

Czesław T. Kowalski, Jacek Lis
Politechnika Wroclawska, Wrocław

ZDALNE MONITOROWANIE I DIAGNOSTYKA NAPĘDÓW PRZEKSZTAŁTNIKOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU SIECI ETHERNET

REMOTE MONITORING AND DIAGNOSTICS OF CONVERTER FED INDUCTION MOTOR DRIVES USING ETHERNET

Abstract: The paper deals with the remote monitoring of a converter fed induction motor drive via Ethernet using the LabVIEW environment. In order to address this challenge a complex solution is proposed concerning both hardware (laboratory set-up design) and software layer (the consumer, distributor and producer's application). Techniques for remote monitoring of a converter fed induction motor drive's operation are discussed. The results of the experimental tests are presented.

1. Wstęp

W ostatnich latach w przemysłowych instalacjach automatyki coraz częściej stosowane są napędy regulowane z silnikami indukcyjnymi. Tendencja ta spowodowana jest silnym rozwojem energoelektroniki, mikroprocesorowych systemów sterowania oraz zaawansowanych algorytmów sterowania, dodatkowym atutem tego typu rozwiązań jest coraz niższa cena. Duże skomplikowanie nowoczesnych aplikacji napędowych, konieczność zapewnienia niezawodności oraz minimalizacja kosztów związanych z potencjalnymi awariami implikuje silną potrzebę monitorowania urządzeń napędowych w celu określania ich aktualnego stanu technicznego oraz bieżących warunków pracy. Istnieje wiele możliwości rozwiązania zagadnienia monitoringu pojedynczych napędów oraz grup napędów rozproszonych. Począwszy od kłopotliwego i kosztownego nadzoru bezpośredniego, poprzez zastosowanie specjalizowanych urządzeń diagnostycznych aż po zyskujące na popularności instalacje sieciowe do zdalnego monitoringu instalacji rozproszonych. Ostatnie z wymienionych rozwiązań wymaga zastosowania jednego z wariantów komunikacji sieciowej. Wysokie ceny dedykowanych przemysłowych rozwiązań sieciowych wiodących producentów oraz ich niska przepustowość skłania do poszukiwania alternatywnych rozwiązań [1], [2]. Zdalne monitorowanie grupy obiektów napędowych o szybko zmieniających się parametrach wymaga rozwiązań sieciowych o dużej przepustowości, dedykowanych do zdalnego monitorowania [3]. Biorąc pod uwagę dostępność komponentów, popularność oraz stosunek

możliwości do ceny w dziedzinie transmisji dużych ilości danych, naturalnym wydaje się zastosowanie sieci w standardzie Ethernet. Zastosowanie sieci w standardzie Ethernet, oprócz wysokiej przepustowości, umożliwia ujednoczenie struktury sieci oraz integrację dotychczas odizolowanej części przemysłowej sieci z ogólnie dostępną infrastrukturą informatyczną firmy. Otwiera to nowe możliwości nie tylko dla systemów SCADA (ang. Supervisory Control and DataAcquisition) ale również dla innego typu systemów zarządzających – logistycznych (systemy magazynowe, planujące produkcję i gospodarkę zasobami firmy, zarządzające polityką remontową, wspomagające podejmowanie decyzji biznesowych itp.).

W referacie omówiono wybrane aspekty rozwiązania systemu monitorowania i diagnostyki rozproszonej grupy napędów przekształtnikowych z silnikami indukcyjnymi. W aplikacji zastosowano środowisko programowe LabVIEW i dostępne w nim komponenty oraz sieć Ethernet.

2. Sieć ETHERNET

Ethernet jest jednym ze standardów budowy sieci komputerowej [1][2], opracowany przez firmę Xerox. W latach osiemdziesiątych, dzięki współpracy firm DEC, Intel i Xerox, stał się on powszechnie uznanym standardem znanym jako DIX Ethernet - od pierwszych liter nazw wdrażających go firm. Specyfikacja Ethernetu określa wymagania dotyczące okablowania oraz innych parametrów technicznych. Ethernet jest implementowany jako oprogramowanie ukła-

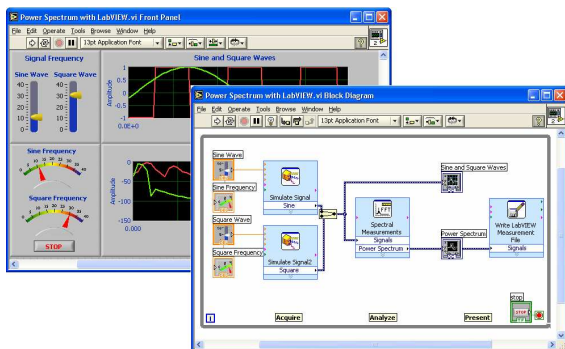
dowe (ang. firmware) instalowane na kartach interfejsu sieciowego i innych urządzeniach.

W nowoczesnych sieciach Ethernet obecnie stosuje się już tylko dwa rodzaje topologii:

- sieć o topologii szyny (Ethernet 10Base-2) – do jej budowy wykorzystuje się kabel koncentryczny 50 Ohm RG-58, maksymalna długość segmentu sieci wynosi 185m, kolejne węzły dołączane są do sieci za pomocą tzw. trójników, ze względu na wymóg utrzymania odpowiedniej impedancji falowej każdy koniec magistrali musi zostać zakończony terminatorem,
- sieć o topologii gwiazdy (Ethernet - 10Base-T, Fast Ethernet - 100Base-TX) – jest powszechnie stosowana, ze względu na swoją bezawaryjność, wyparła sieci zbudowane na kablu koncentrycznym, do budowy stosuje się kabel złożony z skręconych ze sobą par przewodów, tworzących linię zrównoważoną (symetryczną), skręcenie przewodów ze splotem jeden zwój na 6-10 cm chroni transmisję przed interferencją otoczenia.

3. Technologia sieciowa DataSocket

Programistyczna technologia sieciowa DataSocket jest jednym z rozwiązań proponowanych przez firmę National Instruments wraz ze środowiskiem programowania graficznego LabVIEW (rys. 1) [2], [7], [8], [9], [10].



Rys. 1. Panel wirtualnego przyrządu oraz jego diagram blokowy

Technologia DataSocket pozwala programiście na maksymalne uproszczenie zadań związanych z realizacją transmisji danych poprzez sieć lokalną lub Internet. Na tle istniejących technologii sieciowych takich jak np.: DDE (Dynamic Data Exchange), DataSocket wyróżnia się prostym i wysokowydajnym interfejsem, umożliwiającym transmisję danych pomiędzy rozproszonymi elementami wirtualnych przyrządów pomiarowych oraz rozproszonymi systemami

miarowymi a jednostką zbierającą i przetwarzającą dane. Technologia ta została stworzona na bazie protokołu TCP/IP.

Rozpatrując DataSocket jako komponent środowiska LabVIEW można wyróżnić dwie niezależne części:

- DataSocket API – będącego interfejsem programowym umożliwiającym oprogramowanie zadania transmisji danych dowolnego typu,
- DataSocket Serwer – będącego samodzielną aplikacją, która jest odpowiedzialna za transmisję danych poprzez protokół TCP/IP.

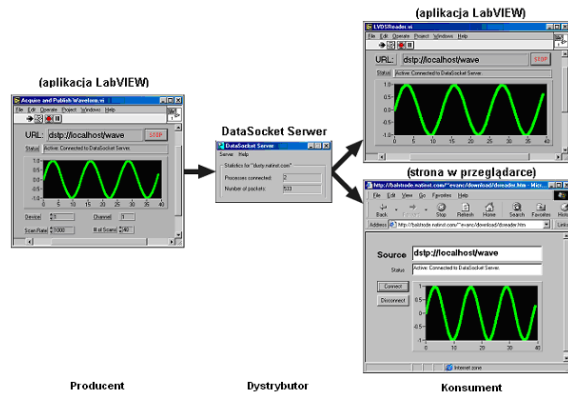
Technologia ta posiada implantacje dla LabVIEW - VI, LabVIEW/CVI, w językach C/C++, .NET oraz ActiveX.

DataSocket API automatycznie konwertuje dane pomiarowe na formę umożliwiającą wysyłanie ich przez sieć. Aplikacja pobierająca dane odtwarza oryginalny format danych. Ta automatyczna zamiana eliminuje potrzebę skomplikowanej konwersji danych przeprowadzanej przez specjalnie napisany do tego celu kod programu. Cecha ta stanowi o bardzo dużej wygodzie użytkownika technologii DataSocket. Protokół TCP/IP jest przystosowany do wysłania danych wyłącznie łańcuchów znaków.

Serwer DataSocket pracuje na zarejestrowanym przez firmę National Instruments porcie 3015 [9],[10]. Daje to gwarancję, że żadna inna aplikacja nie będzie wykorzystywała portu, na którym pracuje Serwer. Ważną cechą Serwera DataSocket jest jego mechanizm inteligentnego buforowania danych. Bufor ten opiera się na zasadzie FIFO (First In First Out). W przypadku przepełnienia bufora zastąpieniu ulegną najstarsze, czyli najmniej aktualne dane.

Praca z DataSocket odbywa się identycznie jak z standardowymi portami we-wy i obejmuje cztery podstawowe operacje: otwarcie, zapis, odczyt, zamknięcie [6]. Protokół DataSocket ma możliwość odczytu danych z:

- serwera http,
- serwera FTP,
- plików lokalnych,
- serwera OPC (OLE for Proces Controls),
- protokołu DSTP - protokół technologii DataSocket służący do przesyłania wartości zmiennych w czasie rzeczywistym.



Rys. 2. Architektura producent - dystrybutor - konsument na przykładzie DataSocket

Koncepcja działania technologii DataSocket jest rozwinięciem architektury klient/serwer. Rozróżnia się tu trzy rodzaje modułów: producent, dystrybutor, konsument (rys 2).

Dystrybutor ma za zadanie odbierać dane od producentów i udostępniać je konsumentom. Dystrybutor potrafi obsłużyć wielu producentów i konsumentów w tym samym czasie. Serwer (dystrybutor) może znajdować się na tym samym komputerze, na którym znajduje się „producent” lub może być umiejscowiony w dowolnym punkcie sieci lokalnej lub Internecie. Duże aplikacje mogą korzystać z wielu serwerów oraz producentów. Architektura ta cechuje się wysoką skalowalnością.

4. Rozproszona sieć monitorująca napędy z silnikami indukcyjnymi

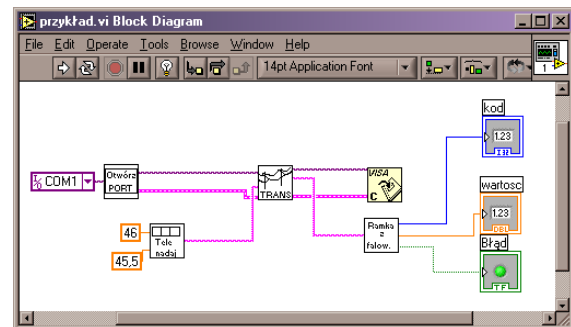
Rozpatrywana sieć monitorująca składała się z rozproszonych systemów pomiarowych zbudowanych z urządzeń pomiarowych oraz komputera PC pełniącego rolę jednostki rejestrującej i analizującej dane.

Rolę zdalnych systemów pomiarowych spełniają przemysłowe urządzenia *FieldPoint* wyposażone w interfejs sieciowy i przetworniki analogowo-cyfrowe oraz porty cyfrowe. Pojedynczy zestaw uzupełniono przekładnikami pomiarowymi prądowymi oraz napięciowymi. Alternatywnie do urządzeń *FieldPoint* w roli zdalnych urządzeń pomiarowych możliwe jest zastosowanie urządzeń klasy Compact *FieldPoint*, CompactRIO oraz komputerów wyposażonych w karty pomiarowe (ze względu na minimalne zmiany, które trzeba wykonać, aby przystosować oprogramowanie producenta do innej platformy sprzętowej – wszystkie te urządzenia są kompatybilne z LabVIEW).

Zadaniem zdalnych urządzeń pomiarowych (producentów) jest rejestracja oraz transmisja do dystrybutora danych pomiarowych. Dodatkowymi funkcjami zaimplementowanymi w oprogramowaniu producenta są:

- możliwość podstawowego kontrolowania stanu przekształtnika,
- możliwość parametryzowania przekształtnika danymi przesyłanymi z komputera PC (podstawowe rejestry konfiguracyjne falowników),
- możliwość podstawowego sterowania pracą przekształtnika (włącz/wyłącz, zadawanie prędkości).

Komunikacja z falownikami odbywa się za pomocą portów RS232. Na rys. 3 przedstawiono diagram programu do komunikacji z przekształtnikiem częstotliwości.

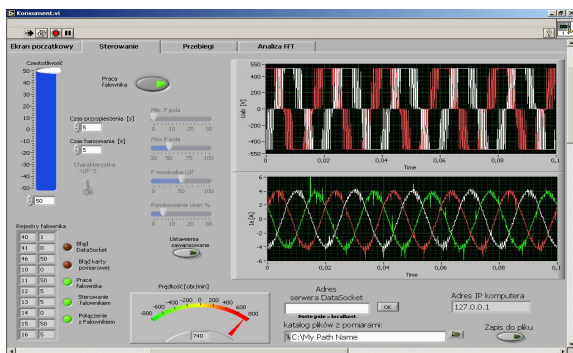


Rys. 3. Diagram przykładowego programu realizującego komunikację z przekształtnikiem częstotliwości

Urządzenia zdalne (producenci) komunikują się za pomocą sieci Ethernet z komputerem PC pełniącym rolę dystrybutora.

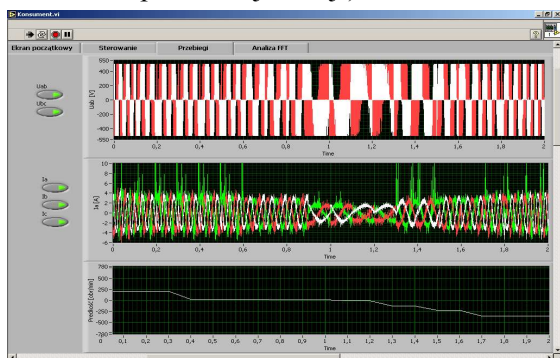
Rolę konsumenta pełni aplikacja opracowana w środowisku LabVIEW. Aplikację podzielono na cztery zasadnicze części (zorganizowane w zakładki):

- ekran początkowy – zawierający podstawowe informacje o programie,
- sterowanie – zawierającej wirtualny panel przekształtnika częstotliwości umożliwiający zdalną kontrolę oraz podgląd najważniejszych parametrów oraz wybranie adresu zdalnego systemu pomiarowego (producenta),
- przebiegi – umożliwiającej podgląd przebiegów wybranych przez użytkownika sygnałów
- analiza FFT – umożliwiającej przeprowadzenie analizy prądów stojana w dziedzinie częstotliwości (zawartość THD, wyższe harmoniczne).

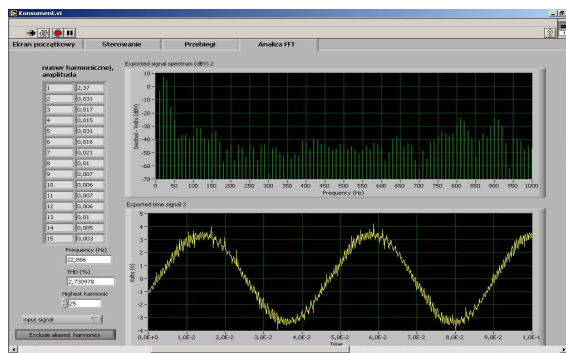


Rys. 4. Okno aplikacji konsumenta z aktywną zakładką „sterowanie” – widok na wirtualny panel przeksztaltnika

Na rys. 4 przedstawiono wygląd panelu aplikacji konsumenta - zakładka „sterowanie” (praca monitorowanego układu napędowego). Na uwagę zasługuje fakt, że aplikacja na bieżąco monitoruje poprawność wszystkich parametrów, każda nieprawidłowość jest natychmiast zgłaszana użytkownikowi poprzez odpowiednie wskaźniki. Podgląd najważniejszych części rejestru znajduje się w lewym dolnym rogu okna. Dokładny opis rejestru znajduje się w dokumentacji przeksztaltnika [5]. Cały rejestr pod postacią macierzy jest na bieżąco przesyłany do Serwera za pomocą technologii DataSocket. W prawym dolnym rogu okna znajduje się kontrolka umożliwiająca dokonanie wyboru adresu producenta. Panel operatora w zakładkach „przebiegi” (rys. 5) umożliwia obserwację sygnałów z wybranych kanałów pomiarowych. Odbierane dane są akumulowane w buforze programowym tak, aby możliwa była obserwacja danych z ostatnich 2 sekund. Pozwala to na wyraźne zaobserwowanie zmian w przebiegach, (np. rejestracja danych w czasie nawrotu lub rozruchu) oraz wychwycenie zdefiniowanych zdarzeń (poprzez odpowiednie ustawienie wyzwalania i sposobu rejestracji).



Rys. 5. Okno aplikacji konsumenta z aktywną zakładką „przebiegi” – obserwacja danych pomiarowych



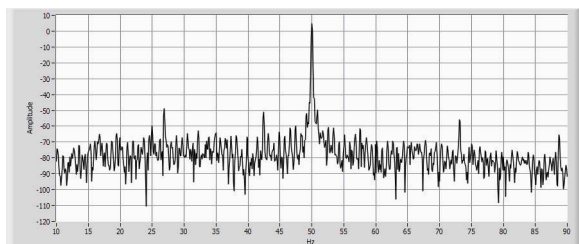
Rys. 6. Okno aplikacji konsumenta z aktywną zakładką „analiza FFT”

5. Narzędzia diagnostyczne umożliwiające szybkie wykrywanie uszkodzeń

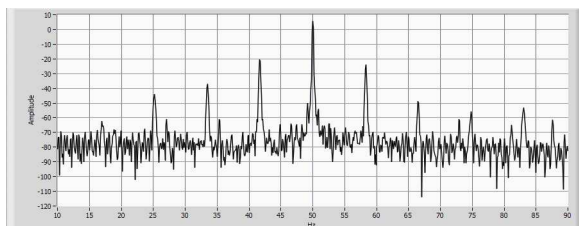
W wykrywaniu uszkodzeń napędów z silnikami indukcyjnymi podstawowe znaczenie mają metody wykorzystujące analizę częstotliwościową łatwo dostępnych sygnałów pomiarowych a przede wszystkim drgań i prądu stojana. Z dostępnych obecnie analiz najczęściej stosowana jest analiza widmowa wykorzystująca algorytm szybkiej transformaty Fouriera. W środowisku LabVIEW dostępne są, oprócz analizy FFT, również inne np. analiza krótkoczasowa i falkowa. Dzięki temu możliwe jest tworzenie wirtualnych analizatorów o znacznie większych możliwościach diagnostycznych niż w klasycznych rozwiązaniach sprzętowych. W omawianej w rozdziale 4 aplikacji do monitorowania i diagnostyki przeksztaltnikowych napędów z silnikami indukcyjnymi zastosowano analizy FFT, krótkoczasową STFT oraz falkową. Poniżej przedstawiono przykładowe okna zakładki diagnostycznych: „analiza FFT”, „analiza STFT”, „analiza falkowa”.

Zakładka „analiza FFT” (rys. 6) umożliwia przeprowadzenie analizy prądu wybranej fazy pod kątem zawartości wyższych harmonicznych. Na ekranie można było obejrzeć rozkład spektrum wyższych harmonicznych, odczytać wartość amplitudy pierwszych 25 harmonicznych oraz stopień zniekształceń harmonicznych (THD). Na rys. 7 przedstawiono dla porównania okna z powiększonym fragmentem widma prądu stojana silnika z nieuszkodzonym i uszkodzonym wirnikiem klatkowym.

a)



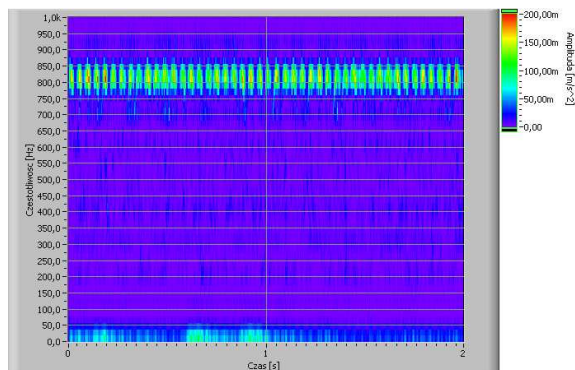
b)



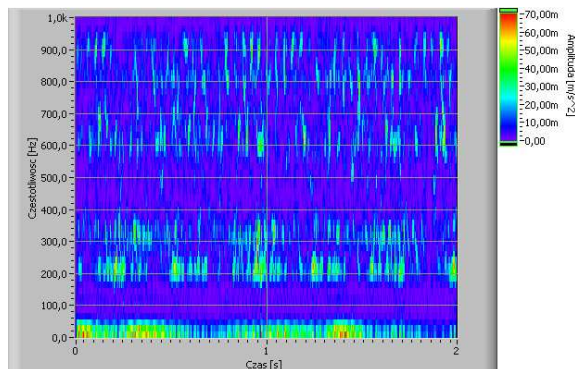
Rys. 7. Widmo prądu stojana silnika z wirnikiem nieuszkodzonym(a) i uszkodzonym(b)

Na rysunkach 8 przedstawiono widma czasowo-częstotliwościowe STFT sygnału przyspieszenia drgań mechanicznych dla silnika z nieuszkodzonym i uszkodzonym łożyskiem (bieżnia zewnętrzna).

a)



b)

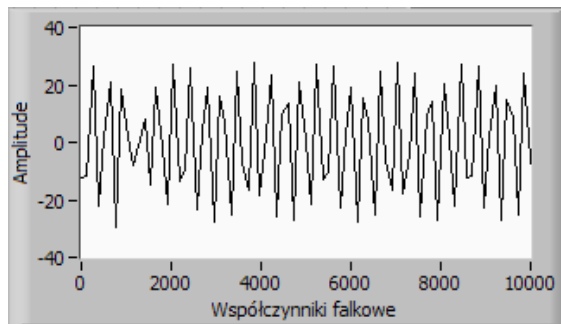


Rys. 8. Widmo STFT przyspieszenia drgań silnika z nieuszkodzonym łożyskiem (a) oraz z uszkodzoną bieżnią zewnętrzną łożyska (b)

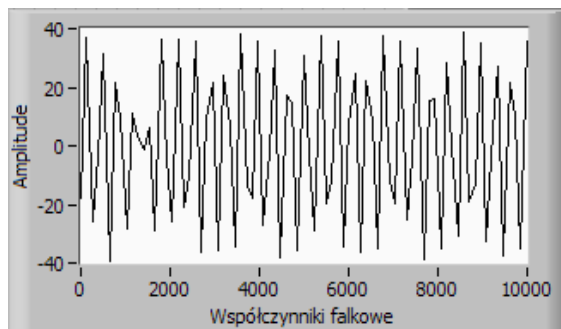
Widma STFT dla sygnałów prądu stojana i drgań są dostępne w zakładce "analiza STFT" i umożliwiają pogłębienie informacji diagnostycznej o określeniu czasu, w którym pojawia się symptom uszkodzenia (charakterystyczna częstotliwość).

W zakładce „analiza falkowa” można obejrzeć przebiegi w czasie amplitud współczynników falkowych dla wybranego węzła i poziomu dekompozycji sygnału prądu lub drgań i założonego pasma częstotliwości [4]. Wybór odpowiedniego węzła oraz poziomu dekompozycji sygnału zależy w dużym stopniu od doświadczenia diagnosty w posługiwaniu się tym narzędziem. Możliwe są również inne sposoby obserwowania i porównywania wyników analizy falkowej (np. obserwacja i porównywanie wybranych aproksymacji i detali).

a)



b)



Rys. 9. Przebiegi współczynników falkowych wielorozdzielczej analizy falkowej prądu stojana dla silnika indukcyjnego z nieuszkodzonym(a) i uszkodzonym wirnikiem(b)

6. Uwagi i wnioski końcowe

W niniejszym artykule zaprezentowano realizację koncepcji zdalnego monitorowania przekształtnikowych napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi z zastosowaniem środowiska LabVIEW oraz sieci Ethernet. Przedstawiono rozwiązanie programistyczne składające się z zastawu aplikacji LabVIEW umożliwiających

wykonywanie zadań akwizycji danych portów szeregowych, parametryzowania, sterowania falownikiem, transmisji danych do zdalnego konsumenta, analizę częstotliwościową wybranych sygnałów dla celów diagnostycznych. Aplikacja konsumenta przygotowana została tak, aby można było jej użyć na dowolnym komputerze PC pracującym pod kontrolą systemu operacyjnego Windows, mającym dostęp do sieci Ethernet bez potrzeby instalacji środowiska LabVIEW.

Środowisko LabVIEW pozwoliło na opracowanie wydajnej wielodostępnej aplikacji, której funkcjonalność w przyszłości można rozszerzyć o bardziej zaawansowane funkcje analizy danych pomiarowych, kontrolę stanów awaryjnych, monitorowanie stanu obciążenia silników i wiele innych funkcji. W przyjętym modelu budowy aplikacji koszty związane z zapotrzebowaniem na moc obliczeniową (przeprowadzenie analiz) zostały przerzucone na aplikację konsumenta, co umożliwi minimalizację kosztów sprzętu – komputer konsumenta nie musi być komputerem przemysłowym, może być zwykłym komputerem biurowym o dużej wydajności umieszczonym w warunkach biurowych (a więc znacznie tańszym od sprzętu przemysłowego). Na podkreślenie zasługuje fakt, że aplikacje tego typu mogą być realizowane również na jednostkach rozproszonych typu Compact FieldPoint (aplikacja producenta). Pozwala to na efektywną implementację sieci monitorującej wiele napędów rozproszonych w ramach nowoczesnych systemów automatyki przemysłowej.

7. Literatura

- [1]. Kwiecień A., *Analiza przepływu danych w komputerowych sieciach przemysłowych*, Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, 2000 r.
- [2]. Edwards H., *Building an Interactive Web Page with DataSocket*, Application Note 127, National Instruments Corporation, USA 1999
- [3]. Kowalski Cz. T., Lis J., Podhorodecki J., *Zastosowanie sieci Ethernet do monitorowania przekształtnikowych układów napędowych*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, Nr 60, Zeszyt Studia i Materiały nr 27 2006 r.
- [4]. Kowalski Cz. T., *Zastosowanie analizy falkowej w diagnostyce silników indukcyjnych*, Przegląd Elektrotechniczny, nr1 2006, str. 21-26
- [5]. Lenze GmbH & Co KG Aerzen, *Inverter drives Series 8300-A/640-A Additional functions*, Technical Description, Germany 1991.

- [6]. National Instruments Corporation, NI6013/6014 *User Manual Multifunction I/O Devices for PCI Bus Computers*, USA 2002

źródła Internetowe:

- [7]. *DataSocket Transfer Protocol (dstp) Overview*, National Instruments <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf/webmain/9149C3CA1B23B6C3862569920055F425>
- [8]. *Developing Data Logger Applications with LabVIEW*, National Instruments <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf/webmain/2D03D097BA6637C186256D270081AA2B>
- [9]. *Integrating the Internet into Your Measurement System – DataSocket™ Technical Overview* <http://www.ni.com/pdf/wp/wp1680.pdf>
- [10]. *A Technical Survey of Industrial Networks*, National Instruments <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5076>

Autorzy

Dr hab. inż. Czesław T. Kowalski

E-mail: Czeslaw.T.Kowalski@pwr.wroc.pl

Mgr inż. Jacek Lis

E-mail: Jacek.Lis@pwr.wroc.pl

Politechnika Wrocławska

Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław

www.imne.pwr.wroc.pl