

**Tomasz Węgiel, Ryszard Mielnik, Politechnika Krakowska
Maciej Sulowicz, Instytut Elektrotechniki, Warszawa**

REALIZACJA WYBRANYCH FUNKCJI SIECIOWEGO SYSTEMU DIAGNOZUJĄCEGO URZĄDZENIA NAPĘDOWE

REALIZATION OF CHOSEN FUNCTIONS FOR DIGNOSTIC NETWORK SYSTEM OF ELECTRICAL DRIVES

Abstract: The fault detection and diagnosis in drive systems has practical great significance. Modern non-invasive diagnostics of induction cage motors usually bases on Fourier spectra of stator currents. Creation of individual diagnostic system for one specific motor is very expensive. This problem can be transfer to specialized Diagnostic Center. The aim of this center is to provide detection and diagnosis damage in motors as such outsourcing service. For realization diagnostic applications, Diagnostic Center provide for a specialized data-base. Information can be analyzed in this center by expert systems and faults can be detected before they lead to a partial or total failure of the machine. It requires of installation suitable equipments for remount control measurements and data acquisition in industrial plant. That system offers advantages like: reduction of costs measure and data collection, immediate data delivery and independence from distance to measured object. In this paper, we propose a distributed tele-measuring system supporting Diagnostic Center. As for data transmission, Internet and industrial Ethernet net is used as inexpensive link.

1. Wstęp

Tematyka pracy wynika z zapotrzebowania na bezinwazyjną diagnostykę układów napędowych w głównych ciągach technologicznych zakładów przemysłowych. Pojęcie bezinwazyjności jest jednym z kluczowych warunków, gdyż wyłączanie układów napędowych lub ich elementów w celach przeglądu wiąże się z przerwami w produkcji, a awarie powodują ogromne straty. Bezinwazyjną diagnostykę silników asynchronicznych klatkowych będących podstawowymi elementami współczesnych układów napędowych prowadzi się w oparciu o analizę widmową prądów faz stojana, które są bardzo łatwo dostępne pomiarowo w warunkach normalnej eksploatacji. Wymaga to jednak znajomości modeli i algorytmów wnioskowania diagnostycznego. Koszt indywidualizowanego, wystarczająco skutecznego systemu diagnostyki jest jednak bardzo wysoki i dodatkowo wymaga stałej jego obsługi przez personel techniczny o dużej specjalistycznej wiedzy co nie jest ekonomicznie uzasadnione nawet dla silników o dużych mocach. Stąd też koncepcja Rozproszonego Systemu Diagnostycznego [6] bazującego na sieciach komputerowych, wydaje się być na dzień dzisiejszy jak najbardziej uzasadniona.

W systemie tym decyzje diagnostyczne są podejmowane w Specjalistycznym Centrum Diagnostycznym, w którym skupieni są specjaliści, dysponujący odpowiednim sprzętem komputerowym oraz specjalistycznym oprogramowa-

niem opracowanym na podstawie rozwijanych algorytmów i modeli diagnostycznych. Dane pomiarowe dostarcza się do Centrum Diagnostycznego przez system zbierania i gromadzenia danych pomiarowych, którego działanie opiera się na bazie technologii rozproszonych systemów komputerowych.

W artykule autorzy pragną przedstawić koncepcję takiego systemu zrealizowanego na bazie Ethernetu przemysłowego oraz sieć Internet wykorzystując technologię VPN. Zasadniczym elementem tego systemu jest autonomiczny system pomiarowy z interfejsem Ethernet, którego zadaniem jest wykonanie pomiarów w obiekcie badanym, przesłanie danych przez warstwę sieciową do serwera bazodanowego, gdzie zostaną zapamiętane w celu dalszego przetworzenia zgodnie z algorytmami diagnostycznymi.

2. Rozproszone systemy komputerowe

Zasięg terytorialny systemu pomiarowego znacznie zwiększyć można poprzez połączenie elementów systemu za pomocą sieci komputerowej. Pozwala to na zbudowanie rozproszonego systemu pomiarowego, jednak wymaga wprowadzenia pomiędzy elementami składowymi systemu a modułami transmisyjnymi sieci odpowiednich konwerterów interfejsów oraz wprowadzenia dostosowania protokołów

komunikacyjnych do konwersji i obsługi nowych jej elementów.

Zastosowanie konwerterów GPIB-LAN (ang. *General Purpose Interface Bus – Local Area Network*), oprócz rozciągnięcia systemu na duże odległości, daje także możliwość udostępniania aparatury pomiarowej wielu użytkownikom sieci. Przykładowo przyrządy pomiarowe z interfejsem IEEE-488 można łączyć z Ethernetem przy użyciu modułu GPIB/ENET/100 – konwertera firmy National Instruments, połączenie sieciowe interfejsu szeregowego RS-232 zapewnia moduł ENET-232, zaś interfejsów RS-422 i RS-485 – moduł ENET-485. Produkowane są również przyrządy z bezpośrednim połączeniem do sieci Ethernet.

Coraz częściej w systemach pomiarowych używa się Internetu. Dzięki temu istnieje możliwość zbudowania rozproszonego systemu pomiarowego praktycznie o nieograniczonym zasięgu.

Istnieje zestaw standardów elementów systemu okablowania sieci LAN (kable, karty sieciowe, złącza). Standardy te zapewniają kompatybilność urządzeń sieciowych. Najważniejsze z nich to: Ethernet, Fast Ethernet, Token-Ring (firmy IBM), ARCnet (firmy DataPoint) oraz FDDI. W dzisiejszych czasach Ethernet zdecydowanie wyparł pozostałe standardy sieciowe, niemniej jednak na świecie istnieją pracujące instalacje sieci Token-Ring czy ARC-net.

Ethernet umożliwia przesyłanie danych przez tzw. skrętkę, kabel współosiowy lub światłowód, z prędkością 10 Mb/s. Ethernet definiuje 5 różnych interfejsów z których największą popularność zdobył opracowany w 1990 r. 10BaseT wykorzystujący nie ekranowaną skrętkę dwużyłową (UTP, z ang. *Unshielded Twisted Pair*) w fizycznej topologii gwiazdy, która zawiera cztery przewody: jedną parę do nadawania, drugą do odbioru. W połowie lat dziewięćdziesiątych zapotrzebowanie na szybszą transmisję było powodem opracowania nowego standardu Fast Ethernet (zwanego również 100BaseT). Jest on właściwie bardzo podobny do 10BaseT, ale transmituje dane z prędkością 100 Mb/s. Standard ten obejmuje 3 różne interfejsy: z okablowaniem światłowodowym, skrętki dwużyłowej nie ekranowanej (UTP) oraz ekranowanej (STP, z ang. *Shielded Twisted Pair*).

Systemy pomiarowe współpracować będą z lokalnymi sieciami komputerowymi tylko wtedy,

gdy sieci wyposażone będą w odpowiedni zestaw protokołów komunikacyjnych.

Protokołem komunikacyjnym nazywamy zbiór formalnych reguł i konwencji szczegółowo określających mechanizmy wymiany informacji między stacjami połączonymi medium transmisyjnym (kablem sieciowym).

Wśród ogromnej liczby protokołów wykorzystywanych do komunikacji w sieciach, na szczególną uwagę zasługują protokoły z rodziny TCP/IP. Jest to rodzina protokołów, na których opiera się wiele sieci lokalnych oraz Internet. Model TCP/IP zbudowany jest z następujących czterech warstw:

- warstwa interfejsu sieciowego (najniższa warstwa)
- warstwa Internetu,
- warstwa transportowa,
- warstwa aplikacji (najwyższa warstwa).

Warstwa interfejsu sieciowego odpowiada za dostarczanie danych do innych urządzeń bezpośrednio połączonych do sieci. Współpracuje ona bezpośrednio ze sprzętem i sterownikami odpowiedzialnymi za współpracę z siecią. Świadczy ona usługę warstwie wyższej, wysyłając i odbierając porcje danych (zwanymi ramkami) z komputerów w danej sieci fizycznej.

Protokoły tej warstwy sieciowej to wspomniane wcześniej: Ethernet, Token Ring, FDDI, ARCnet, a także:

- PPP (ang. *Point to Point Protocol*)- protokół transferu służący do tworzenia połączenia z Internetem przy użyciu modemu i sieci telefonicznej,
- SLIP (ang. *Serial Line Interface Protocol*) - protokół transmisji poprzez łącze szeregowo.

Warstwa Internetu odpowiada za dostarczenie danych do urządzeń nie tylko w danej sieci fizycznej. Organizuje ona ruch tzw. pakietów między poszczególnymi sieciami fizycznymi. Świadczy usługi dostarczania pakietu do dowolnego miejsca w Internecie.

Protokoły tej warstwy to:

- IP (ang. *Internet Protocol*) - protokół komunikacji sieciowej, w którym komputer klienta składa żądanie, a komputer serwera je spełnia.
- ICMP (ang. *Internet Control Message Protocol*) – rozszerzenie protokołu IP; umożliwia generowanie komunikatów o błędach, pakietów testowych i komunikatów informacyjnych związanych z protokołem IP.
- ARP (ang. *Address Resolution Protocol*) – protokół służący do dynamicznego odwzoro-

wywania adresów internetowych (IP) na adresy sprzętowe (MAC).

- RARP (ang. *Reverse Address Resolution Protocol*) - protokół odwrotnego odwzorowywania adresów, służy do odwzorowywania adresów sprzętowych (MAC) na adresy internetowe (IP).

Warstwa transportowa jest odpowiedzialna za niezawodną wymianę danych z dowolnym komputerem w Internecie. Organizuje i utrzymuje tzw. sesje, czyli wirtualne połączenia między komputerami. Składa się ona z dwóch protokołów:

- TCP (ang. *Transmission Control Protocol*) - protokołu sterowania transmisją, który zapewnia bezpieczeństwo przesyłania danych. Sprawdza czy wszystkie wysłane dane dotarły do odbiorcy i wysyła nadawcy potwierdzenie. Jeśli nadawca nie otrzyma potwierdzenia wysyła dane ponownie,
- UDP (ang. *User Datagram Protocol*) - protokołu datagramów użytkownika, który różni się od TCP tym, że nie kontroluje, czy wysłane dane dotarły do adresata, dzięki czemu transmisja za pomocą tego protokołu transportowego jest szybsza.

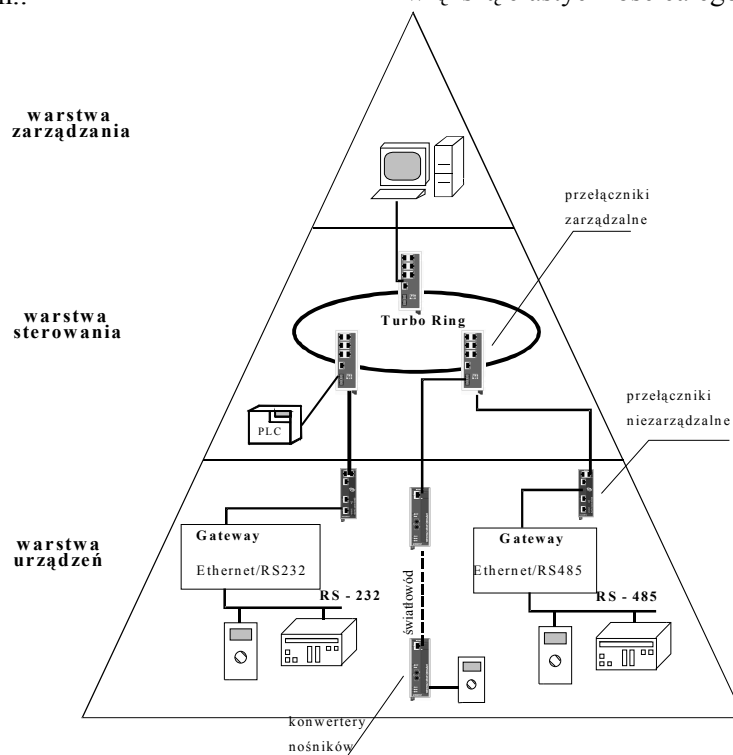
Warstwa aplikacji. Tej warstwie odpowiadają wszelkie programy (aplikacje) internetowe korzystające z warstwy transportowej. Protokoły tej warstwy to m.in.:

- FTP (ang. *File Transfer Protocol*) - protokół służący do transmisji plików,
- HTTP (ang. *Hyper Text Transfer Protocol*) - jeden z protokołów internetowych, używany do transferu stron www,
- SMTP (ang. *Simple Mail Transfer Protocol*) - podstawowy protokół transferu poczty elektronicznej,
- Telnet – protokół do obsługi odległego terminala w architekturze klient-serwer.

3. Ethernet w sieciach przemysłowych

Wszechobecny w sieciach komputerowych Ethernet staje się również standardem w halach produkcyjnych, gdzie skutecznie konkuruje z technikami wymiany danych już od dawna stosowanymi w automatyce. Wprowadzenie Ethernetu w sieciach przemysłowych umożliwia uproszczenie i ujednoczenie technik komunikacji oraz zmniejszenie kosztów administracji. Ponadto duża prędkość transmisji - nawet do 10Gb/s pozwala na wdrożenie nowych usług, między innymi komunikacji głosowej i video.

Dzięki zastosowaniu otwartego standardu, jakim jest Ethernet, jako uniwersalnego interfejsu w linii produkcyjnej, możliwe staje się połączenie wielu, do tej pory, niekompatybilnych ze sobą standardów, co uniezależnia klientów od wyrobów jednego producenta oraz zapewnia większą elastyczność całego systemu.



Rys.1. Struktura sieci przemysłowej

Środowisko przemysłowe stawia jednak wysokie wymagania urządzeniom: konieczne są szerokie zakresy temperatur pracy, odporność na zapylenie i wibracje itp. Ponadto osprzęt musi odznaczać się wysoką niezawodnością oraz zapewniać odpowiedni poziom bezpieczeństwa. Sieci przemysłowe składają się z trzech podstawowych warstw (Rys.1.):

- warstwy zarządzania (ang. *plant layer*) – odpowiedzialnej za zdalne zarządzanie, nadzór i monitorowanie całego systemu pomiarowego. Najczęściej rolę tę pełni komputer,
- warstwy sterowania (ang. *control layer*) – mającej za zadanie sterowanie system rozproszonym. Do warstwy tej należeć będą głównie przełączniki zarządzalne, sterowniki PLC,
- warstwy urządzenia (ang. *device layer*) – części „wykonawczej” systemu automatyki. W skład jej wchodzi media konwertery, przełączniki niezarządzalne, urządzenia pomiarowe, konwertery GBIP-LAN itp.

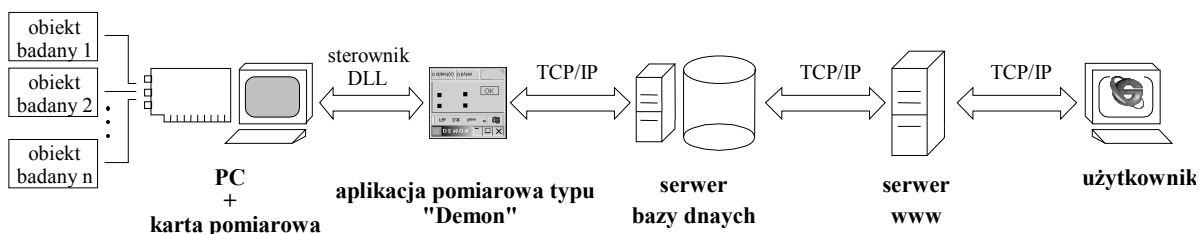
4. Rozproszone systemy pomiarowe

Proponowany system składa się z następujących składników (Rys.2.):

- komputera PC z umieszczoną w nim kartą pomiarową oraz aplikacji pomiarowej typu „*Demon*” uruchomionej na komputerze służącym do pomiarów
- serwera bazy danych *SQL*
- serwera *www Apache*
- komputera operatora

W ogólnym przypadku każdy ze składników systemu połączony jest za pomocą ogólnie dostępnego łącza Ethernetowego. Dlatego wszystkie elementy muszą być wyposażone w kartę sieciową zaopatrzoną w port 10/100BaseT. Transmisja danych następuje za pomocą stosu TCP/IP. W uproszczonym przypadku wszystkie bloki mogą być umieszczone na jednym komputerze, lecz najczęstszym przypadkiem będzie system złożony z dwóch połączonych komputerów: komputera operatora i komputera pomiarowego, na którym znajdują się pozostałe składniki (aplikacja pomiarowa „*Demon*”, serwer bazy danych, serwer *Web*).

System ten funkcjonuje wg następujących zasad. Karta pomiarowa umieszczona w komputerze PC zbiera analogowe wielkości fizyczne, które chcemy mierzyć (może to być napięcie, prąd). Aplikacja pomiarowa „*Demon*” jest pośrednikiem między kartą pomiarową a serwerem bazy danych *SQL*. Jest ona odpowiedzialna za przekazywanie rozkazów do karty pomiarowej a także za umieszczanie wykonanych pomiarów w bazie danych. Operator otrzymuje wyniki pomiarów oraz steruje kartą pomiarową z poziomu przeglądarki internetowej dowolnego komputera połączonych siecią TCP/IP z komputerem pomiarowym. Aby strona *www* zmieniana była w czasie rzeczywistym, użyto serwera *www Apache*, obsługującego żądania przeglądarki internetowej.



Rys.2. Schemat rozproszonego systemu pomiarowego

Aplikacja pomiarowa „*Demon*”

Aplikacja ta napisana w języku programowania np. C/C++, uruchamiana jest na komputerze, w którym znajduje się karta pomiarowa. Służy ona do bezpośredniego komunikowania się z tą kartą. Komunikacja ta następuje w dwie strony tzn. program zarówno wprowadza parametry pomiarów (oraz rozkazy) z bazy danych do karty, jak również pobiera wyniki pomiarów z karty i przekazuje je do serwera bazy danych,

więc jest pośrednikiem pomiędzy serwerem bazy danych a kartą pomiarową. Łącznikiem pomiędzy aplikacją a kartą pomiarową jest sterownik do karty dołączony w postaci pliku DLL (ang. *Dynamic Link Library*). Z drugiej strony natomiast aplikacja przesyła za pomocą sterowników ODBC (ang. *Open Data Base Connectivity*) wyniki pomiarów do serwerem bazy danych. Zadania aplikacji pomiarowej „*Demon*” to: wybór serwera i łączenie się z nim, wysyła-

nie zapytania SQL, odbieranie wyników zapytań i rozłączanie się z serwerem.

Serwer bazy danych

W tym przykładzie rozproszonego systemu pomiarowego serwer bazodanowy został zbudowany na bazie narzędzi *SQL Server*. Komunikacja z komputerem, na którym umieszczona jest aplikacja Demon (oraz karta pomiarowa) następuje w oparciu o standard Ethernet, za pomocą protokołu TCP/IP. Dzięki temu jest możliwe zbudowanie systemu rozproszonego. Baza danych, oprócz przechowywania wyników pomiarów, służy także jako źródło zadań dla karty pomiarowej, a także przechowuje dane o kartach pracujących w systemie (może by ich więcej), użytkownikach posiadających określone prawa dostępu itp.

Serwer WWW

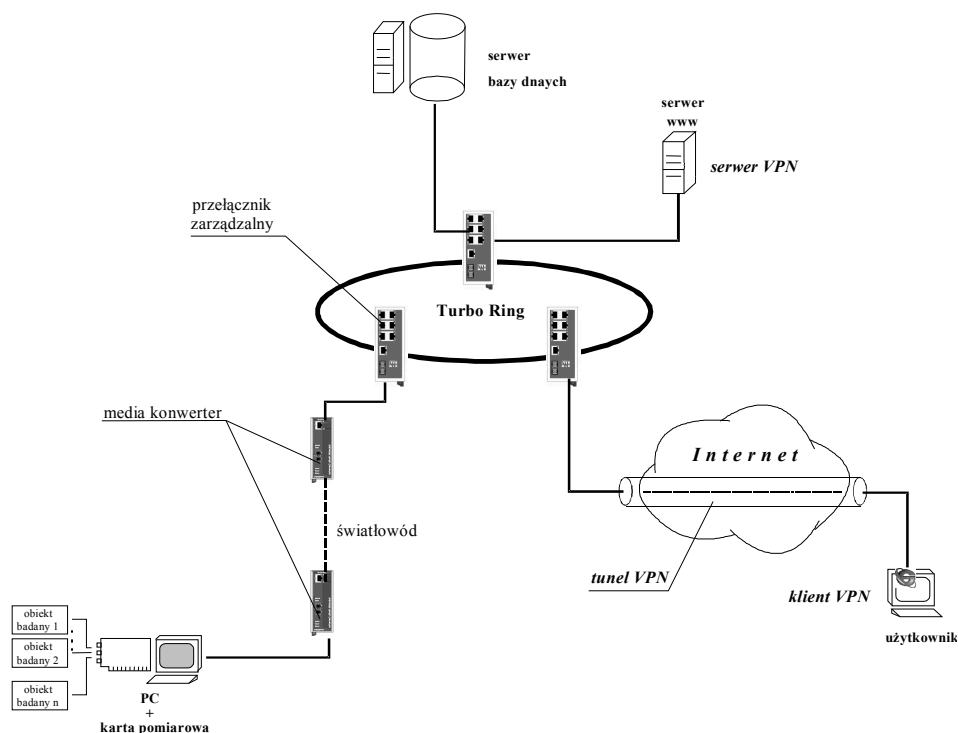
Serwerem Web w przedstawionym przykładzie jest *Apache* – otwarty serwer HTTP dostępny dla wielu systemów operacyjnych (m.in. Windows, Unix), którego zadaniem jest obsługiwanie żądań przeglądarek stron internetowych. Na serwerze tym umieszczona jest dynamicznie generowana strona www, napisana w języku skryptowym PHP (ang. *HyperText Preprocessor*). Jedną z zalet tego języka jest to, że pozwala on na interakcję pomiędzy serwerem www a serwerem bazy danych. Dane zapisywane

w tabelach bazy danych serwera SQL umieszczone są dynamicznie na stronie www za pomocą skryptów napisanych w PHP.

Dzięki tej technologii operator z dowolnego miejsca za pomocą przeglądarki internetowej (np. Internet Explorer) otwiera dynamiczną stronę www na komputerze z serwerem *Apache* i z tego poziomu ma możliwość sterowania kartą pomiarową oraz odczytywania wyników pomiarów w czasie rzeczywistym. Web serwer *Apache* jest zatem pośrednikiem pomiędzy operatorem a serwerem bazy danych.

5. Rozproszony system pomiarowy na bazie Ethernetu i technologii VPN

Zakładając, że system pomiarowy wdrażany ma być w przemyśle, koncepcję omówioną w poprzednim rozdziale można zaimplementować w strukturze przemysłowej sieci ethernetowej szczególnie przedstawionej w rozdziale 3. Do tego celu użyć można przełączników zarządzalnych, połączonych w redundantny pierścień. Dzięki temu można zarządzać całym systemem i mieć zwiększoną pewność, że komponenty systemu połączone w jedną sieć zawsze będą mogły komunikować się ze sobą, nawet w przypadku awarii lub odłączenia pewnego segmentu okablowania.



Rys.3. Rozproszony system pomiarowy na bazie Ethernetu przemysłowego i technologii VPN

Dodatkowo, jeśli niektóre wielkości mają być mierzone w znacznej odległości od reszty systemu, niezbędne staje się zastosowanie światłowodu jako medium transmisyjnego. Dzięki takiemu nośnikowi istnieje możliwość przesyłania sygnału na odległość nawet do 15 km, podczas gdy kablem UTP można łączyć ze sobą stacje odległe maksymalnie o 100 m. Drugą zaletą zastosowania światłowodu jest jego odporność na zakłócenia pochodzące od pola elektromagnetycznego co często występuje w warunkach przemysłowych. Wtedy na jakość sygnału nie ma wpływu umiejscowienie nośnika – można go położyć np. w okolicach linii wysokiego napięcia lub w okolicy dużych maszyn elektrycznych. Aby okablowanie drutowe zintegrować ze światłowodowym należy zastosować odpowiednie konwertery nośników.

Operatorowi całego systemu umożliwić można monitoring i sterowanie zdalne systemem pomiarowym z dowolnego miejsca, jeśli tylko dysponuje połączeniem Internetowym. Wymagane jest jednak zachowanie poufności monitorowanych danych. Efekt ten można uzyskać dzięki zastosowaniu technologii VPN. Ponieważ zdalny operator w celu zarządzania systemem łączy się bezpośrednio z serwerem www, to serwer ten musi być skonfigurowany jednocześnie jako serwer VPN. Komputer operatora staje się wówczas klientem VPN.

W celu uaktywnienia usługi serwera VPN na serwerze *Apache*, należy zainstalować dodatkową usługę RRAS (ang. *Routing and Remote Access Server*). Na komputerze klienta natomiast wystarczy tylko utworzyć nowe połączenie sieciowe – zdalne połączenie VPN, a podczas konfiguracji, należy podać adres IP komputera z serwerem *Apache* i VPN.

Podczas konfiguracji serwera VPN konieczne jest podanie zakresu adresów IP, jakie mają być przydzielane klientom podczas połączenia z nim (np. 10.11.3.1, 10.11.3.2 ..., a więc adresy z puli prywatnych adresów IP).

Gdy połączenia VPN zostaną ustanowione, na komputerze klienta zdalnego wystarczy tylko uruchomić przeglądarkę internetową i pole adresu wpisać adres IP serwera www (w tym przypadku serwerem www jest właśnie serwer VPN). Wtedy uruchomiona zostanie dynamiczna strona PHP, z poziomu której można oglądać wyniki wykonywanych pomiarów, jak również sterować kartą pomiarową (zatrzymać, wznowić wykonanie pomiaru itp.).

6. Wnioski

System obiektowy jakim jest przedstawiony autonomiczny system pomiarowy z interfejsem Ethernet jest korzystny z uwagi na niską cenę urządzenia, które jedynie zbiera i przesyła dane do nadrzędnego systemu diagnostycznego.

Z uwagi na to, że system diagnostyczny nie wymaga pracy w reżimie real-time, czyli przy mocnych ograniczeniach czasowych lecz jedynie wymaga dostarczenia dużej ilości danych pomiarowych systematycznie zbieranych w ustalonych odstępach czasowych (przykładowo przy pomiarze prądu jednej fazy wymagana jest liczba 50 000 próbek w czasie pomiarowym 10s) [5], przedstawiony rozproszony system pomiarowy bardzo dobrze spełnia postawione mu wymagania. Dodatkową jego zaletą jest zachowanie poufności przez zastosowanie technologii VPN.

7. Literatura

- [1]. Kalista C.: *Ethernet w zastosowaniach przemysłowych*, cz. 1 i 2, „Elektronika Praktyczna”, nr 5 i 6, 2004.
- [3]. Kosiur D.: *Building and Managing Virtual Private Networks*, Wiley Computer Publishing, 1998.
- [4]. Lesiak P., Świsulski D.: *Komputerowa technika pomiarowa w przykładach*, Agenda wydawnicza PAK, Warszawa 2002.
- [5]. Mielnik R., Sułowicz M., Weinreb K., Węgiel T.: *Koncepcja systemu telediagnostycznego dla urządzeń napędowych*, Zeszyty Problemowe BOBRME Katowice Nr 66/2003, str.75-80.
- [6]. Mielnik R., Sułowicz M., Węgiel T.: *Rozproszony system monitoringu i diagnostyki urządzeń napędowych*, Materiały Konferencyjne SEMTRAK'04, Zakopane 2004, str.285-292.
- [7]. Nawrocki W.: *Komputerowe systemy pomiarowe*, WKŁ, Warszawa 2002.
- [8]. Zasoby internetowe firmy MOXA, <http://www.moxa.com>

Autorzy

dr inż. T. Węgiel¹⁾, pewegiel@cyf-kr.edu.pl
 dr inż. R. Mielnik¹⁾, rmiel@usk.pk.edu.pl
 mgr inż. Maciej Sułowicz²⁾, pesulowi@cyf-kr.edu.pl

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24

²⁾ Instytut Elektrotechniki w Warszawie, Samodzielna Pracownia Diagnostyki Układów Elektromechanicznych w Krakowie, ul. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków