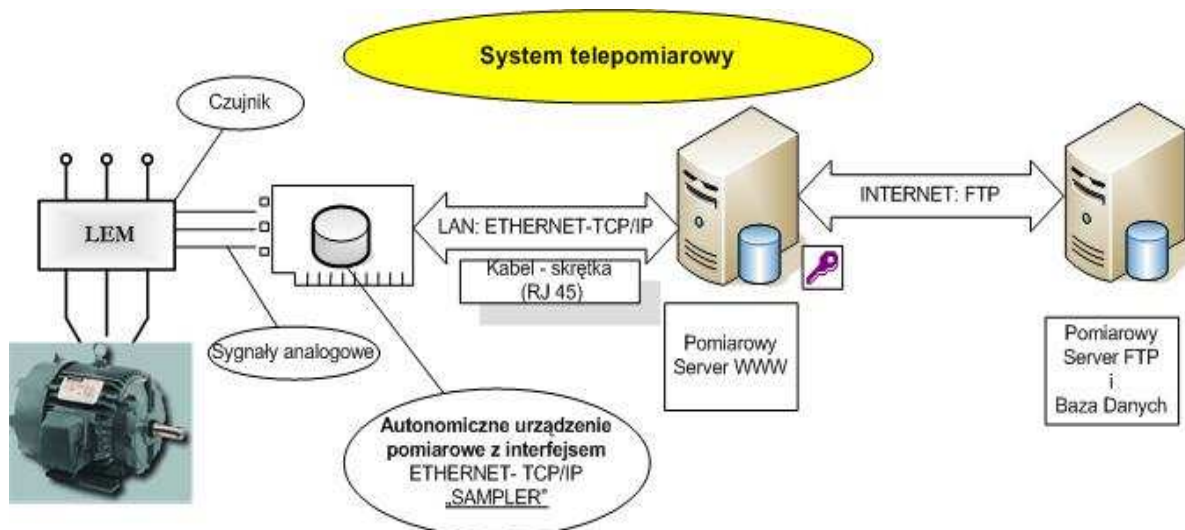
- Warstwy urządzeń pomiarowych,
- Warstwy sieciowej (komunikacyjnej),
- Warstwy zarządzania – Centrum Diagnostyczne.

W dalszej części pracy zostaną dokładnie przedstawione warstwy pierwsza i druga, czyli urządzeń pomiarowych i sieciowa stanowiące rozproszony system akwizycji sygnałów na potrzeby bezinwazyjnej diagnostyki silników indukcyjnych. Warstwa zarządzania została dokładnie przedstawiona między innymi w pracach [1], [2].

2. Warstwa urządzeń pomiarowych

Najważniejszym elementem tej warstwy jest instalowane przy silniku urządzenie pomiarowe z interfejsem Ethernet o roboczej nazwie SAMPLER. Urządzenie takie zostało wyprodukowane przy współpracy autorów pracy z firmą TOMAK z Krakowa.

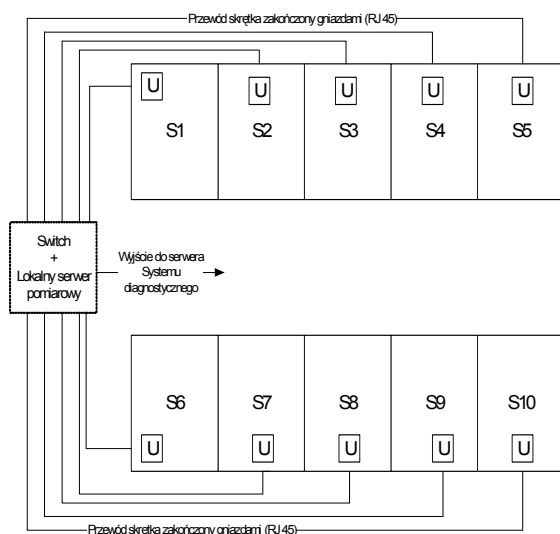
Schemat blokowy systemu pomiarowego do zbierania sygnałów diagnostycznych przedstawiono na Rys.1.



Rys.1. Schemat blokowy systemu pomiarowego dla diagnostyki silników

Na schemacie tym przedstawiono ideę akwizycji sygnałów diagnostycznych z wykorzystaniem przetworników LEM, urządzenia pomiarowego z interfejsem Ethernet oraz serwera pomiarowego dla pojedynczego silnika. Układ akwizycji danych odpowiada bezpośrednio za dostarczenie aktualnych wyników pomiarów dla etapu oceny diagnostycznej i jest jednym z głównych elementów Systemu Telediagnostycznego.

Przy budowie systemu dla większej liczby silników należy zbudować dedykowaną sieć urządzeń pomiarowych. Schemat ideowy połączeń w takim systemie przedstawiono na Rys.2.



Rys. 2. Instalacja urządzeń pomiarowych w rozdzielni

Na przedstawionym schemacie w każdej szafie sterowniczej w polu rozdzielczym dla danego silnika jest zainstalowane urządzenie pomiarowe. Dla zastosowanego interfejsu Ethernet, istnieje możliwość budowy dedykowanych sieci urządzeń pomiarowych o topologii gwiazdy, przy czym odległość pomiędzy obiektem mierzonym, a najbliższymi urządzeniami sieciowymi typu Switch lub Hub nie może przekraczać 100 m.

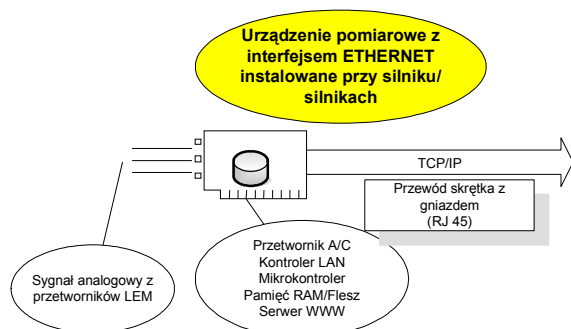
3. Budowa autonomicznego urządzenia pomiarowego typu SAMPLER

Urządzenie to jest pomostem pomiędzy czujnikami mierzącymi prąd (przetwornik - LEM), a Pomiarowym Serwerem WWW. Za pomocą tego urządzenia istnieje możliwość zbierania danych z czujników pomiarowych. Sterowanie procesem akwizycji odbywa się na zasadzie wymiany komend sterujących w formie zleceń HTTP pomiędzy Serwerem Pomiarowym WWW, a wbudowanym Serwerem WWW urządzenia.

Podstawowymi elementami tego urządzenia są:

- Przetworniki A/C,
- Mikrokontroler (wraz z zarządzającym oprogramowaniem),
- Kontroler LAN (z obsługą TCP/IP) i interfejsem Ethernet,
- Pamięć RAM / Flash,
- Wbudowany Serwer WWW.

Na Rys. 3. przedstawiono Schemat ideowy urządzenia pomiarowego z interfejsem ETHERNET.



Rys. 3. Schemat ideowy urządzenia pomiarowego dla diagnostyki silników

Projektanci urządzenia zakładali, że musi ono być jak najtańsze ze względu na konkurencyjność w stosunku do dostępnych na rynku podobnych urządzeń. Stąd też do jego budowy użyto mikrokontrolera AVR ATMEGA 128L firmy Atmel. Pełni on funkcję elementu odpowiedzialnego za zadania związane ze sterowaniem i konfiguracją, jak i również posiada decydującą rolę w przetwarzaniu i przesyłaniu danych otrzymywanych z zewnątrz. Kontakt z użytkownikiem zapewniają mu interfejs szeregowy SPI (Serial Programming Interface) oraz interfejs JTAG (JP1), który poza tą funkcją może służyć jako debugger dostępu do wszystkich wewnętrznych urządzeń peryferyjnych, wewnętrznej i zewnętrznej pamięci RAM, wewnętrznych rejestrów, liczników programowych, pamięci EEPROM i FLASH, oraz może tworzyć specjalne punkty kontrolne w przestrzeni pamięci. Atmega128L jest taktowany generatorem kwarcowym o częstotliwości 8 MHz. Jest to stosunkowo niska częstotliwość z uwagi na niskie napięcie zasilania 3,3 V ($3V \div 3,6V$).

Główne cechy Atmega128L:

- 128kB pamięci programu Flash,
- 4kB pamięci danych SRAM,
- 4kB nie ulotnej pamięci danych EEPROM,
- interfejsy JTAG i SPI,
- 2 ośmiobitowe kanały PWM,
- 8 kanałowy 10 bitowy przetwornik A/C,
- sześć trybów oszczędności energii,
- 6 portów równoległych, 2 porty szeregowo.

Jako interfejs Ethernet wykorzystywany jest kontroler CS8900A - „standard przemysłowy” firmy Cypress Semiconductor dostępny na rynku od wielu lat, o dobrze udokumentowanych walorach, pracujący z prędkością 10Mbit/sec.

Jego główne cechy to:

- kompatybilność ze standardem 802.3
- pobór prądu do 90mA
- zgodność z trybem 10base-T Full Duplex
- filtr analogowy dla portu 10base-T, automatyczna detekcja i korekcja polaryzacji
- tryby oszczędności energii
- 4kB wewnętrznej pamięci EPROM
- generowanie i testowanie kodu CRC
- programowalny adres MAC zawierający automatyczną retransmisję w razie kolizji, oraz podbicie transmitowanych ramek

Ze względu na scalenie w układzie CS8900A wszystkich bloków niezbędnych do komunikacji z siecią Ethernet, jego zastosowanie w urządzeniu wymaga użycia bardzo małej ilości elementów zewnętrznych. Układ CS8900A dołącza się do sieci Ethernet (medium standardu 10Base-T – dwuparowa skrętka nieekranowana – UTP, gniazdo RJ-45) przez podwójny transformator separujący. Układ CS8900A jest dołączony do procesora przez magistralę zgodną z przemysłowym standardem ISA. Procesor ma dostęp do układu poprzez cykle dostępu – zapisu i odczytu. CS8900A jest umieszczony w przestrzeni wejścia-wyjścia procesora. Z punktu widzenia projektanta ważne jest, iż układ CS8900A realizuje sprzętowo wszystkie zadania związane z transmisją danych w sieci Ethernet, w tym sygnalizuje błędy odbierania i ponawia wysyłanie ramek po wystąpieniu kolizji. W celu wysłania ramki Ethernet do sieci, należy wykonać szereg zapisów do układu – najpierw wysłać słowo sterujące, którego format określa dokumentacja [4], potem długość ramki w bajtach, a następnie zawartość ramki. Dane opisujące ramkę Ethernet, wysyłane do CS8900A, rozpoczynają się od adresu MAC przeznaczenia (odbiorcy ramki). Układ sam realizuje transmisję najpierw preambuły, potem otrzymanych od procesora danych, a następnie oblicza i wysyła sumę kontrolną (FCS). W układzie CS8900A możliwe jest zaprogramowanie dowolnego adresu MAC, do którego skierowane są do odbioru ramki Ethernet. Producent udostępnił też możliwość odbioru informacji skierowanej transmisją rozgłoszeniową (ang. broadcast) lub grupową (ang. multicast) oraz wszystkich ramek, niezależnie od adresu odbiorcy. Adresy MAC są rozpoznawane przez układ CS8900A i w przypadku stwierdzenia zgodności z ustawionymi –

ramka jest odbierana i buforowana w wewnętrznej pamięci RAM. Przy właściwym stanie słowa programującego układ, może zostać wygenerowane przerwanie, w którego funkcji obsługi procesor odczytuje odebraną ramkę. Układ CS8900A ma możliwość sterowania diodami świecącymi przy właściwym podłączeniu do sieci oraz w trakcie transmisji informacji.

Jako przetwornik A/C użyto AD7654 firmy Analog Devices. Jest to 16 bitowy, jednoczesny dwukanałowy przetwornik o częstotliwości 500kSPs pozwalający stworzyć cztery niezależne kanały próbkowania.

Jako rozszerzenia pamięci użyto DataFlash AT45DB161B firmy Atmel o pojemności 16 Mb. Dzięki temu jest miejsce na pobierane dane.

Tak więc powstało autonomiczne urządzenie przetwarzające napięciowy sygnał analogowy na cyfrowy z interfejsem Ethernet o roboczej nazwie SAMPLER.

Parametry techniczne urządzenia:

- dwa niezależne kanały pomiaru napięcia
- zakres napięć wejściowych: -5..0..+5V
- rozdzielczość pomiaru: 16-bitowa;
- rezystancja wejściowa: 5kohm
- ilość pomiarów na sekundę: 10.000 (pomiar co 0.1 ms)
- ilość próbek: 100.000 / wielkość binarnego pliku wynikowego: 400.000 bajtów/
- zasilanie: napięcie stałe 18..30VDC,
- pobór mocy 2W (wbudowany własny zasilacz).

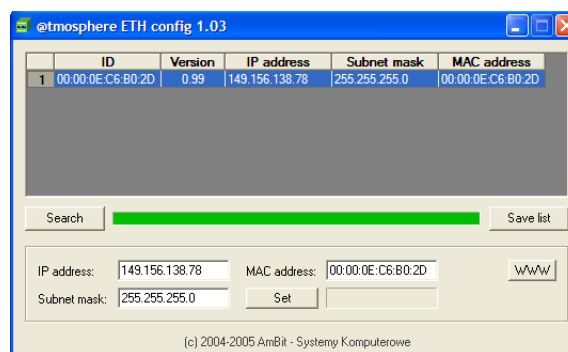
Nasze urządzenie może zbierać dane z czterech kanałów pomiarowych, przy czym dwóch jednocześnie z częstotliwością 10kHz w czasie 10s, a następnie udostępniać je w celu przesłania poprzez protokół TCP/IP do użytkownika.

Jak już wspomniano wcześniej, urządzenie posiada wewnętrzny wbudowany Serwer WWW, który pozwala na zdalną zmianę konfiguracji, parametrów określonego adresu, wybór tras i strategii routowania datagramów.

Prace urządzenia kontroluje system operacyjny czasu rzeczywistego „@tmosphere”. System ten powstał „od podstaw” z dokumentów RFC opisujących protokoły komunikacyjne Internetu (sieci TCP/IP). Firmy TOMAK i AMBIT są autorami tego oprogramowania. Jako, że system operacyjny został napisany w języku C, od początku istnieje wpływ na wszystkie aspekty jego działania i pełny wpływ na automaty stanów dla protokołów TCP/IP. System operacyjny może

obsługiwać kontroler Ethernet na pełnej prędkości 10 Mbit/sec. System operacyjny „@tmosphere” obsługuje fragmentację i defragmentację datagramów IP, przez co zmiany w konfiguracji sieci Internet/Intranet, zmiany tras przesyłania datagramów, rodzaje sieci i wielkości pakietów danych transmitowanych przez te sieci - nie mają żadnego wpływu na poprawną komunikację z urządzeniem.

Do przeszukiwania lokalnej sieci w poszukiwaniu zainstalowanych urządzeń typu SAMPLER służy program "Config". Program ten umożliwia również zmianę adresu MAC kontrolera Ethernet oraz numeru IP modułu wraz z maską podsieci tak, aby mógł pracować w lokalnej sieci Ethernet.



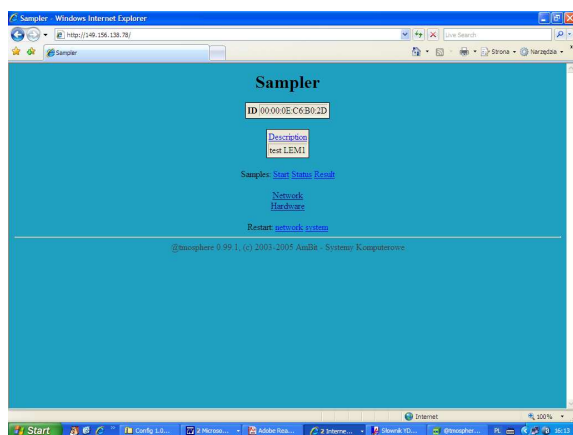
Rys. 4. Przykładowe skanowanie sieci programem „Config”

Jedną z podstawowych cech usług sieciowych oferowanych przez protokół TCP/IP jest organizacja usług (sieciowych) w strukturze klient-serwer. Co to oznacza? Usługa (np. HTTP) udostępniana jest poprzez program (serwer), który na danym porcie IP oczekuje na połączenie. Czyli czeka i jak przyjdzie żądanie od programu, który jej potrzebuje (klienta) to usługa jest realizowana (serwowana).

Aby połączenie TCP/IP (przesyłanie danych) mogło być zrealizowane to musi być zażądane przez klienta, (który tej usługi potrzebuje) i obsłużone przez serwer, który tę usługę realizuje (zostanie przeprowadzona transakcja).

W urządzeniach SAMPLER wszelkie usługi realizowane są przez serwer (HTTP). Zaletą tego rozwiązania jest możliwość sterowania urządzeniem za pomocą dowolnej przeglądarki internetowej. Poprzez wskazania w przeglądarce adresu IP urządzenia, użytkownik może zobaczyć jego interfejsową stronę WWW, która pozwala zmieniać ustawienia konfiguracyjne urządzenia, zapoczątkować proces pomiarowy,

zobaczyć status wykonywanych pomiarów jak i również pobrać udostępnione przez serwer ostatnio wykonane dane pomiarowe.



Rys. 5. Przykładowy widok strony WWW urządzenia SAMPLER

Tak więc wbudowany serwer pełni funkcję pośredniczącą pomiędzy urządzeniem a użytkownikiem (czyli warstwą zarządzania), zlecającym pomiary i pobierającym dane z wykonanych pomiarów. Pobrane z urządzenia dane pomiarowe w postaci pliku binarnego mogą następnie być zapisane na dysku lokalnego hosta (komputera pracującego w podsieci urządzeń pomiarowych), przekazane do Serwera FTP lub też do odpowiednio przygotowanej bazy danych pomiarowych.

Obsługa urządzenia jest bardzo prosta i polega jedynie na wydawaniu zlecenia HTTP.

Startu pomiarów dokonuje się poprzez wpisanie zlecenia (można to wykonać z dowolnej przeglądarki internetowej) <przydzielone IP>/start, po czym następuje odpowiedź modułu „OK - przyjęto zlecenie” lub „Forbidden - trwa właśnie inny pomiar”. Zlecenie kontroli stanu zaawansowania pomiarów: <przydzielone IP>/status, po czym odpowiedź modułu: „Lenght: xxxxxx” określa ilość pobranych próbek natomiast „koniec” oznacza, że pomiary zostały zakończone (wartość xxxxxx osiągnęła 100.000). Zlecenia pobrania wyników pomiarów: <przydzielone IP>/result, co skutkuje odpowiedzią modułu: rozpoczęty transfer pliku binarnego "results.bin".

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule rozwiązanie rozproszonego systemu akwizycji sygnałów diagnostycznych dla silników indukcyjnych klatkowych ma potencjalnie bardzo duże możliwości

zastosowania w warunkach przemysłowych. Prosty układ pomiarowy oparty na rozwiązaniu zaprezentowanym w tym artykule można by instalować w dowolnym miejscu przy diagnozowanym silniku indukcyjnym klatkowym. Po zainstalowaniu urządzenia wystarczy podłączyć go czy to do dedykowanej sieci urządzeń pomiarowych czy bezpośrednio do zakładowej sieci LAN. Po właściwym skonfigurowaniu urządzenia dostęp do danych pomiarowych z urządzenia będzie możliwy z dowolnego miejsca na Ziemi. W dowolnej chwili jest możliwość wykonania i pobrania danych pomiarowych z zainstalowanych urządzeń pomiarowych znajdujących się przy silniku pracującym w określonym układzie napędowym. Przy takim rozwiązaniu nie ma potrzeby fizycznej obecności przy obiekcie celem wykonania pomiarów diagnostycznych. Jest to jeden ze sposobów na obniżenie kosztów badań diagnostycznych.

5. Literatura

- [1]. Węgiel T., Sułowicz M.: *System Telediagnostyczny dla silników indukcyjnych klatkowych*. Proceedings of XLII International Symposium on Electrical Machines SME'2005, 17-19.06.2005, Kraków, str. 283-286.
- [2]. Sobczyk T.J., Węgiel T., Sułowicz M., Warzecha A., Weinreb K.: *A distributed system for diagnostics of induction motors*. Proceedings of IEEE Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED'2005, Viena, Austria, 7-9.09.2005, str. 83-88.
- [3]. <http://www.atmel.com>
- [4]. <http://www.cirrus.com>
- [5]. <http://www.analog.com>

Autorzy

dr inż. T. Węgiel pewegiel@cyf-kr.edu.pl
 dr inż. M. Sułowicz pesulowi@cyf-kr.edu.pl
 mgr inż. D. Borkowski d_borkowski@o2.pl
 Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Instytut Elektromechanicznych Przemian Energii, Katedra Maszyn Elektrycznych
 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę jako projekt badawczy