ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: INFORMATYKA z. 36 Nr kol. 1414

Wojciech MIELCZAREK
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

ROZPROSZONY SYSTEM POMIAROWO-KONTROLNY URZĄDZEŃ KOMPATYBILNYCH ZE STANDARDEM SCPI*)

Streszczenie. W publikacji przedstawiono rozproszony system akwizycji danych przeznaczony do pomiarów laboratoryjnych lub przemysłowych oparty na magistrali RS-485 (warstwa fizyczna) i protokole MODBUS (warstwa liniowa). Warstwę aplikacji stanowią rozkazy języka SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments). W systemie modelowym wykorzystano urządzenia pomiarowe firmy Hewlett-Packard kompatybilne ze standardem IEEE-488 v.2 oraz normą SCPI.

THE DISTRIBUTED DATA ACQUISITION AND CONTROL SYSTEM CONNECTING THE SCPI COMPATIBILE DEVICES

Summary. In the paper the distributed data acquisition system based on RS-485 bus (phisical layer) and MODBUS protocol (line layer) is presented. The SCPI language (Standard Commands for Programmable Instruments) was used as application layer. In the model built for measurement and control purposes the Hewlett-Packard devices compatybile with IEEE-488 v.2 and SCPI standards were connected to the bus.

1. Wprowadzenie

Współczesne przyrządy pomiarowo-kontrolne do zastosowań laboratoryjnych wyposażane są w interfejsy umożliwiające zdalne sterowanie oraz akwizycję danych. Standardowym łączem szeregowym urządzenia jest na ogół RS-232, a równoległym magistrala IEEE-488.

*) Publikacja powstała w ramach projektu badawczego 302/T11/97/12 finansowanego z funduszu Komitetu Badań Naukowych.

Łącze RS-232 nie jest interfejsem systemowym i umożliwia połączenie urządzenia z kontrolerem na zasadzie "punkt-punkt". Łącze IEEE-488 pozwala co prawda na budowę systemu, jednak ograniczonego do niewielu urządzeń (maksymalnie 15) znajdujących się w bliskim sąsiedztwie (odległość pomiędzy urządzeniami ograniczona jest do 2 m, a zasięg całego sytemu do 15 m) [1].

W celu umożliwienia współpracy urządzeń wyposażonych w łącze RS-232 w systemie rozproszonym opracowano system MCom-200 oparty na magistrali RS-485 i protokole MODBUS. Urządzenia wykonawcze podłączane są do systemu za pośrednictwem specjalnych modułów komunikacyjnych, które pełnią rolę konwerterów interfesów RS-232/RS-485 oraz konwerterów protokołów ASCII/MODBUS. Dodatkowym modułem jest regenerator sygnału (repeater RS-485/RS-485) pozwalający na zwiększenie zasięgu.

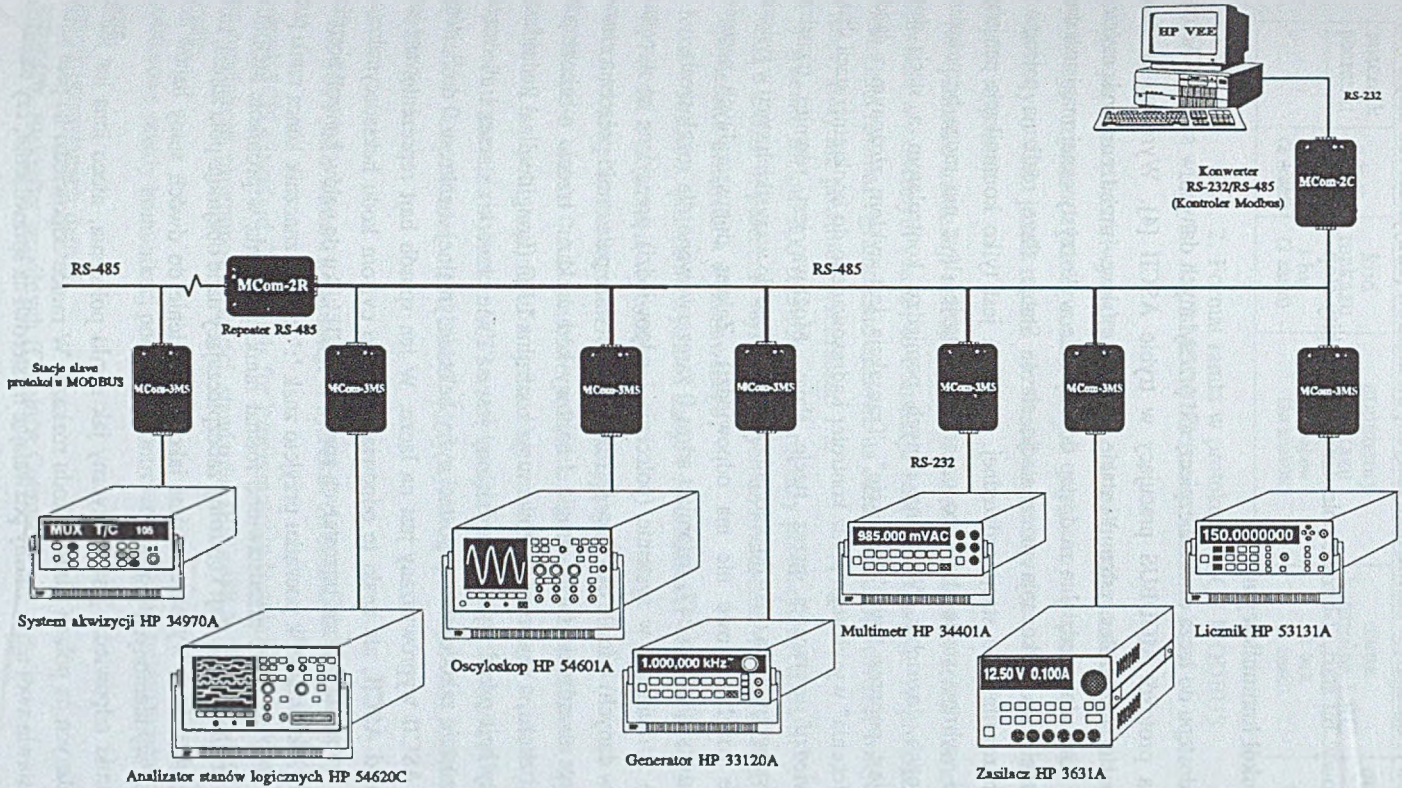
Do systemu MCom-200 podłączono zestaw urządzeń pomiarowych firmy Hewlett-Packard kompatybilnych ze standardami IEEE-488 v.2 i SCPI tworząc modelową sieć polową do zastosowań laboratoryjnych i przemysłowych. Warstwę aplikacji wymienionej sieci tworzą rozkazy języka SCPI. Na rys.1 przedstawiono system MCom-200 z podłączonymi urządzeniami firmy Hewlett-Packard.

2. Charakterystyka systemu MCom-200

2.1. Łącze komunikacyjne

System MCom-200 został oparty na łączu szeregowym w standardzie RS-485 [2],[3]. Tor transmisyjny stanowi para przewodów skręcanych, którą należy zamknąć na obu końcach terminatorami o wartości impedancji falowej kabla (80 Ω do 120 Ω). Do jednego segmentu toru można podłączyć "równolegle" do 32 stacji uzyskując system o konfiguracji magistralowej, którego zasięg wynosi 1200 m, a maksymalna szybkość transmisji 10 Mbd. Łącze transmisyjne jest w pełni symetryczne (różnicowe), co oznacza, że oprócz symetrycznego, dwuprzewodowego toru transmisyjnego, symetryczne są również nadajniki i odbiorniki linii. Poziom napięcia na wyjściu nadajnika wynosi minimum 1.5 V dla 1 logicznej i -1.5 V dla 0 logicznego, a czułość odbiornika ± 200 mV. Zasięg magistrali, jak również liczbę podłączonych do niej stacji można zwiększyć stosując regenerator sygnału. Różnicowy charakter łącza zapewnia redukcję zakłóceń i szumów wydzielonych na każdym z przewodów.

Dane w łączu przesyłane są w postaci ciągów znaków ASCII o ściśle określonym formacie jednostki informacyjnej zgodnym z normą RS-232. Dopuszczalne są następujące formaty znaku:



Rys. 1. System MCom-200
Fig. 1. The MCom-200 system

- znak 11-bitowy: bit start, 7-bitowe pole danych, bit kontroli parzystości lub nieparzystości, jeden bit stop,
- znak 11-bitowy: bit start, 7-bitowe pole danych, dwa bity stop.

2.2. Protokół komunikacyjny

Kontrolę dostępu do łącza oraz zabezpieczenie przesyłanych danych w systemie MCom-200 zapewnia protokół MODBUS pracujący w trybie ASCII [4]. Wyróżnia on stację nadrzędną (master - kontroler systemu) i stacje podrzędne (slave - urządzenia wykonawcze). Stacja master jest odpowiedzialna za dostęp do wspólnie wykorzystywanej magistrali oraz określa polecenie do wykonania przez stację slave. Stacje slave realizują polecenia i przesyłają ich rezultaty do stacji nadrzędnej. Możliwa jest tylko komunikacja pomiędzy kontrolerem i wybraną stacją slave, co oznacza, że stacje slave nie mogą bezpośrednio przesyłać danych do siebie. Wymiana danych pomiędzy kontrolerem a stacją slave realizowana jest poprzez tzw. "transakcję". Transakcja jest cyklem złożonym z dwóch operacji: "polecenia" wysyłanego przez kontroler i adresowanego do konkretnej stacji slave, oraz "odpowiedzi" zwracanej przez stację slave. Możliwa jest również transakcja rozgłoszeniowa ograniczona tylko do polecenia adresowanego do wszystkich stacji w systemie (na polecenie rozgłoszeniowe nie ma odpowiedzi). Zakres dopuszczalnych numerów adresowych równa się 1 do 247, natomiast adres 0 zarezerwowano dla rozgłoszenia.

Wszystkie komunikaty w systemie (polecenia i odpowiedzi) przesyłane są w postaci ramek (bloków danych) o ściśle określonej strukturze. Pierwsze pole ramki polecenia stanowi 1-bajtowy adres urządzenia slave, drugie 1-bajtowy kod rozkazu, trzecie n-bajtowe pole argumentów rozkazu, a czwarte 1-bajtowa suma kontrolna LRC (Longithudinal Redundancy Check). Każdy bajt przed wysłaniem dzielony jest na dwie czwórki: starszą i młodszą, a każda z nich zostaje zakodowana w postaci cyfry heksadecymalnej z zakresu 0 do F, której odpowiednik ASCII wyprowadzany jest na łącze. W ten sposób bajt reprezentowany jest przez dwa znaki ASCII, ale znaki te odpowiadają tylko cyfrom kodu heksadecymalnego. Umożliwia to wybranie spośród pozostałych znaków ASCII kilku do celów kontroli początku i końca ramki. Jako znacznik początku przyjęto znak ':', a jako znacznik końca ramki parę znaków CR i LF. Na rys.2 przedstawiono format ramki polecenia w protokole MODBUS pracującym w trybie ASCII. Bajt kontrolny zabezpieczający dane obejmuje pola adresu, kodu rozkazu i argumentów i wyznaczany jest jako uzupełnienie do dwóch sumy bajtów (bez przeniesień) na wymienionych polach.

Format ramki odpowiedzi jest identyczny jak ramki polecenia, nieco inna jest jednak interpretacja danych na polach adresu i kodu rozkazu. W ramce odpowiedzi na polu adresu stacja slave wstawia swój adres własny pozwalając masterowi na sprawdzenie, czy transakcja

znacznik początku	adres	kod rozkazu	argumenty rozkazu	suma kontrolna LRC	znacznik końca
':'	1 bajt (2 znaki)	1 bajt (2 znaki)	n bajtów (2n znaków)	1 bajt (2 znaki)	CR LF

Rys. 2. Format ramki w protokole ASCII MODBUS
Fig. 2. ASCI MODBUS frame format

została wykonana z właściwym urządzeniem. Na pole rozkazu slave wstawia natomiast kod wykonanego rozkazu, jeżeli rozkaz został wykonany poprawnie, lub kod rozkazu powiększony o 128, jeżeli rozkaz nie został wykonany (tzw. "odpowiedź szczególna" - exception response).

Na wykonanie transakcji nałożone jest ograniczenie czasowe. Jeżeli master nie otrzyma odpowiedzi w założonym czasie, to transakcja zostaje przerwana. W protokole MODBUS przewidziano również ograniczenie czasowe na odstęp pomiędzy dwoma kolejnymi znakami w ramce, który nie powinien przekraczać 1 s.

W systemie MCom-200 zdefiniowano 3 rozkazy protokołu MODBUS:

- rozkaz o kodzie 0: polecenie wysłania danych do urządzenia wykonawczego bez odbioru odpowiedzi z urządzenia wykonawczego,
- rozkaz o kodzie 1: polecenie wysłania danych do urządzenia wykonawczego z odbiorem odpowiedzi z urządzenia wykonawczego,
- rozkaz o kodzie 2: test kontrolera komunikacyjnego.

W rozkazach o kodzie 0 i 1 właściwe polecenie kierowane do urządzenia wykonawczego znajduje się na polu argumentów jako ciąg znaków stanowiący rozkaz języka SCPI. Odpowiedź urządzenia na rozkaz SCPI wstawiana jest przez kontroler komunikacyjny na pole argumentów odpowiedzi MODBUS (dotyczy to odpowiedzi na rozkaz MODBUS o kodzie 1).

2.3. SCPI jako warstwa aplikacji w systemie MCom-200

Język SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) powstał w 1990 roku jako rozwinięcie programowej części standardu IEEE-488.2 [5]. Standard IEEE-488.2 określił:

- podstawowe zasady komunikacj pomiędzy kontrolerem a urządzeniem w systemie pomiarowym,
- formaty przesyłanych danych,
- zestaw tzw. rozkazów wspólnych (Common Commands),

- system rejestrów statusu urządzenia,

jednak dopuścił do komunikacji w różnych językach. Dopiero w standardzie SCPI zdefiniowano strukturę, zasady syntaktyczne oraz listę rozkazów do komunikacji kontrolera z urządzeniem wykonawczym, jak również standardowy format odpowiedzi urządzenia. W ten sposób ostatecznie ujednolicono rozkazy i ich interpretację.

Rozkazy SCPI podzielono na:

- rozkazy wspólne (zdefiniowane w normie IEEE-488.2 i włączone do SCPI),
- rozkazy wymagane przez SCPI (muszą być zaimplementowane w każdym urządzeniu),
- rozkazy opcjonalne.

SCPI jest standardem "żywym", co oznacza, że możliwe jest składanie propozycji nowych rozkazów do SCPI Consortium, które podejmuje decyzję o ewentualnym włączeniu ich do standardu. W dokumentacjach nowych urządzeń występuje wiele rozkazów, które posiadają format rozkazów SCPI, ale nie są objęte normą.

Rozkazy języka SCPI mają hierarchiczną budowę (wyjątkiem są tu rozkazy wspólne). Drzewo rozkazów obejmuje rozkazy poziomu głównego (tzw. subsystem), które rozwijają się w dół na kolejne poziomy coraz dokładniej określające rodzaj operacji. Rozkazy SCPI można pisać w formie pełnej lub skróconej, przy czym dopuszczalny jest tylko jeden, ściśle określony skrót (w normie SCPI forma skrócona pisana jest dużymi literami, a pozostała część rozkazu małymi). W rozkazach SCPI stosowane są następujące separatory:

- ':' (dwukropek) oznacza przejście pomiędzy kolejnymi poziomami hierarchii,
- ' ' (spacja) jest separatorem pomiędzy rozkazem a polem argumentów,
- ',' (przecinek) jest separatorem pomiędzy argumentami rozkazu,
- ';' (średnik) jest separatorem pomiędzy rozkazami pisanymi w jednej linii.

Znak '?' umieszczany na końcu rozkazu oznacza polecenie typu zapytanie (query cmmmand), z którym wiąże się odpowiedź przesyłana z urządzenia do kontrolera.

Przykłady rozkazów SCPI (rozkazy multimetru HP-34401A [8]):

Skonfigurowanie urządzenia do pomiaru napięcia zmiennego na zakresie 10 V z rozdzielczością 1 mV:

```
CONFigure:VOLTage:AC 10,0.001
```

Skonfigurowanie przyrządu do pomiaru częstotliwości, wykonanie pomiaru i przesłanie wyniku do kontrolera:

```
MEASure:FREQuency?
```

Przyrząd odsyła wynik pomiaru (np. 10 kHz) w postaci:

```
1.00001000E+04
```

Wybór źródła wyzwalania pomiaru - wyzwolenie rozkazem przesłanym z kontrolera:

```
TRIGger:SOURce BUS
```

Odczyt tekstu informującego o rodzaju błędu wykrytego przez przyrząd:

SYSTem:ERRor?

W przypadku nierozpoznania rozkazu przyrząd zwraca tekst:

-113, "Undefined Header"

zawierający kod rozkazu i krótką informację określającą rodzaj wykrytej nieprawidłowości.

Zdalne wyzwolenie pomiaru (rozkaz z grupy Common Commands):

*TRG

Odpytanie o typ przyrządu (rozkaz z grupy Common Commands):

*IDN?

Urządzenie zwraca tekst:

HEWLETT-PACKARD,34401A,0,3-1-1

podający typ urządzenia, wersję oprogramowania (0) i oznaczenia numeryczne zastosowanych trzech procesorów (3-1-1).

System MCom-200 jest siecią polową urządzeń kompatybilnych ze standardem SCPI, a język SCPI stanowi warstwę aplikacji sieci. Kontroler systemu może występować jako stacja MODBUS lub jako stacja SCPI (patrz pkt 2.6). W tym drugim przypadku należało rozwiązać problem adresacji urządzeń, ponieważ język SCPI określa tylko komunikację pomiędzy kontrolerem a urządzeniem wykonawczym i nie zawiera mechanizmu adresacji urządzeń. Problem ten rozwiązano poprzez uzupełnienie języka SCPI o słowo kluczowe *devn* dodawane na początku właściwego rozkazu SCPI:

devn: <właściwy rozkaz SCPI>

gdzie 'n' jest numerem urządzenia, dla którego przeznaczony jest rozkaz. Kontroler MODBUS, przez który kontroler SCPI podłączony jest do systemu, wydziela parametr 'n' i wstawia go na pole adresu polecenia MODBUS oraz właściwy rozkaz SCPI i wstawia go na pole argumentów polecenia MODBUS.

Kod rozkazu MODBUS określany jest przez kontroler MODBUS w następujący sposób:

- jeżeli we "właściwym rozkazie SCPI" nie występuje znak '?' (co oznacza brak odpowiedzi SCPI), to kod rozkazu MODBUS jest 0,
- jeżeli we "właściwym rozkazie SCPI" występuje znak '?' (co oznacza odpytanie urządzenia), to kod rozkazu MODBUS jest 1.

2.4. Moduły komunikacyjne systemu

Wszystkie wejścia do systemu przeznaczone do podłączenia urządzeń wykonawczych i kontrolera są w standardzie RS-232, jednak transmisja komunikatów w systemie odbywa się na łączu RS-485. Konieczne jest zatem przetworzenie poziomów sygnałów przy przejściu pomiędzy wymienionymi łączami dokonywane przez konwerter RS-232/RS-485.

Komunikaty wprowadzane do urządzeń oraz komunikaty wyprowadzane z urządzeń są

ciągami znaków ASCII stanowiącymi odpowiednio rozkazy lub odpowiedzi języka SCPI. W sytemie jednak obowiązuje komunikacja pod kontrolą protokołu MODBUS, co oznacza, że konieczna jest konwersja protokołów MODBUS na ASCII i w przeciwną stronę, w zależności od kierunku przepływu komunikatu. Zdanie to wykonuje konwerter protokołów ASCII/MODBUS.

Jak już powiedziano, zasięg transmisji w łączu RS-485 jest ograniczony do 1200 m. W rzeczywistości może być mniejszy, jeżeli dysponujemy kablem o dużej tłumienności, a szybkość transmisji jest znaczna. W takim przypadku, w celu zapewnienia wymaganego zasięgu należy zastosować regenerator sygnału. Regenerator (nazywany również repeaterem) odtwarza nie tylko poziom sygnału, ale również wszystkie zależności czasowe.

Dla potrzeb systemu MCom-200 zaprojektowano następujące moduły komunikacyjne:
- konwerter interfejsów RS-232/RS-485 oznaczony symbolem MCom-2C,
- konwerter protokołów ASCII/MODBUS połączony z konwerterem interfejsów RS-232/RS-485 występujący w dwóch postaciach:
  - kontroler systemu opartego na protokole MODBUS oznaczony symbolem MCom-2CC [6],
  - stacja slave systemu opartego na protokole MODBUS oznaczona symbolem MCom-3MS [7],
- repeater RS-485/RS-485 oznaczony symbolem MCom-2R.

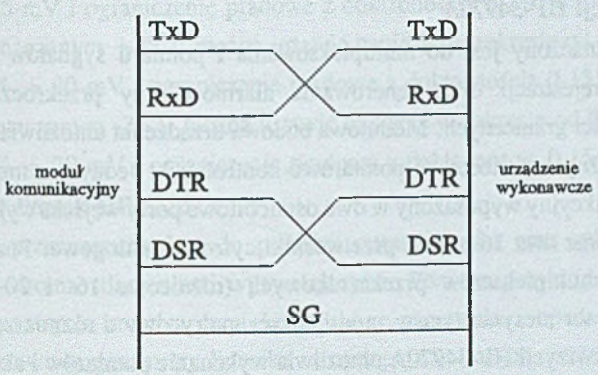
Wszystkie wymienione moduły zasilane są napięciem stałym +24 V i są izolowane galwanicznie zarówno w torze zasilania (przetwornica DC-DC), jak i sygnałowym (optoizolacja). W module konwertera protokołów należy ustawić na mikroprzełączniku adres urządzenia wykonawczego jako stacji w systemie MODBUS.

2.5. Podłączenie urządzeń do systemu MCom-200

Do systemu MCom-200 podłączono zestaw urządzeń pomiarowo-kontrolnych firmy Hewlett-Packard wyposażonych standardowo w łącze RS-232. Każdemu urządzeniu przypisano moduł komunikacyjny (konwerter protokołów ASCII/MODBUS - stacja slave) z ustawionym unikalnym adresem. Jako kontroler systemu wykorzystano komputer PC. Możliwe są dwie konfirguracje kontrolera systemu:

1. Komputer PC jako kontroler protokołu MODBUS. W tym przypadku komputer wyprowadza ramki MODBUS na łącze RS-232, a jego podłączenie do RS-485 wymaga jedynie konwertera RS-232/RS-485.
2. Komputer PC jako kontroler SCPI. W tym przypadku komputer przez łącze RS-232 wyprowadza rozkazy SCPI i przyjmuje odpowiedzi SCPI, a jego podłączenie do systemu wymaga konwertera ASCII/MODBUS pracującego jako kontroler MODBUS oraz konwertera interfejsów RS-232/RS-485 (wszystko w jednym module).

Przesyłanie znaków w interfejsie RS-232 pomiędzy urządzeniem wykonawczym a modułem komunikacyjnym odbywa się pod kontrolą protokołu XON/XOFF realizowanego sprzętowo na liniach DTR i DSR (rys.3).



Rys. 3. Połączenia w kablu interfejsu urządzenie wykonawcze - moduł komunikacyjny
Fig. 3. The measurement device - communication module cable connections

Urządzenie przed wysłaniem znaku sprawdza wejście DSR, które połączone jest z wyjściem DTR urządzenia odbierającego dane. Jeżeli odbiornik jest gotowy do przyjęcia znaku, to uaktywnia linię DTR zezwalając w ten sposób na wyprowadzenie znaku. Podczas nadawania znaków urządzenie wyprowadzające dane utrzymuje swoją linię DTR w stanie nieaktywnym. Wstrzymanie transmisji wiąże się z zapełnieniem bufora wejściowego urządzenia (pojemność bufora wynosi około 100 znaków).

3. Charakterystyka urządzeń pomiarowo-kontrolnych

Firma Hewlett-Packard większość obecnie produkowanych urządzeń wyposaża standardowo w interfejsy RS-232 i IEEE-488 oraz dekoder języka SCPI. Do systemu MCom-200 podłączono kilka przyrządów wchodzących w skład tzw. "basic set" uzyskując system do różnorodnych zastosowań, laboratoryjnych oraz przemysłowych [8,9,10,11,12,13]. W skład systemu weszły następujące przyrządy:

1. Multimetr HP-34401A

Przyrząd umożliwia pomiar napięcia i prądu stałego i zmiennego, rezystancji w układzie dwuprzewodowym i czteroprzewodowym, częstotliwości i okresu sygnałów periodycznych. Wyniki pomiarów można wstępnie przetworzyć, obliczając ich średnią, wartości maksymalną i minimalną oraz przekroczenia wcześniej określonych wartości granicznych. Możliwe są

pomiary bezwzględne oraz odniesione do wartości początkowej, którą można dowolnie ustawić. Dostęp do parametrów układu wyzwalania pomiarów pozwala na programowanie sekwencji pomiarowych o wybranej liczbie próbek i odstępie czasowym pomiędzy nimi, a także liczbie zdarzeń wyzwalających pomiar.

2. System akwizycji HP-34970A

Przyrząd przeznaczony jest do multipleksowania i pomiaru sygnałów analogowych z możliwością ich rejestracji oraz generowania alarmów przy przekroczeniu wcześniej ustawionych wartości granicznych. Modułowa budowa urządzenia umożliwia swobodną jego konfigurację do różnych zastosowań pomiarowo-kontrolnych. Jednym z modułów systemu jest moduł wielofunkcyjny wyposażony w dwa ośmiobitowe porty wejścia/wyjścia, 26-bitowy licznik impulsów oraz dwa 16-bitowe przetworniki cyfrowo-analogowe. Pozostałe moduły to różne rodzaje multiplekserów przekaźnikowych (różnicowe 16- i 20-kanałowe, 40-kanałowy multiplekser niesymetryczny, multiplekser matrycowy o rozmiarze 4 wiersze x 8 kolumn). System akwizycji HP-34970A umożliwia wykonanie pomiarów i akwizycję danych pochodzących z wielu źródeł i reprezentujących różne wielkości fizyczne. Szczególnie nadaje się do pomiarów napięcia i prądu zmiennego oraz stałego, rezystancji w układzie 2- lub 4-przewodowym, temperatury za pośrednictwem termopary, czujnika RTD lub termistora, naprężeń za pośrednictwem tensometrów, przepływu za pośrednictwem czyjników z wyjściem impulsowym, kąta obrotu za pośrednictwem przetworników impusowo-obrotowych, a także częstotliwości i okresu sygnałów periodycznych. Sekwencję skanowania można programować określając listę multipleksowanych kanałów, odstęp czasowy pomiędzy kolejnymi kanałami oraz liczbę cykli.

3. Generator funkcji HP-33120A

Przyrząd przeznaczony jest do generowania standardowych przebiegów periodycznych (sinusoidalnego, prostokątnego, trójkątnego, piłokształtnego) i szumów z możliwością zmiany amplitudy i częstotliwości (w przypadku przebiegu prostokątnego również współczynnika wypełnienia). Ponadto można zdefiniować do czterech przebiegów arbitralnych poprzez zapisanie wartości dyskretnych określających jeden okres przebiegu do pamięci urządzenia. Oprócz generacji funkcji standardowych i przebiegów arbitralnych urządzenie pozwala na modulację amplitudową i częstotliwościową sygnałów z możliwością ustawienia parametrów nośnej i sygnału modulującego. Dostępne są również pewne szczególne rodzaje modulacji częstotliwościowej, jak modulacja FSK (z przełączaną częstotliwością), SWEEP (z częstotliwością nośnej zmienianą liniowo lub logarytmicznie), oraz amplitudowej (BURST - modulacja z przełączaną amplitudą).

4. Zasilacz programowany HP-E3631A

Urządzenie przeznaczone jest do zasilania układów oraz do zmian napięcia zasilania (w szczególności wyłączania i załączania) w celu zbadania reakcji układów na te zmiany.

Możliwe jest ustawianie napięć wyjściowych oraz ograniczeń prądowych na trzech wyjściach urządzenia: +6 V/5 A, +25 V/1 A, -25 V/1 A. Zakres i dokładność ustawienia napięcia i prądu na wyjściach zasilacza są następujące:

- na wyjściu oznaczonym +6 V można ustawić napięcie w zakresie od 0 do 6 V z dokładnością 0.1% + 5 mV i ograniczenie prądowe z dokładnością 0.2% +10 mA,
- na wyjściu oznaczonym +25 V można ustawić napięcie w zakresie od 0 do 25 V z dokładnością 0.05% + 20 mV i ograniczenie prądowe z dokładnością 0.15% +4 mA,
- na wyjściu oznaczonym -25 V można ustawić napięcie w zakresie od 0 do -25 V z dokładnością 0.05% + 20 mV i ograniczenie prądowe z dokładnością 0.15% +4 mA.

5. **Uniwersalny licznik HP-53131A**

Urządzenie przeznaczone jest do pomiaru częstotliwości oraz odstępów czasowych ograniczonych dwoma zdarzeniami wyzwalającymi. Ponadto przyrząd umożliwia pomiar parametrów czasowych impulsu (szerokość, czasy narastania i opadania) oraz zliczanie impulsów. Podstawowe parametry licznika są następujące: zakres częstotliwości 225 MHz, rozdzielczość przy pomiarze częstotliwości 10 cyfr przy czasie bramkowania 1 s.

6. **Oscyloskop HP-54601A**

Urządzenie przeznaczone jest do obserwacji przebiegów periodycznych oraz pomiaru ich parametrów amplitudowych i czasowych za pośrednictwem wewnętrznego multimetru cyfrowego. Pasmo przenoszenia oscyloskopu wynosi 100 MHz, a liczba kanałów wejściowych 4. Wyzwalanie na żądanie oraz pamięć przebiegu umożliwiają również rejestrację sygnałów nieokresowych. Wszystkie parametry urządzenia mogą być zdalnie ustawiane i odczytywane. Można również przesłać do oscyloskopu spróbkowany przebieg w celu jego prezentacji na ekranie przyrządu. Wyniki pomiarów oraz przebiegi mogą być zdalnie odczytane i przesłane do kontrolera. Przy przesyłaniu wartości dyskretnych przebiegów do lub z oscyloskopu obowiązuje format binarny, blokowy zgodny ze standardem IEEE-488 v.2. Podłączenie przyrządu do systemu MCom-200 wymaga wyposażenia go w moduł interfejsowy RS-232 oznaczony symbolem HP-54651A.

7. **Analizator stanów logicznych HP-54620A**

Urządzenie przeznaczone jest do obserwacji i analizy czasowej przebiegów w układach cyfrowych dokonywanych jednocześnie na wielu kanałach. Analizator wyposażono w 16 kanałów wejściowych oraz cyfrowy miernik parametrów czasowych (częstotliwość, okres, współczynnik wypełnienia, szerokość impulsu, opóźnienie i czas przetrzymania). Maksymalna szybkość próbkowania wynosi 500 MSa/s (megapróbek na sekundę). Różnorodne możliwości wyzwalanie analizatora (zboczami, wzorcami, sekwencjami, przedziałami czasowymi) sprawiają, że jest on szczególnie przydatny do uruchamiania, testowania i diagozowania pracy złożonych układów cyfrowych. Podłączenie przyrządu do systemu MCom-200 wymaga wyposażenia go w moduł interfejsowy HP-54651A.

4. Oprogramowanie systemu

Dla systemu MCom-200 sporządzono prosty program uruchomieniowy o nazwie mtst pracujący pod DOSem oraz aplikację wykonującą akwizycję danych w środowisku HP_VEE (Hewlett-Packard Visual Engineering Environment) dla MS WINDOWS [10]. Program mtst napisany został w języku C i skompilowany przy wykorzystaniu kompilatora TC 2.0. Autorem programu jest mgr inż. Ryszard Pawłowski [9]. Aplikację sterowania i akwizycji danych w środowisku HP-VEE wykonał mgr inż. Grzegorz Zaręba.

Funkcje programu mtst:

1. Funkcje "niskiego poziomu"
   - inicjalizacja łącza szeregowego,
   - wysyłanie ciągu bajtów jako ramek w określonym protokle (MODBUS ASCII, ASCII ze znacznikiem końca w postaci pary znaków CR,LF lub w protokole ADvantech).
2. Funkcje "wysokiego poziomu"
   - realizacja pojedynczej transakcji lub ciągu transakcji z możliwością ustawiania ograniczeń czasowych i programowania cyklu (dla każdej transakcji należy podać adres urządzenia oraz treść rozkazu),
   - praca jako moduł slave w protokole MODBUS ASCII,
   - wysyłanie ramek uszkodzonych w celach diagnostycznych.

Aplikacja sterowania i akwizycji danych dla systemu MCom-200 przygotowana w środowisku HP-VEE - funkcje programu:

- sterowanie urządzeniami systemu i akwizycja danych za pośrednictwem obiektów Instrument Driver lub Direct I/O,
- programowanie cyklu akwizycji z określeniem ograniczeń czasowych,
- przetwarzanie i prezentacja wyników pomiarów,
- rejestracja pomiarów,
- ustawianie i zapis alarmów,
- diagnostyka (monitorowanie łącza RS-232, realizacja pojedynczych transakcji).

5. Podsumowanie

Przedstawiony system MCom-200 (rys.1) umożliwia rozproszone sterowanie i akwizycję danych w sieci polowej urządzeń kompatybilnych ze standardem SCPI i wyposażonych w łącze RS-232. Komunikacja urządzeń odbywa się przez magistralę RS-485 pod kontrolą protokołu MODBUS. Warstwę aplikacji stanowią rozkazy języka SCPI.

Kontrolerem systemu jest komputer PC, który może pracować jako stacja master

protokołu MODBUS lub jako stacja SCPI. W tym drugim przypadku rolę mastera w sieci MODBUS odgrywa specjalny moduł komunikacyjny dokonujący konwersji ciągu znaków ASCII na ramkę MODBUS.

Dla systemu MCom-200 opracowano zestaw modułów komunikacyjnych:

- konwerter interfejsów RS-232/RS-485,
- konwerter protokołów ASCII/MODBUS połączony z konwerterem interfejsów RS-232/RS-485 występujący w dwóch postaciach:
  - kontroler systemu opartego na protokole MODBUS,
  - stacja slave systemu opartego na protokole MODBUS,
- repeater RS-485/RS-485.

Wszystkie moduły komunikacyjne są zasilanie napięciem stałym +24 V, a ich pobór prądu nie przekracza 60 mA. Każdy moduł jest ponadto w pełni izolowany galwanicznie.

Do sytemu podłączono szereg urządzeń pomiarowych firmy Hewlett-Packard (patrz pkt 3) otrzymując sieć polową do pomiarów laboratoryjnych lub przemysłowych (w szczególności do testowania wyrobów). Podstawowe parametry systemu są następujące: zasięg (bez repeatera) 1200 m, liczba urządzeń podłączonych do jednego segmentu sieci 32, szybkość transmisji 9600 bodów (ograniczenie wynikłe jedynie z maksymalnej szybkości bodowej urządzeń wykonawczych).

MCom-200 pokonuje ograniczenia popularnego systemu opartego na magistrali IEEE-488 (zasięg, liczba urządzeń) będąc przy tym rozwiązaniem tańszym.

LITERATURA

1. Nowakowski W.: Systemy interfejsu w miernictwie. WKŁ, Warszawa 1987.
2. Jordan J.: Serial Networked Field Instrumentation. John Wiley & Sons, New York 1995.
3. Pippenger D., Tobaben E.: Linear and Interface Circuits Applications. Volume 2: Data Transmission Line Circuits. Texas Instruments 1986.
4. Modicon: Modicon Modbus Protocol Reference Guide. PI-MBUS-300 Rev.D. Modicon, Inc. 1992.
5. IEEE Standard 488.2 - 1987 "IEEE Standard Codes Formats, Protocols and Common Commands" i rozszerzenie SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) version 1993.
6. Pawłowski R.: Stacja master hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 34, Gliwice 1998.
7. Mielczarek W.: Stacja slave hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka

SCPI. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 33, Gliwice 1997.
8. HP 34401A Multimetr User's Guide, Hwelett Packard, June 1992 Edition 3.
9. HP 33120A Function Generator/Arbitrary Waveform Generator User's Guide, Hewlett Packard, May 1994 Edition 3.
10. HP 34970A Data Acquisition/Switch Unit User's Guide, Hewlett Packard, October 1997 Edition 2.
11. HP E3631A Tripple Output DC Power Supply User's Guide, Hewlett Packard, June 1996 Edition 2.
12. HP 54600-Series Oscilloscopes Programmers's Guide, Hewlett Packard, July 1991.
13. HP 54620C Logic Analyser, Hewlett-Packard, September 1997.
14. Pawłowski R.: Program diagnostyczny dla sieci opartych na protokołach znakowych. Załącznik 4 do sprawozdania z realizacji projektu badawczego KBN 302/T11/97/11.
15. Helsel R.: Cutting Your Test Development Time with HP-VEE. An Iconic Programming Language. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1994.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Wpłynęło do Redakcji 6 kwietnia 1999 r.

Abstract

The MCom-200 data acquisition and control distributed (Fig.1) system links the RS-232 devices compatibile with the SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) standard. Messages are transmitted through the RS-485 bus under the MODBUS protocol control. The SCPI commands are used as the application layer.

A PC computer is the system controller. It can function as the MODBUS master unit or as SCPI unit. In the second case the special communication module works as the MODBUS master unit, that converts ASCII character string into MODBUS frame.

For MCom-200 system purposes several communication modules were designed:
- RS-232/RS-485 converter,
- two types of the ASCII/MODBUS protocol converter with RS-232/RS-485 converter:
  - MODBUS system controller (master unit),
  - MODBUS slave unit,
- RS-232/RS-485 repeater.

All the communication modules are fully isolated and powered from +24 V power supply.