

Grzegorz ZARĘBA

SIĘĆ MAGISTRALOWA URZĄDZEŃ POMIAROWYCH OPARTA NA INTERFEJSIE RS-485

Streszczenie. W artykule przedstawiono sieć magistralową urządzeń pomiarowych firmy Hewlett-Packard zrealizowaną na bazie interfejsu szeregowego RS-485. Opisana sieć pracuje pod kontrolą protokołu MODBUS i umożliwia obsługę urządzeń pomiarowych wyposażonych w interfejs RS-232C i interpreter języka SCPI.

THE BUS NETWORK OF THE MEASUREMENT INSTRUMENTS BASED ON THE RS-485 INTERFACE

Summary. In this article a bus network of the Hewlett-Packard measurement instruments working under control of the MODBUS protocol was described. The network is based on the RS-485 interface and provides remote control of some instruments with RS-232C interface and interpreter of SCPI language.

RÉSEAU BUS DES APPAREILS DE MESURE A BASE DE L'INTERFACE RS-485

Sommaire. Dans cet article sera présenté le réseau bus des appareils de mesure de la société Hewlett-Packard réalisé a base de l'interface en serie RS-485. Ce reseau fonctionne sous le controle du protocole MODBUS et permet l'exploitation des ces appereils qui contiennent des interfaces RS-232C et un interpreter de langage SCPI.

1. Wstęp

Zestawienie prostego systemu pomiarowego składającego się z urządzeń pomiarowych firmy Hewlett-Packard i z komputera PC jako kontrolera można zrealizować w dwojaki sposób: jako system pomiarowy oparty na interfejsie IEEE-488 lub system wykorzystujący łącze RS-232C.

Budowa systemu pomiarowego opartego na interfejsie IEEE-488 jest w dużym stopniu ułatwiona dzięki dobremu opracowaniu samego interfejsu, jak również poprzez duży wybór bazy sprzętowej (urządzeń pomiarowych z IEEE-488) oraz oprogramowania sterującego. System pomiarowy bazujący na interfejsie IEEE-488 jest jednak rozwiązaniem kosztownym oraz nie pozwala na budowę systemów rozproszonych, w których odległości pomiędzy urządzeniami są większe niż 2 metry.

Alternatywnym rozwiązaniem jest budowa systemu pomiarowego opartego na łączu RS-232C, w które standardowo wyposażone są urządzenia pomiarowe firmy Hewlett-Packard. Łącze to nie pozwala jednak na bezpośrednie dołączanie urządzeń pomiarowych do systemu, a jedynie na realizację połączeń typu punkt-punkt. Prosty system magistralowy można wykonać na podstawie łącza RS-485, które umożliwia budowę systemu wielopunktowego. Aby umożliwić współpracę danego przyrządu pomiarowego z pozostałymi urządzeniami pracującymi w sieci, należy zapewnić możliwość przetworzenia sygnałów ze standardu RS-232C na standard RS-485. Każde urządzenie dołączane jest do magistrali poprzez konwerter, który zapewnia przetworzenia sygnałów RS-232C na RS-485 i odwrotnie.

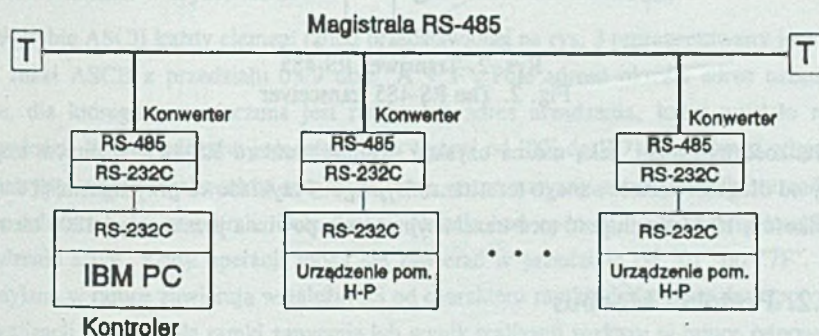
Projekt magistralowej sieci pomiarowej obejmuje więc:

- opracowanie i wykonanie inteligentnego konwertera interfejsów RS-232C i RS-485,
- oprogramowanie konwerterów do pracy w systemie Modbus,
- opracowanie algorytmów współpracy konwertera z kontrolerem systemu oraz z urządzeniem pomiarowym i ich implementacja.

2. Sieć magistralowa RS-485 z protokołem Modbus

Interfejs RS-485 pozwala na prostą realizację sieci urządzeń współpracujących ze sobą pod kontrolą protokołu *master-slave*. Protokół ten zapewnia, że dostęp do wspólnego toru transmisyjnego posiada w danej chwili tylko jedno z urządzeń: urządzenie *master* lub wskazane urządzenie *slave*. Moduł *slave*, którym jest urządzenie pomiarowe, nie może samoistnie przejąć kontroli nad magistralą i przeprowadzić transmisji danych. Wszystkie jednostki *slave* monitorują łącze w celu wykrycia żądania modułu *master* do rozpoczęcia

transmisji. Komunikacja przyrządu pomiarowego H-P realizowana przez łącze szeregowe z kontrolerem odpowiada w pełni założeniom protokołu typu *master-slave*. Jedyne kontroler może zainicjować transakcje, w wyniku której przyrząd pomiarowy może zrealizować przesył np. wyniku pomiaru do kontrolera. Magistralę RS-485 wraz z dołączonymi do niej urządzeniami pomiarowymi oraz komputerem IBM PC jako kontrolerem systemu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Sieć magistralowa RS-485

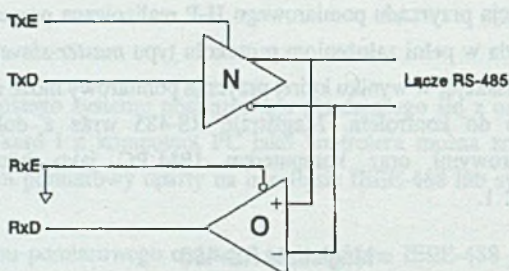
Fig. 1. The RS-485 bus network

2.1. Interfejs RS-485

Standard RS-485 [1] wprowadzony w 1983 roku definiuje różnicowe nadajniki i odbiorniki transmisji szeregowej przystosowane do symetrycznego toru transmisyjnego. Zastosowanie różnicowego toru transmisyjnego eliminuje wady, jakie występują przy niesymetrycznym przesyłaniu danych: duże ograniczenie prędkości transmisji oraz długości toru transmisyjnego. Wady te eliminowane są dzięki zwiększonej odporności toru różnicowego na zakłócenia, co umożliwia stosowanie standardu RS-485 w warunkach przemysłowych.

Zastosowanie interfejsu RS-485 w sieci o deterministycznym dostępie do łącza, np. w sieci typu *master-slave* lub Token Bus, ułatwione jest dzięki zdefiniowaniu przez standard trójstanowych nadajników. Na rys. 2 przedstawiono transiwer RS-485, w którym na stałe odblokowano odbiornik (dołączono do masy) w celu ciągłego monitorowania łącza.

Do wspólnego toru transmisyjnego może być więc dołączonych wiele nadajników, przy czym w danej chwili może być aktywny tylko jeden, a pozostałe muszą być w stanie wysokiej impedancji (możliwość sterowania linią TxE blokującą nadajnik). Jeden nadajnik możeysterować do 32 jednostkowych obciążeń bez uwzględnienia rezystorów dopasowujących R_T . Obciążenie może składać się z nadajników i/lub odbiorników.



Rys. 2. Transiwer RS-485
Fig. 2. The RS-485 transceiver

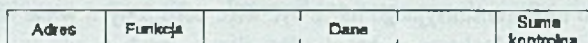
Prędkość transmisji, jaką można uzyskać stosując standard RS-485, w dużym stopniu zależy od długości zastosowanego toru transmisyjnego. Przykładowo przy transmisji danych z prędkością 10 Mb/s długość toru transmisyjnego nie powinna przekroczyć 1200 metrów.

2.2. Protokół Modbus

Dostęp do łącza transmisyjnego na zasadzie *master-slave* zapewnia protokół Modbus [1] opracowany przez firmę Modicon. Protokół Modbus jest standardem przyjętym przez producentów sterowników przemysłowych dla asynchronicznej, znakowej wymiany informacji pomiędzy urządzeniami systemów kontrolno-pomiarowych. Interfejs ten zapewnia prostą regułę dostępu do łącza, zabezpieczenie przesyłanych komunikatów przed błędami, potwierdzanie wykonania rozkazów zdalnych i sygnalizację błędów oraz wykorzystanie asynchronicznej transmisji znakowej zgodnej z RS-232C. Przedstawione powyżej cechy protokołu Modbus przyczyniają się do jego przydatności w projektowanym systemie.

2.2.1. Wymiana danych w systemie Modbus

Urządzenia pracujące w systemie Modbus komunikują się ze sobą pod kontrolą protokołu typu *master-slave*, w którym tylko urządzenie master może inicjować proces wymiany danych. Jednostki podrzędne - slave odpowiadają jedynie na zdalne zapytania modułu master. Proces wymiany danych, tzw. transakcja, składa się z polecenia wysyłanego z jednostki master do slave oraz z odpowiedzi przesyłanej z jednostki slave do master. Jednostkę danych (ramkę) o określonej przez system Modbus strukturze przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Ramka w systemie Modbus
Fig. 3. The Modbus frame

W protokole Modbus zdefiniowano dwie postaci ramek ASCII oraz RTU. W trybie ASCII każdy 8-bitowy bajt w wiadomości przesyłany jest w postaci dwóch znaków ASCII, natomiast w trybie RTU znaki przesyłane są w postaci binarnej. Ze względu na postać, w jakiej następuje komunikacja kontrolera systemu pomiarowego z urządzeniem pomiarowym (ciąg znaków ASCII), zaimplementowano ramkę w trybie ASCII.

2.2.2. Ramka w trybie ASCII

W trybie ASCII każdy element ramki przedstawionej na rys. 3 reprezentowany jest przez dwa znaki ASCII z przedziału 0÷9 oraz 'A'÷'F'. Pole adresu określa adres urządzenia slave, dla którego przeznaczona jest ramka lub adres urządzenia, które wysłało ramkę odpowiedzi. Zakres adresów jednostek slave wynosi od '00' do 'F7', przy czym adres '00' wykorzystywany jest jako adres rozgłoszeniowy, rozpoznawany przez wszystkie urządzenia slave dołączone do magistrali. Pole funkcji określa kod operacji, jaką powinno wykonać urządzenie slave. Kody operacji mogą się zawierać w przedziale od '01' do '7F'. Dane przesyłane w ramce zawierają w zależności od charakteru ramki: dodatkowe dane potrzebne do realizacji rozkazu dla ramki zapytania lub wynik realizacji rozkazu w ramce odpowiedzi. Ostatnim elementem ramki jest suma kontrolna LRC (Longitudinal Redundancy Check) zabezpieczająca przesyłaną ramkę. Ośmiobitowa wartość LRC obliczana jest przez urządzenie nadające i przesyłana w postaci dwóch znaków ASCII. Urządzenie odbierające oblicza LRC podczas odbioru ramki i porównuje ze słowem kontrolnym w ramce odebranej. Różnica pomiędzy obliczoną i odebraną sumą LRC oznacza wystąpienie błędu. Obliczanie LRC polega na sumowaniu kolejnych 8-bitowych bajtów wiadomości, odrzuceniu przeniesień i na koniec wyznaczeniu uzupełnienia dwójkowego wyniku.

Przedstawiona powyżej ramka transmitowana jest wraz ze znacznikami początku i końca ramki. Początek ramki identyfikowany jest przez znak ':' (ASCII-3A), natomiast koniec ramki oznaczany jest za pomocą dwóch znaków: <CR> i <LF>. Odstęp pomiędzy znakami tworzącymi ramkę nie może przekraczać 1 s. Jeżeli odstęp ten będzie większy od podanej wartości, urządzenie odbierające dane sygnalizuje błąd.

Tworzenie ramek w trybie ASCII oraz ich interpretacje zapewnia inteligentny konwerter pośredniczący pomiędzy poszczególnymi elementami systemu pomiarowego. Postać ramki ASCII z uwzględnieniem znaczników początku i końca pokazuje tabela 1.

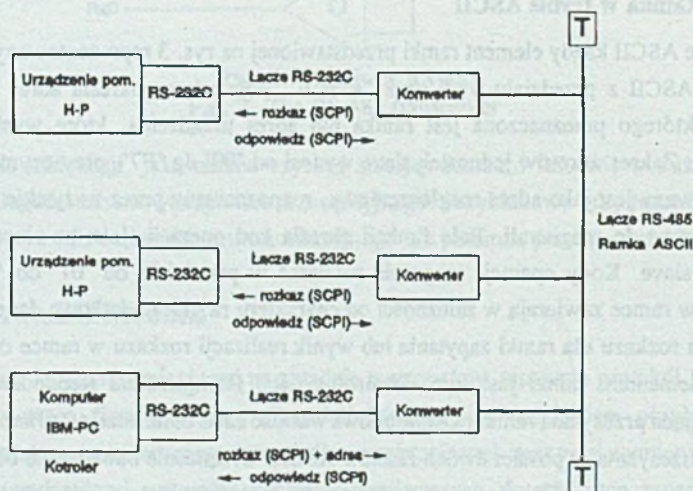
Tabela 1

Ramka w trybie ASCII

Znacznik początku	Adres	Funkcja	Dane	Kontrola LRC	Znacznik końca
1 znak (':')	2 znaki	2 znaki	n znaków	2 znaki	2 znaki (CR LF)

3. Konwerter standardów RS-232C oraz RS-485

W prezentowanej sieci urządzeń pomiarowych urządzeniem nadrzędnym *master* sterującym wymianą komunikatów oraz przesyłem danych jest komputer IBM-PC, natomiast przyrządy pomiarowe są urządzeniami podrzędnymi *slave* (rys. 4).



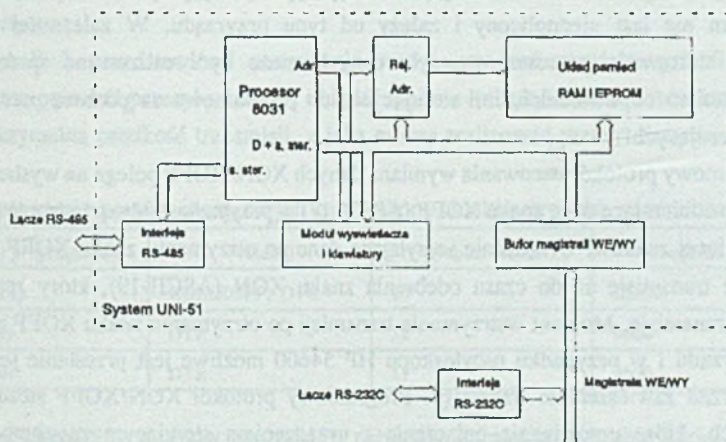
Rys. 4. Zasada dołączania urządzeń z interfejsem RS-232C do magistrali RS-485
Fig. 4. The rule of connecting devices with RS-232C interfaces to the RS-485 bus

Każde z urządzeń przedstawionych na rys. 4 współpracuje z konwerterem interfejsów RS-232C i RS-485. Konwerter ten umożliwia dostęp do magistrali RS-485 poprzez łącze szeregowe RS-232C. Funkcje, jakie powinien spełniać konwerter, nie ograniczają się jedynie do samej konwersji poziomów elektrycznych sygnałów, pojawiających się w łączach, ale obejmują również sterowanie dostępem do łącza transmisyjnego oraz zapewniają translację ramek pochodzących z systemu Modbus (magistrala RS-485) na rozkaz lub odpowiedź w języku SCPI (łącze RS-232C) i odwrotnie.

3.1. Budowa konwertera

Prototyp konwertera opracowano na podstawie systemu mikroprocesorowego UNI-51, bazującego na mikrokontrolerze serii MCS-51. System ten wyposażony jest w zewnętrzną magistralę WE/WY, do której mogą być dołączane zewnętrzne moduły. Poprzez dołączony moduł można w prosty sposób z uniwersalnego systemu mikroprocesorowego stworzyć system dedykowany, realizujący określone funkcje. W postaci zewnętrznego modułu

zaprojektowano i wykonano układ sterownika łącza RS-232C, poprzez który następuje komunikacja z urządzeniem pomiarowym oraz kontrolerem systemu. Interfejs RS-485 jest integralną częścią systemu UNI-51 i obsługiwany jest przez wewnętrzny port szeregowy mikrokontrolera MCS-51. Schemat blokowy konwertera przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy konwertera RS-232C/RS-485

Fig. 5. The diagram of the RS-232C/RS-485 converter

System UNI-51 wyposażony w kartę z interfejsem RS-232C oraz oprogramowanie realizujące komunikację w systemie Modbus stanowi kompletny konwerter RS-232C/RS-485 przystosowany do pracy na magistrali RS-485 systemu pomiarowego.

4. Współpraca konwertera z urządzeniem pomiarowym

Przedstawiony konwerter nadzoruje proces wymiany danych pomiędzy urządzeniem pomiarowym a kontrolerem systemu realizowany poprzez łącze RS-232C. Łącze szeregowe zgodne ze standardem RS-232C, które coraz częściej jest standardowym interfejsem przyrządów pomiarowych, umożliwia zdalne sterowanie przyrządem. Komunikacja z przyrządem pomiarowym może być wykorzystana do zdalnego wykonania pomiaru, zmiany konfiguracji urządzenia lub też zdalnego odczytu statusu urządzenia.

4.1. Łącze RS-232C przyrządów pomiarowych

Interfejs RS-232C przyrządów pomiarowych umożliwia realizację szeregową asynchroniczną transmisji danych. Do przeprowadzenia transmisji danych niezbędne są trzy

linie: TxD, RxD oraz GND. Pozostałe linie interfejsu (DTR, DSR, RTS, CTS, DCD) mogą służyć do sterowania przepływem danych, mogą sygnalizować przepelnienie buforów odbiorników w czasie odbioru danych i w związku z tym konieczność wstrzymania transmisji przez nadajnik. Sposób sterowania wymianą danych pomiędzy przyrządem pomiarowym a kontrolerem nie jest ujednoczony i zależy od typu przyrządu. W zależności od typu przyrządu sterowanie procesem przesyłu danych może być realizowane sprzętowo, z wykorzystaniem odpowiednich linii sterujących lub programowo za pomocą przesyłanych znaków sterujących.

Programowy protokół sterowania wymianą danych XON/XOFF polega na wysłaniu przez urządzenie odbierające dane znaku XOFF (ASCII-17) w przypadku, gdy urządzenie nie może odebrać więcej znaków. Urządzenie wysyłające dane po otrzymaniu znaku XOFF powinno wstrzymać transmisję aż do czasu odebrania znaku XON (ASCII-19), który zezwala na ponowną transmisję. Moment wstrzymania transmisji po otrzymaniu znaku XOFF zależy od typu przyrządu i w przypadku oscyloskopu HP 54600 możliwe jest przesłanie jeszcze 32 znaków przed zawieszeniem transmisji. Programowy protokół XON/XOFF stosuje się w przyrządach, które umożliwiają połączenie z urządzeniem sterującym za pomocą kabla trójżyłowego, zawierającego linie TxD, RxD oraz GND.

W przypadku transmisji z potwierdzeniem realizowanej sprzętowo do sterowania przepływem danych stosuje się linie standardowo przeznaczone do współpracy z modemem: DTR, DSR, RTS, CTS, DCD. Które z tych linii sterują przesyłem danych, zależy od typu urządzenia wyposażonego w interfejs szeregowy. Jako przykład sprzętowej realizacji potwierdzenia przesyłu danych zostanie przedstawiona współpraca multimetru firmy Hewlett-Packard HP 34401A z konwerterem. Konwerter może realizować przesył danych do multimetru tylko w przypadku, gdy stan linii DTR jest wysoki. Oznacza to, że multimetr może odbierać wysyłane dane. W chwili gdy wewnętrzny bufor multimetru (mieszczący około 100 znaków) zostanie zapełniony do ok. 90 znaków, stan linii DTR zmieniony zostaje na niski. Jest to sygnałem dla konwertera o konieczności zawieszenia transmisji znaków na czas potrzebny multimetrowi na przetworzenie odebranych znaków. W związku z tym, że linia DTR ustawiana jest jako nieaktywna (stan niski) w chwili, gdy w buforze jest jeszcze miejsce na zapisanie 10 znaków, konwerter może przesłać dodatkowo te znaki, po czym powinien wstrzymać transmisję. Przesył danych w kierunku od multimetru do konwertera sterowany jest za pomocą linii DSR. Linia tą steruje konwerter i ustawia ją w stanie wysokim, jeśli dane mogą być odbierane. Jeżeli bufor konwertera ulegnie zapełnieniu, zmienia on stan linii DSR na niski. Multimetr testuje stan linii DSR przed wysłaniem każdego znaku, w związku z tym znak zostanie wysłany tylko w przypadku, gdy konwerter może go odebrać.

Kolejnym istotnym elementem przy współpracy urządzeń poprzez łącze szeregowo jest określenie parametrów transmisji: ilość bitów danych oraz stopu, rodzaj kontroli parzystości oraz prędkość transmisji. Podobnie jak w przypadku kontroli przesyłu danych brak jest pełnego ujednocnienia formatu przesyłanych danych w łączach szeregowych urządzeń pomiarowych.

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie trzech urządzeń pomiarowych firmy H-P, zawierające protokół przesyłu danych, długość znaku z uwzględnieniem bitów startu i stopu oraz maksymalną prędkość transmisji, z jaką można realizować przesył danych.

Tabela 2

Zestawienie portów szeregowych oscyloskopu, multimetru oraz generatora H-P

Typ przyrządu	Protokół	Długość znaku	Prędkość (max)
Oscyloskop	XON/XOFF, DTR	10	19200
Multimetr	DTR	11	9600
Generator	DTR	11	9600

Dla poszczególnych typów przyrządów różnice widoczne są w liczbie bitów stopu oraz prędkości transmisji. Skrótom DTR oznaczono sprzętową realizację kontroli przesyłu danych. Brak jednoznacznych ustaleń co do parametrów transmisji jak również sposobu kontroli przesyłu danych powoduje konieczność uwzględnienia w konwerterze różnych konfiguracji ustawień portu szeregowego RS-232C dla różnego typu urządzeń. Można więc wyobrazić sobie system pomiarowy, w którym komunikacja z różnymi przyrządami pomiarowymi odbywa się z różnymi prędkościami transmisji oraz przy zastosowaniu różnych technik sterowania przesyłem danych na łączu RS-232C. Oczywiście odbywa się to bez żadnego wpływu na sposób komunikacji urządzeń poprzez magistralę RS-485. Format danych pojawiających się na magistrali RS-485 jest określony poprzez zastosowany protokół komunikacyjny. Parametry transmisji na magistrali dobierane są w zależności od długości magistrali oraz stopnia zakłóceń, na jakie narażona jest magistrala.

4.2. Język zdalnego sterowania urządzeniami pomiarowymi

Zdefiniowane w poprzednim punkcie połączenie przyrządów pomiarowych z konwerterem za pomocą łącza RS-232C nie wystarcza do poprawnej realizacji procesu sterowania przyrządem i procesem pomiarowym. Aby to umożliwić, należy określić znaczenie przesyłanych danych, sposób, w jaki będą interpretowane przez przyrząd jak również format odpowiedzi przesyłany do kontrolera. Powstały w 1990 roku Standard Commmands for Programmable Instruments (SCPI) określił środowisko programowe oraz język do sterowania urządzeniami i wykorzystania danych.

Język SCPI [2] definiuje strukturę, syntaktykę oraz rozkazy dla komunikacji pomiędzy kontrolerem a urządzeniami w automatycznym systemie pomiarowym. Podstawowym zadaniem języka jest określenie postaci komunikatów wysyłanych przez kontroler, odpowiedzi wysyłanych przez urządzenie, jak również formatu komunikatów dla wszystkich przyrządów kompatybilnych z normą SCPI, niezależnie od wytwórcy. Zdefiniowano szereg rozkazów wspólnych, na które powinny reagować w identyczny sposób wszystkie urządzenia wyposażone w interpreter SCPI. Umożliwiono również realizację rozkazów właściwych tylko dla danego typu urządzenia.

4.2.1. Rozkazy SCPI

Rozkazy zgodne z SCPI można podzielić na dwie grupy:

- rozkazy, których wykonanie nie zwraca żadnej informacji do kontrolera,
- rozkazy typu zapytanie, których wykonanie powoduje powstanie komunikatu odpowiedzi przekazywanego do kontrolera za pośrednictwem bufora wyjściowego.

Rozkazy zapisane w formacie SCPI to ciąg znaków ASCII zakończony terminatorem <LF> lub <CR> <LF>. Urządzenie pomiarowe interpretuje odebrany rozkaz po napotkaniu znacznika końca <LF>. W przypadku gdy rozkaz wymaga przesłania odpowiedzi, przesyłana jest ona również w postaci ciągu znaków ASCII tworzących np. komunikat lub wynik pomiaru zakończony znakiem <LF>.

Konwerter współpracujący z urządzeniem pomiarowym powinien zapewnić przesłanie odczytanego z magistrali RS-485 rozkazu do urządzenia pomiarowego oraz, w przypadku gdy jest to konieczne, odebrać odpowiedź od urządzenia pomiarowego. Następnie konwerter powinien przygotować ramkę zwrotną dla kontrolera systemu. Ramka zwrotna dla kontrolera powinna zostać wysłana bez względu na to czy rozkaz przesłany do przyrządu był rozkazem generującym odpowiedź, czy też nie, co wynika z protokołu Modbus. Zawartość pola danych ramki zwrotnej dla rozkazu z odpowiedzią jest z góry określona (jest nią uzyskana odpowiedź), natomiast w przypadku rozkazów bez odpowiedzi można zaproponować, aby konwerter dodatkowo przesłał do urządzenia rozkaz testujący wykonanie rozkazu i otrzymana w ten sposób odpowiedź umieścić w polu danych ramki zwrotnej. Jest to w zasadzie jedyna możliwość stwierdzenia poprawności wykonania rozkazów nie zwracających żadnej odpowiedzi. Rozkazy z odpowiedzią powodują wygenerowanie odpowiedzi dla konwertera po realizacji rozkazu. Oczywiście, w przypadku, gdy nastąpi błąd podczas transmisji rozkazu do urządzenia pomiarowego, rozkazu nie będzie można wykonać i również odpowiedź nie będzie przesłana do konwertera. Sytuacja taka może doprowadzić do zablokowania konwertera, który będzie oczekiwał na odpowiedź z przyrządu pomiarowego i w rezultacie nie zostanie przygotowana i wysłana ramka zwrotna dla kontrolera systemu. Aby zapobiec takiej sytuacji należy wprowadzić ograniczenie czasu oczekiwania na pojawienie się

odpowiedzi. Po upływie tego czasu konwerter powinien przygotować ramkę zwrotną dla kontrolera, zawierającą komunikat o błędzie związanym z brakiem odpowiedzi na rozkaz. Reakcja kontrolera na taką odpowiedź może być następująca: kontroler systemu wysyła ramkę z rozkazem SCPI dotyczącym odczytu kodu błędu, jaki wystąpił lub statusu urządzenia w celu określenia przyczyny wystąpienia błędu.

5. Funkcje realizowane przez konwerter

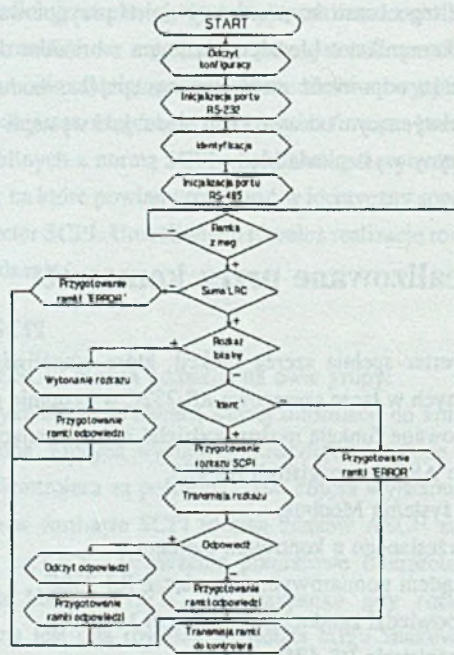
Przedstawiony konwerter spełnia szereg funkcji, które umożliwiają pracę przyrządów pomiarowych wyposażonych w łącze szeregowe RS-232C w systemie pomiarowym opartym na łączu RS-485. Realizowane funkcje można podzielić na następujące grupy:

- a) odbiór ramki w trybie ASCII z magistrali RS-485,
- b) interpretacja ramki z systemu Modbus,
- c) wykonanie rozkazu przesłanego z kontrolera systemu,
- d) komunikacja z przyrządem pomiarowym przez łącze RS-232C,
- e) zestawienie ramki odpowiedzi zgodnej z protokołem Modbus,
- f) transmisja ramki na magistralę RS-485.

5.1. Komunikacja z urządzeniem pomiarowym

Przedstawiony na rys. 6 schemat blokowy algorytmu realizującego współpracę konwertera z urządzeniem pomiarowym zapewnia komunikację z dowolnym urządzeniem pomiarowym posiadającym interfejs RS-232C oraz interpreter języka SCPI. Typ urządzenia określa sposób sterowania przesyłem danych jak również parametry transmisji (pkt. 4.1) i jest określany za pomocą znajdującego się w systemie UNI-51 ośmiopozycyjnego zadajnika.

Wykonanie programu rozpoczyna się od inicjalizacji portu szeregowego RS-232C, którego parametry transmisji określone są przez typ urządzenia pomiarowego współpracującego z konwerterem. Procedura 'Identyfikacja' za pomocą rozkazu odczytu nazwy urządzenia pomiarowego sprawdza zgodność typu urządzenia dołączonego do łącza z zadeklarowanym. W wyniku porównania ustawiana jest zmienna 'Ident', która jest testowana w dalszej części programu. Następnie dokonywana jest inicjalizacja portu RS-485 i od chwili odblokowania odbiornika konwerter gotowy jest do pracy na magistrali RS-485. Jako urządzenie typu slave konwerter może tylko monitorować magistralę w celu wykrycia ramki przeznaczonej dla niego. Odebrana i skontrolowana ramka (zgodność odebranej i obliczonej sumy LRC) poddana jest procesowi interpretacji. Następuje identyfikacja rozkazu



Rys. 6. Schemat blokowy programu dla urządzenia slave

Fig. 6. The diagram of the slave device program

i jego wykonanie. Jeżeli odebrano rozkaz zdalny, przeznaczony dla urządzenia pomiarowego, realizowany jest proces przesyłu rozkazu do przyrządu oraz, jeżeli jest to wymagane, odczyt wyniku wykonania rozkazu. Ostatnim krokiem transakcji zapoczątkowanej przez urządzenie master jest przygotowanie i wysłanie ramki odpowiedzi. Ramka odpowiedzi może zawierać wynik wykonania rozkazu zdalnego lub lokalnego lub też kod błędu, jaki wystąpił podczas transakcji, np. błąd sumy LRC. Po zakończeniu transakcji konwerter ponownie monitoruje magistralę w celu wykrycia kolejnej ramki przeznaczonej do niego.

5.2. Komunikacja z kontrolerem systemu pomiarowego

Kontroler systemu pomiarowego, którym jest komputer klasy IBM PC, steruje procesem wymiany danych na magistrali RS-485 za pośrednictwem konwertera dołączonego do portu szeregowego RS-232C komputera. Łączem tym kontroler przesyła dane, na podstawie których konwerter zestawia i wysyła na magistralę ramkę zapytania oraz odbiera dane stanowiące odpowiedź. Format danych przesyłanych poprzez łącze RS-232C nie jest objęty żadną normą, przyjęto więc format zbliżony do ramki w systemie Modbus (rys. 3).

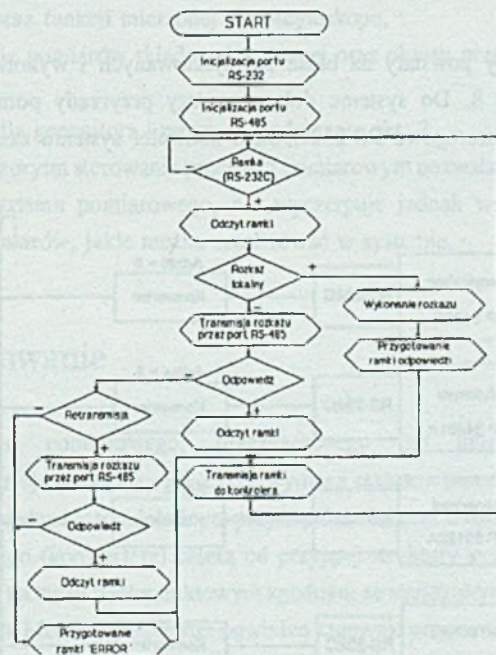
Dane przesyłane są w postaci binarnej bez sumy kontrolnej. Aby umożliwić poprawną interpretację przesyłanych danych, pierwszym przesyłanym znakiem jest znak określający całkowitą ilość transmitowanych danych (tabela 3).

Tabela 3

Format danych przy komunikacji kontrolera z konwerterem

Ilość danych	Adres	Kod rozkazu	Dane
1 bajt	1 bajt	1 bajt	N bajtów

Translację danych odebranych z kontrolera na ramkę w trybie ASCII, tj. obliczenie sumy kontrolnej oraz dołączenie znaczników początku i końca ramki realizowane jest przez konwerter. Odebrana ramka odpowiedzi jest konwertowana do opisanej postaci i przesyłana do kontrolera systemu. Schemat blokowy programu obsługi konwertera współpracującego z kontrolerem przedstawiono na rys. 7.



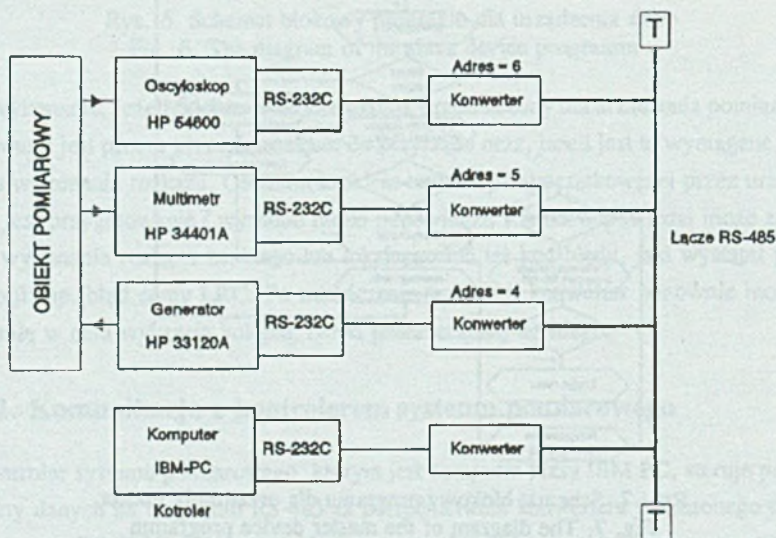
Rys. 7. Schemat blokowy programu dla urządzenia master
Fig. 7. The diagram of the master device programm

Program realizowany przez konwerter rozpoczyna się od inicjalizacji portów szeregowych RS-232C oraz RS-485. Po inicjalizacji portów konwerter oczekuje na ramkę zapytania przesłaną przez kontroler, którą następnie retransmituje na magistralę RS-485. Po wystaniu

ramki do urządzenia pomiarowego konwerter oczekuje na ramkę odpowiedzi. Jeżeli po określonym czasie odpowiedź nie nadejdzie, konwerter może ponownie retransmitować ramkę zapytania. Jeśli i w tym przypadku odpowiedź nie nadejdzie, konwerter przygotowuje i wysyła do kontrolera ramkę z kodem błędu. Jeżeli urządzenie pomiarowe prześle ramkę odpowiedzi, wówczas następuje przesłanie ramki do kontrolera. Konwerter zapewnia więc wysłanie ramki bez względu na rezultat przeprowadzonej transakcji. Program obsługi konwertera zapewnia również obsługę rozkazów lokalnych, podobnie jak dla konwertera współpracującego z urządzeniem pomiarowym, których wykonanie dotyczy jedynie samego konwertera. Rozkaz lokalny nie wymaga wysłania ramki na magistralę, jednak konieczne jest wysłanie ramki odpowiedzi do kontrolera.

6. System pomiarowy

System pomiarowy powstały na bazie zaprojektowanych i wykonanych konwerterów przedstawiono na rys. 8. Do systemu dołączono trzy przyrządy pomiarowe firmy H-P, wyposażone w łącze szeregowe RS-232C. Jako kontroler systemu zastosowano komputer klasy IBM-PC.



Rys. 8. System pomiarowy zrealizowany na magistrali RS-485

Fig. 8. The measurement system realized on the RS-485 bus

Przedstawiony system pomiarowy zawiera multimetr HP 34401A, generator HP 33120A, oscyloskop HP 54600 oraz komputer 486DX33. Dla poszczególnych elementów systemu przewidziano następujące funkcje:

- generator HP 33120A, generowanie przebiegu prostokątnego o amplitudzie i częstotliwości określonej przez kontroler systemu,
- multimetr HP 34401A, pomiar składowej zmiennej przebiegu prostokątnego,
- oscyloskop HP 54600, pomiar okresu przebiegu prostokątnego,
- komputer 486DX33, sterowanie pomiarem.

Algorytm sterowania pomiarem realizowany w kontrolerze systemu składa się z następujących kroków:

- 1) inicjalizacja:
 - ustawienie parametrów generowanego przebiegu prostokątnego,
 - określenie zakresu pomiaru napięcia dla multimetru,
 - wybranie kanału oraz funkcji mierzonej dla oscyloskopu,
- 2) cykliczna realizacja pomiarów składowej zmiennej oraz okresu przebiegu generowanego przez generator,
- 3) zmiana ustawień dla generatora i ponowne wykonanie pkt. 2.

Przedstawiony algorytm sterowania procesem pomiarowym pozwala na prostą prezentację zaprojektowanego systemu pomiarowego, nie wyczerpuje jednak wszystkich możliwości przeprowadzania pomiarów, jakie można zrealizować w systemie.

7. Podsumowanie

Budowa systemu pomiarowego, przeznaczonego dla urządzeń pomiarowych wyposażonych w interfejs szeregowy RS-232C, wymaga zastosowania dodatkowych układów pośredniczących pomiędzy łączem lokalnym przyrządów a łączem wielopunktowym. Funkcje układu pośredniczącego (konwertera) zależą od przyjętej struktury systemu. W przypadku, gdy system bazuje na na łączu wielopunktowym zgodnym ze standardem RS-485 oraz pracuje pod kontrolą protokołu Modbus, konwerter powinien zapewnić programową translację danych występujących od strony urządzeń pomiarowych oraz w systemie. Konieczne jest również przetworzenie poziomów sygnałów z łącz RS-232C oraz RS-485. Wymienione funkcje mogą być zrealizowane w systemie mikroprocesorowym. Do budowy konwertera wykorzystano system mikroprocesorowy bazujący na mikrokontrolerze serii MCS-51. Po oprogramowaniu systemu umożliwiającego obsługę interfejsów RS-232C oraz RS-485 zestawiono system pomiarowy składający się z trzech urządzeń pomiarowych oraz kontrolera systemu.

Przedstawiony system pomiarowy został przetestowany pod względem poprawności komunikacji urządzeń pracujących w systemie jak również przeprowadzenia zdalnego sterowania przyrządów pomiarowych. Pomimo konieczności stosowania mikroprocesorowych konwerterów budowa przedstawionego systemu pomiarowego jest korzystniejsza od systemu bazującego na interfejsie IEEE-488 w przypadku zastosowania w rozproszonym systemie pomiarowym.

LITERATURA

- [1] Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993.
- [2] Mielczarek W.: Język SCPI. BW, Gliwice 1994.
- [3] Nowakowski W.: Systemy interfejsu w miernictwie. WKiŁ, Warszawa 1987.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Wpłynęło do Redakcji 19 grudnia 1995 r.

Abstract

Many measurement instruments have a built in serial interface in accordance with RS-232C standard and interpreter of the SCPI language. This features provides a possibility of remote control of thats instruments but only in a point to point systems. A design of the measurement system expects a multipoint transmission medium and each of the instrument working in that system must be connected to the transmission medium through an extra device (converter). The converter enables to communicate between the local RS-232C interface of the measurement instrument and multipoint RS-485 medium. The bus measurement system, shown in the fig. 1, works under control of the MODBUS protocol that uses a master-slave bus access method. A master device is a personal computer and it controls a bus access, slave devices (measurement instruments) can only response on the remote questions of the master device. Designed bus measurement system is shown in the fig. 8. The system consists of three measurement instruments (a multimeter, a function generator and a scope) and personal computer 486DX33 which is working as a master device.