

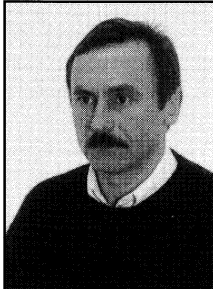
Romuald MAŚNICKI, Janusz MINDYKOWSKI

AKADEMIA MORSKA W GDYNI, WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY
KATEDRA ELEKTROENERGETYKI OKRĘTOWEJ

Rozproszony system pomiarowy do wyznaczania parametrów okrętowych sieci elektroenergetycznych

Dr inż. Romuald MAŚNICKI

Adiunkt. Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Gdańskiej (1982 r.), Wydziału Elektrycznego Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni (1992 r.). W 1999 r. obronił pracę doktorską na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Posiada dyplom oficera elektryka okrętowego. Od 1984 r. pracuje w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni. Od 2002 r. pełni obowiązki Prodziekana ds. Studiów Zaocznych WE AM. Obszar jego zainteresowań związany jest z eksploatacją układów pomiarowych i systemów pomiarowo-sterujących.



Streszczenie

W artykule przedstawiono konfigurację rozproszonego systemu do pomiaru parametrów okrętowej sieci elektroenergetycznej, zrealizowanego w oparciu o mikroprocesorowe przyrządy lokalne. Omówiono wymagania odnoszące się do wielofunkcyjnych przyrządów pomiarowych, zastosowanych w systemie. Przedstawiono strukturę funkcjonalną przyrządu opartego na procesorze sygnałowym.

Abstract

In this paper, the configuration of distributed measurement system for measurement of parameters of ship electrical power network based on local microprocessor instruments is presented. The requirements concerning multifunction measurement instruments applied in system are shown. The functional structure of instrument based on DSP processor is described.

1. Wstęp

Obserwowany w ostatnich latach rozwój technologii mikroprocesorowej ma zasadniczy wpływ na konfigurację nowych rozwiązań przyrządów pomiarowych i umożliwia poprawę ich właściwości metrologicznych w zakresie dokładności i szybkości realizacji funkcji pomiarowych, przy relatywnym obniżaniu kosztów. Dotyczy to nie tylko wielofunkcyjnych, lokalnych przyrządów pomiarowych, ale przede wszystkim różnego rodzaju rozproszonych systemów pomiarowo-sterujących stosowanych w kontroli procesów przemysłowych. Decentralizacja zadań pomiarowych i sterujących w procesach przemysłowych pozwala na wyodrębnienie i podział złożonych zadań na mniejsze, wykonywane niezależnie. Sieć przemysłowa łączy i koordynuje pracę autonomicznych urządzeń pomiarowych i sterujących w realizacji nadrzędnego celu systemu. W praktyce, rozproszenie układów pomiarowo-sterujących jest istotnym sposobem podwyższenia pewności funkcjonowania i bezpieczeństwa nadzorowanych urządzeń i instalacji przemysłowych. Centralna jednostka systemu pomiarowo-sterującego, gromadząca informacje o wyodrębnionych (np. rozległych terytorialnie) parametrach kontrolowanego procesu i analizująca jego zmiany, jest w stanie generować sygnały sterujące odpowiednimi urządzeniami wykonawczymi, w sposób optymalny dla przebiegu całości nadzorowanego procesu. Dodatkowo, wyraźnie wzrasta zapotrzebowanie na ilość danych przesyłanych w systemach pomiarowo-sterujących, związanych zarówno bezpośrednio z nadzorem nad przebiegiem procesu technologicznego, jak też niezbędnych do diagnostyki poprawności funkcjonowania urządzeń pomiarowych i sterujących.

Dostrzeżenie powyższych prawidłowości skutkowało zastosowaniem w procesach przemysłowych urządzeń pomiarowych i sterujących funkcjonujących autonomicznie, z których każde połączone było niezależnie z urządzeniem nadrzędnym systemu (np. system *CNC* w obrabiarkach numerycznych, programowalne sterowniki przemysłowe *PLC*), lub też realizacją bezpośredniego centralnego sterowania z wykorzystaniem specjalizowanych komputerów przemysłowych *IPC* (*Industrial*

Prof. dr hab. inż. Janusz MINDYKOWSKI

Cd. notki biograficznej ze strony 22.

Jego główne zainteresowania zawodowe i naukowe związane są z pomiarami i diagnostyką okrętowych systemów technicznych, a zwłaszcza z oceną jakości energii elektrycznej w elektroenergetycznych sieciach okrętowych. Dorobek naukowy to 150 prac opublikowanych (56 zagranicznych), w tym 3 monografie, 4 podręczniki akademickie lub skrypty, 13 publikacji w czasopiśmie PAN-owskich lub z tzw. listy filadelfijskiej, a także 16 patentów i 4 zgłoszenia patentowe. Kierownik lub wykonawca 8 grantów (3 KBN-owskie, 4 polsko-chińskie, 1 w V Programie Ramowym UE).



Cd. notki biograficznej zamieszczono w artykule na stronie 31.

Personal Computer). Rozwiązania takie wiązały się z koniecznością stosowania rozbudowanych magistral przesyłających analogowe i cyfrowe sygnały pomiarowe i sterujące, w konsekwencji pojawiały się trudności techniczne z realizacją i utrzymaniem torów kablowych, gromadzeniem danych pomiarowych i sterowaniem urządzeniami automatyki.

Upowszechnienie komputerów osobistych *PC* stworzyło podstawy do budowy rozproszonych systemów pomiarowo-sterujących charakteryzujących się dużą elastycznością i mocą obliczeniową, przy stosunkowo niewielkiej cenie. Oferowane są liczne środowiska wspomagania projektowania systemów pomiarowo-sterujących, dodatkowo ułatwiającej rozwiązywanie problemu oprogramowania skonfigurowanych systemów [7, 8].

Korzyści praktyczne związane ze stosowaniem metod rozproszonego nadzoru nad różnorodnymi procesami technologicznymi przyczyniły się do wprowadzenia szeregu standardów sieci przemysłowych. Zastosowanie sieci przemysłowych pozwala dodatkowo na znaczne obniżenie kosztów instalacji i zwiększenie odporności systemu pomiarowo-sterującego na różnego typu awarie. Połączenia między elementami systemu realizowane są z reguły z wykorzystaniem jednego ze standardowych interfejsów komunikacyjnych [3]. Przesyłanie informacji odbywa się według zasad określonych przez implementowany w danej sieci protokół komunikacyjny. O wyborze konkretnego rozwiązania może decydować wiele czynników, m.in. natężenie ruchu w medium transmisyjnym, rygory czasowe dostępności do kanału, a także cena przetworników realizujących, obok zasadniczych funkcji pomiarowych, odpowiedni protokół komunikacyjny. Przykładem sieci stosowanych w instalacjach przemysłowych mogą być niezależnie pracujące sieci: *FIP*, *CAN*, *LonWorks*, *Profibus*, *SDS*, *Modbus*, *Genius*. Poszczególne sieci różnią się znacznie między sobą pod względem topologii, złożoności protokołów i interfejsów komunikacyjnych, mediów sieciowych, reżimów czasowych dostępu do sieci oraz możliwości rozbudowy lub zmiany konfiguracji.

Dokonanie optymalnego wyboru typu sieci dla konkretnego zastosowania nie jest zadaniem prostym, jednakże zwykle jednym z podstawowych kryteriów wyboru są koszty związane z implementacją danej sieci. W większości przypadków dystrybutorzy oferują własne urządzenia pozwalające na skonfigurowanie sieci lub też kompletne systemy komunikacyjne. Wiąże się to zwykle z koniecznością pokrycia przez potencjalnego użytkownika sieci bardzo wysokich kosztów systemu. Uzasadnione jest więc przeprowadzenie gruntownej analizy kosztów w stosunku do przewidywanych zadań realizowanych za pośrednictwem sieci przemysłowej (głównie w zakresie charakteru i ilości przesyłanych w sieci informacji).

Podobnie do aplikacji lądowych, również w technice okrętowej przesyłanie informacji pomiarowej i sterującej między rozproszonymi na

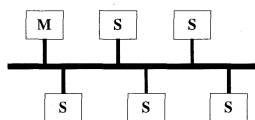
całym statku różnorodnymi urządzeniami technicznymi, niezbędnymi do normalnej jego eksploatacji, stanowi duży problem. W praktyce zadanie to przekłada się na konieczność rozbudowy licznych torów kablowych, spełniających szereg dodatkowych wymagań, związanych m.in. z kompatybilnością elektromagnetyczną, zabezpieczeniem przed wpływami środowiska morskiego, nasileniem narażeń mechanicznych (w tym wibracji) oraz niezbędną nadmiarowością (redundancją) urządzeń i instalacji [1].

2. Konfiguracja funkcjonalna rozproszonego systemu pomiarowego

W klasycznym, powszechnie stosowanym rozwiązaniu systemu pomiarowo-sterującego elektrowni okrętowej pomiary i wizualizacja parametrów systemu elektroenergetycznego realizowane są w oparciu o mierniki elektromechaniczne, zarówno w odniesieniu do rozdzielnic głównej, zwykle umiejscowionej w pomieszczeniu centrali manewrowo-kontrolnej (CMK) na terenie maszynowni statkowej, jak i rozdzielnic pomocniczych, rozproszonych w różnych miejscach statku. Stan ten ogranicza w znacznym stopniu możliwości nadzoru nad funkcjonowaniem okrętowego systemu elektroenergetycznego, nad śledzeniem dynamiki procesów wytwarzania, dystrybucji i użytkowania energii elektrycznej w sieci okrętowej [1, 2].

W ramach badań na wspomnianych procesach opracowany został rozproszony system pomiarowy, którego zadaniem jest, obok wizualizacji parametrów systemu elektroenergetycznego, gromadzenie danych i ich analiza mająca na celu optymalizację eksploatacji elektrowni oraz diagnozę stanu technicznego elementów systemu.

Konfiguracja systemu oparta została na łatwej i taniej w implementacji sieci *Modbus* [9]. Na rys. 1 przedstawiono konfigurację urządzeń połączonych z wykorzystaniem magistrali interfejsu *RS-485*, stanowiącego warstwę fizyczną dla protokołu przemysłowego *Modbus*. Sieć *Modbus* jest siecią typu *Master/Slave*, której jednostka centralna *M* (*Master* - popularny komputer osobisty *PC* wyposażony w kartę interfejsu *RS-485*) odpytuje kolejno poszczególnych użytkowników sieci *S* (*Slave*). Wykorzystanie tego protokołu w omawianym zastosowaniu uzasadnione jest prostotą jego realizacji, konfiguracją systemu pomiarowego z wydzieloną jednostką centralną i peryferiami, odpornością na zakłócenia (parametry *RS-485*, jak i programowa kontrola poprawności przepływu danych), stosowanymi mechanizmami potwierdzania wykonania poleceń i sygnalizacji błędów, skutecznie zabezpieczającymi przed zawieszeniem sieci oraz niewielkimi wymaganiami dotyczącymi szybkości przesyłania danych (do 19,2 kb/s).



Rys. 1. Ogólna konfiguracja sieci *Modbus*

W protokole *Modbus* przyjęto, że tylko urządzenie *M* może inicjować wymianę informacji, a pozostałe (*S*) odpowiadają na zdalne zapytania *mastera*. Transakcja komunikacyjna składa się z polecenia wysyłanego z jednostki *M* do *S* oraz z odpowiedzi przesyłanej z wywołanej jednostki *S* do *M*. W odpowiedzi *S* zawarte są dane, których żąda *M* lub potwierdzenie realizacji polecenia. *Master* może wywoływać indywidualnych użytkowników *S* lub też przesyłać wiadomości *rozgłoszeniowo*, przeznaczone dla wszystkich urządzeń *S* w systemie. Na polecenia *rozgłoszeniowe* urządzenia *S* nie przesyłają odpowiedzi.

W sieci *Modbus* wiadomości są zorganizowane w ramki o określonym początku i końcu. Pozwala to urządzeniu odbierającemu na odrzucenie ramek niekompletnych i sygnalizację związanych z tym błędów. Ze względu na możliwość pracy w jednym z dwóch różnych trybów transmisji (*ASCII* lub *RTU*), zdefiniowane są, odpowiednio, dwa formaty ramek.

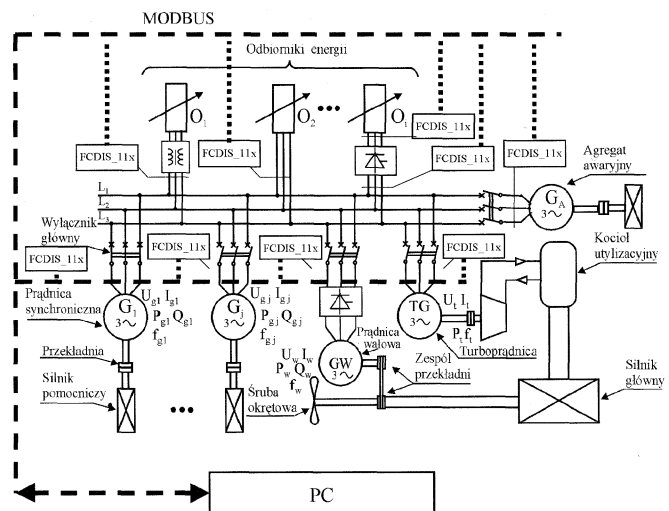
Protokół *Modbus* określa format wiadomości przesyłanych w sieci z *M* do *S*. Zawiera on adres odbiorcy (0..247), kod funkcji (1..255) reprezentujący żądane polecenie, dane (jeden lub dwa znaki w zakresie 00..FFh, odpowiednio do trybu transmisji) oraz słowo kontrolne

zabezpieczające przesyłaną wiadomość (*LRC* lub *CRC*, odpowiednio do trybu transmisji). Odpowiedź urządzenia *S* wysyłana jest również zgodnie z formatem zdefiniowanym w protokole. Zawiera ona pole potwierdzenia realizacji rozkazu, dane żądane przez *master* oraz słowo kontrolne zabezpieczające odpowiedź przed błędami. Jeżeli urządzenie *S* wykryje błąd przy odbiorze wiadomości, lub nie jest w stanie wykonać polecenia, przygotowuje specjalny komunikat o wystąpieniu błędu i przesyła go jako odpowiedź do *M*. Każda przesyłana ramka zakończona jest sekwencją znaków *CR* i *LF*.

Do podstawowych funkcji realizowanych w ramach protokołu *Modbus* należą:

- odczyt stanu wybranego wejścia/wyjścia dwustanowego (grupy wyjść),
- ustawienie (*ON/OFF*) wybranego wyjścia dwustanowego (grupy wyjść),
- zapis wartości początkowej do rejestru (grupy rejestrów),
- odczyt rejestru statusu wybranego urządzenia *S*,
- odczyt licznika komunikatów.

Na rys. 2 przedstawiono implementację sieci przemysłowej *Modbus* do realizacji rozproszonego systemu pomiarowego parametrów okrętowej sieci elektroenergetycznej.



Rys. 2. Konfiguracja rozproszonego systemu do pomiaru parametrów okrętowej sieci elektroenergetycznej

Przyrządy *FCDIS-11x* są rozwinięciem wielofunkcyjnych mierników parametrów okrętowego systemu elektroenergetycznego serii *FCDIS-1x* [1, 2]. Przy opracowaniu nowej serii przyrządów opartej na procesorach sygnałowych wykorzystano doświadczenia konstrukcyjne oraz wyniki badań eksperymentalnych zdobyte podczas realizacji przyrządów serii *FCDIS-1x*, wykorzystujących mikroprocesory jednonukładowe z rodziny *MCS-51*,

Wielofunkcyjne przyrządy pomiarowe *FCDIS-11x* pełnią funkcje lokalnych mierników parametrów okrętowego systemu elektroenergetycznego w wybranych punktach systemu. Wyboru realizowanych funkcji pomiarowych można dokonać lokalnie z płyt czołowych poszczególnych przyrządów. Wyniki pomiarów umieszczane są w rejestrach *FCDIS-11x* w postaci liczb zmiennopozycyjnych pojedynczej precyzji zgodnie ze standardem *IEEE-745* [12].

Wbudowane procedury obsługi protokołu *Modbus* umożliwiają przesyłanie informacji pomiarowej do komputera *PC*, jak również zdalną zmianę nastaw w torach pomiarowych i modyfikację parametrów pracy przyrządów (w tym wybór funkcji pomiarowej i kalibrację). Dodatkowo, wyjścia przekątnikowe przyrządów mogą być wykorzystane do realizacji określonych funkcji w układach sterujących bądź zabezpieczeniach.

Funkcjonowanie rozproszonego systemu pomiarowego jest nadzorowane przez oprogramowanie zaprojektowane w zintegrowanym środowisku wspomagania projektowania systemów pomiarowo-sterujących

LabVIEW 6i (National Instruments) [8, 14]. Zastosowanie w komputerze PC karty sieciowej TCP/IP daje możliwość, z poziomu LabVIEW, komunikacji internetowej (np. technologia DataSocket) [7, 8, 14].

Oprogramowanie narzędziowe, zainstalowane w PC, daje szereg możliwości wykorzystania wyników pomiarowych, często niedostępnych w układach przyrządów lokalnych:

- opracowanie informacji z przyrządów pomiarowych w PC (przyrząd wirtualny w środowisku LabVIEW) pozwala na pełniejsze udostępnianie informacji pomiarowych niż z udziałem indykatorów w przyrządach lokalnych,
- graficzną prezentację wybranych przebiegów na ekranie PC,
- kontrolę poprawności funkcjonowania przyrządów lokalnych,
- obliczanie określonych wskaźników jakości produkowanej i zużywanej energii w systemie elektroenergetycznym,
- rejestrację wybranych informacji pomiarowych, a także analizę trendów ich zmian.

3. Funkcje użytkowe i pomiarowe przyrządu

W eksploatacji układów pomiarowych i sterujących elektrowni okrętowych przyjęły się pewne utarte kanony dotyczące konfiguracji i funkcji użytkowych stosowanych urządzeń pomiarowych. Dodatkowo, zagadnienia podstawowego wyposażenia pomiarowego i sterującego regulują przepisy Polskiego Rejestru Statków (PRS) i innych narodowych i międzynarodowych instytucji klasyfikacyjnych [1]. Czynniki te, jak również wyniki badań przyrządów FCDIS-1x, zostały uwzględnione w trakcie określania zestawu funkcji użytkowych i pomiarowych, realizowanych w omawianych przyrządach FCDIS-11x:

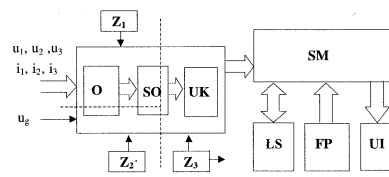
2. zestaw funkcji użytkowych:

- pomiar wartości chwilowych napięć i prądów fazowych,
- pomiary częstotliwości i przesunięć fazowych,
- obliczanie wartości odnośnych wielkości, zgodnie z wybraną funkcją pomiarową,
- indykacja ilościowa oraz jakościowa mierzonych wielkości na alfanumerycznym lub graficznym wyświetlaczu LCD,
- modyfikacja nastaw przekładni wykorzystywanych przekładników prądowych,
- autokalibracja torów pomiarowych,
- komunikacja sieciowa (RS-485) zgodnie z protokołem Modbus.

1. zestaw funkcji pomiarowych:

- kąta przesunięcia fazowego ϕ lub współczynnika $\cos \phi$,
- wartości skutecznych napięć i prądów fazowych,
- mocy czynnej i pozornej,
- częstotliwości, dwóch częstotliwości lub ich różnicy,
- współczynników zniekształceń THD,
- współczynnika mocy czynnej λ .

Na rys. 3 przedstawiono strukturę funkcjonalną przyrządu FCDIS-11x. Napięcia międzyfazowe (u_p, u_y, u_z) oraz prądy fazowe (i_p, i_y, i_z), podawane z systemu elektroenergetycznego, a także napięcie (u_g) z generatora synchronizowanego z siecią, podlegają dopasowaniu, w obwodach wejściowych OW, do potrzeb dalszych obwodów torów pomiarowych przyrządu. W obwodach tych znajduje się multiplexer analogowy, zapewniający łączenie stosownych torów pomiarowych. Układy separacji optycznej SO umożliwiają rozdzielenie galwaniczne układów elektrycznych przyrządu na trzy obwody, które posiadają niezależne potencjały odniesienia oraz są zasilane niezależnie z zasilaczy Z_p, Z_y i Z_z . Układy kondycjonowania UK dopasowują pod względem energetycznym sygnały z obwodów wejściowych i dostarczają je do wejść przetwornika A/C w układzie sterownika mikroprocesorowego SM. Pobrane synchronicznie próbki wartości chwilowych napięć i prądów fazowych przetwarzane są na słowa cyfrowe i gromadzone w pamięci danych RAM w układzie sterownika mikroprocesorowego SM. Układ LS realizuje zadania sprzężenia przyrządu z siecią przemysłową. Za pośrednictwem układu FP dokonywana jest zmiana realizowanej lokalnie funkcji pomiarowej. Zadaniem układu UI jest indykacja wyników stosownie



Rys. 3. Schemat funkcjonalny przyrządu FCDIS-11x

do realizowanej funkcji pomiarowej. Podstawowym zadaniem części sprzętowej przyrządów (analogowe tory pomiarowe) jest dostarczenie do układu przetwornika A/C (w sterowniku SM) informacji o wartościach sygnałów wejściowych. Realizacja wszystkich funkcji użytkowych i pomiarowych odbywa się pod kontrolą procesora w efekcie wykonywania stosownych procedur programowych. Rola pozostałych składników sprzętowych sprowadza się do obsługi zdarzeń generowanych na wyjściach procesora.

W oprogramowaniu zmodyfikowanej wersji przyrządów zrezygnowano z klasycznych metod całkowania numerycznego [1] na rzecz implementacji metod opartych na transformacji Fouriera [4, 6]. Rozbudowane procedury autokalibracyjne analogowej części torów pomiarowych umożliwiają wyznaczenie wartości współczynników normalizujących, wykorzystywanych podczas obliczania wartości mierzonych wielkości.

4. Kryteria wyboru typu mikroprocesora sygnałowego

Procesory sygnałowe DSP (Digital Signal Processor) [4, 11, 13, 15] różnią się od klasycznych mikroprocesorów (np. jednocukrowych z rodziny MCS-51 stosowanych w przyrządach FCDIS-1x) specyficzną architekturą, która pozwala na wykonywanie elementarnych operacji w trakcie jednego cyklu maszynowego. Cechą wyróżniającą procesory DSP jest architektura wewnętrzna typu Harvard (lub Super Harvard), której istotą są niezależne magistrale komunikacyjne pamięci programu i danych. W efekcie, do obydwu obszarów pamięci możliwy jest niezależny dostęp w tym samym cyklu rozkazowym. Wpływa to na wyraźne zwiększenie szybkości wykonywania programu. Architektura procesorów sygnałowych optymalizowana jest pod kątem przetwarzania sygnałów i wykonywania szybkich obliczeń numerycznych. Współbieżność działania określonych podzespołów funkcjonalnych (m.in. dzięki zastosowaniu dodatkowych rejestrów), połączona z tzw. przetwarzaniem potokowym, pozwala na równoczesne wykonywanie kilku instrukcji, z których każda jest na innym etapie realizacji. Czasochłonną operację, jaką jest w klasycznych procesorach mnożenie, zajmujące wiele cykli zegarowych, w procesorach sygnałowych wykonuje sprzętowy układ zegarowy, równoległe do innych operacji matematycznych, w jednym cyklu. Konfiguracja układów we/wy umożliwia łatwe łączenie układów peryferyjnych i tworzenie systemów wieloprocessorowych [5].

Zasadnicze znaczenie w pomiarach wielkości ciągłych ma przetwarzanie sygnałów analogowych na postać cyfrową. Większość procesorów sygnałowych, oferowanych przez producentów, rozwijana jest w kierunku zwiększenia precyzji i szybkości wykonywania operacji matematycznych (np. SHARC® - Analog Devices [11], TMS320C6000 - Texas Instruments [15], MCS8100 StarCore® - Motorola [13]). Aplikacje tego typu procesorów sygnałowych w torach pomiarowych wiążą się z koniecznością zastosowania niezależnych, przetworników A/C. Komplikuje to konfigurację układową i oprogramowanie projektowanych układów pomiarowych. Jednocześnie, obok ofert wiodących producentów, dotyczących najbardziej zaawansowanych technologicznie procesorów DSP, dostępne są procesory sygnałowe, specjalizowane w kierunku zastosowań pomiarowych i sterujących. Zawierają one wbudowane przetworniki A/C i inne obwody dedykowane dla potrzeb sterowania (np. TMS320F241 - Texas Instruments - m.in.: 10-bitowy A/C o 8 multipleksowanych wejściach, 8 wyjść PWM).

Analizując dostępne procesory DSP pod kątem ich zastosowania w wielofunkcyjnym przyrządzie FCDIS-11x do pomiaru parametrów okrętowego systemu elektroenergetycznego należało uwzględnić kilka czynników, wynikających z:

- doświadczeń zdobytych w trakcie badań nad przyrządami

typu *FCDIS-1x*,

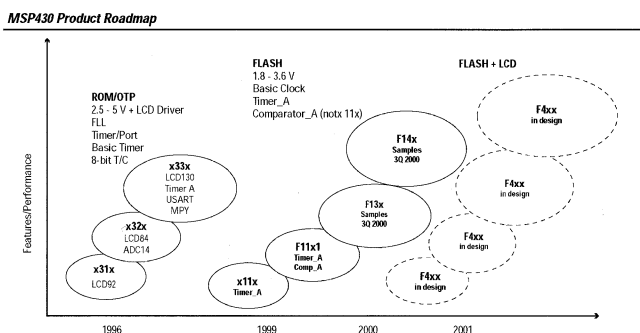
- rozszerzonego zestawu zadań pomiarowych i funkcji użytkowych w przyrządach *FCDIS-11x*,
- potrzeby optymalizacji konfiguracji układowej przyrządu,
- konieczności zwiększenia szybkości i dokładności wyznaczanych wielkości,
- akceptowalnych kosztów przyrządu.

Texas Instruments oferuje grupę procesorów sygnałowych, określanych jako *Mixed Signal Processor*. Jest to rodzina stałoprzecinkowych, 16-bitowych procesorów sygnałowych oznaczonych symbolem *MSP430*, zaprojektowanych do zastosowań pomiarowych. Na rys. 4 przedstawiono histogram rozwoju różnych typów procesorów z tej rodziny [10].

W przyrządach *FCDIS-11x* wykorzystano procesory typu *MSP430F149*. Najważniejsze cechy tych procesorów, to:

- 16-bitowa architektura typu RISC (16-bitowe rejestry, cykl rozkazowy=125 ns),
- w strukturę procesora wbudowano: pamięć programu 60 kB (typu *FLASH*), pamięć danych 2kB (*RAM*), 6 portów *I/O*, szybki przetwornik *A/C* (12+2 bity, *S&H*) o 8 multiplexowanych wejściach, zegar, 2 układy *UART*, sprzętowy układ mnożący,
- 5 trybów pracy energooszczędnej,
- czas budzenia ze stanu *standby* wynosi maksymalnie 6 μ s,
- dostępne programy narzędziowe (linkery, kompilatory, debuggery),
- programowanie z *PC* z wykorzystaniem łącza szeregowego.

Na rys. 5 przedstawiono architekturę układów wewnętrznych procesora *MSP430F149*.



Rys. 4. Rozwój procesorów pomiarowych z rodziny *MSP430* (Texas Instruments)

Zastosowanie procesorów sygnałowych wpłynęło na poprawę właściwości metrologicznych zmodyfikowanych przyrządów (zwiększenie szybkości wykonywania procedur oraz zwiększenie liczby bitów w słowach wyjściowych z przetwornika *A/C*).

Podsumowanie

Konfiguracja rozproszonego systemu pomiarowego parametrów elektrycznej sieci okrętowej oparta jest na koncepcji stosowanego w nadzorze instalacji przemysłowych protokołu komunikacyjnego *Modbus*. Struktura systemu typu *Master/Slave* odpowiada potrzebom kontroli parametrów okrętowego systemu elektroenergetycznego.

Opracowane przyrządy wielofunkcyjne realizują zadania pomiarowe jako przyrządy lokalne, jednocześnie udostępniając jednostce centralnej informacje pomiarowe. Zunifikowana konfiguracja układowa przyrządów ułatwia ich ewentualne serwisowanie oraz wpływa na obniżenie kosztów eksploatacji aparatury pomiarowej. Struktura układowa przyrządów *FCDIS-11x*, oraz procedury pomiarowe realizowane przez oprogramowanie, powstały z uwzględnieniem doświadczeń uzyskanych w trakcie badań nad opracowaniem przyrządów *FCDIS-1x* opartych na procesorach z rodziny *MCS-51*.

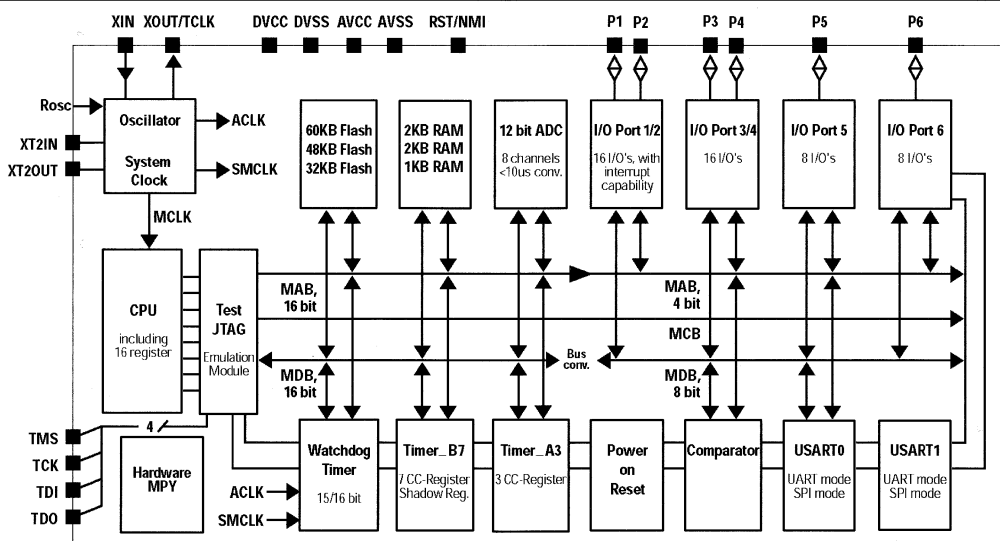
Do budowy przyrządów wykorzystano pomiarowe procesory sygnałowe z rodziny *MSP430* Texas Instruments. Konfiguracja układów wewnętrznych i peryferyjnych zastosowanych procesorów pozwala na optymalizację struktury układowej przyrządu pod kątem realizacji postawionych zadań pomiarowych.

W najbliższym okresie prowadzone będą badania eksploatacyjne przedstawionego systemu.

Literatura

- [1] R. MAŚNICKI: Zastosowanie techniki mikroprocesorowej do wyznaczania czasowych związków między sygnałami elektrycznymi w elektroenergetycznych sieciach okrętowych. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska, 1999.
- [2] R. MAŚNICKI, J. MINDYKOWSKI: Zastosowanie techniki mikroprocesorowej do wyznaczania czasowych związków między sygnałami elektrycznymi w elektroenergetycznych sieciach okrętowych, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, z. 3-4, tom 45, s. 321-350, 1999.
- [3] W. MIELCZAREK: Szeregowe interfejsy cyfrowe, Wydawnictwo Helion, Warszawa, 1993.
- [4] A. DĄBROWSKI: Przetwarzanie sygnałów przy użyciu procesorów sygnałowych, WPP, Poznań, 2000.

MSP430F14x Configuration



Rys. 5. Architektura układów wewnętrznych procesora *MSP430F149*

[5] J. W. COFFRON: Technika sprzęgania układów w systemach mikroprocesorowych, WNT, Warszawa 1988.

[6] R.G. LYONS: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów, WKŁ, Warszawa 2000.

[7] D. ŚWISULSKI: Systemy pomiarowe - Laboratorium, Wydawnictwo PG, Gdańsk 2001.

[8] LabVIEW User Manual, National Instruments, 1998.

[9] Modicon Modbus Protocol Reference Guide, PI-MBUS-300, Rev. D, Modicon Inc., 1992.

[10] MSP430 Ultra-Low-Power Microcontrollers, User's Guide, Texas Instruments, 2000.

[11] <http://www.analogdevices.com>

[12] <http://www.ieee.org>

[13] <http://www.motorola.com>

[14] <http://www.ni.com>

[15] <http://www.ti.com>