ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994

Seria: INFORMATYKA z.25 Nr kol.1236

Wojciech MIELCZAREK

CYFROWY SYSTEM POMIAROWY OPARTY NA PROTOKOLE KOMUNIKACYJNYM MODBUS

Streszczenie. W publikacji przedstawiono laboratoryjny system pomiarowy o konfiguracji magistralowej, wykorzystujący regułę master-slave dostępu do łącza. Wymiana informacji w systemie odbywa się zgodnie z protokołem MODBUS. Transmisja danych oparta jest na szeregowej, asynchronicznej transmisji znakowej zgodnej ze standardem RS-232C pod względem logicznym i z RS-485 pod względem elektycznym.

THE DIGITAL MESUREMENT SYSTEM WITH MODBUS COMMUNICATION PROTOCOL

Summary. A bus-type measurement system is presented using a master-slave bus access method. Data transfer in the system uses the MODBUS protocol. Data transmision is serial, asynchronous, character transmision in accordance with the RS-232C standard, but electrical parameters are in accordance with RS-485.

DAS DIGITALE MEßBUSSYSTEM MIT MODBUS PROTOKOLL

Zusammenfassung. In dem Artikel ist das Bussystem mit MODBUS Protokoll dargestellt. Das Bussystem arbeitet nach dem "Master-Slave" Zugriffprinzip . Ein Meßgeräte (MG) wird als "Master" definiert (meistens Personal Computer) und organisiert den Datenverkehr über die Busleitung. Die übrigen MG werden dann als "Slave" bezeichnet. Datenverkehr verwendet RS-232C und RS-485 Standard.

1. Wprowadzenie

Organizacja cyfrowego systemu pomiarowo-kontrolnego jest w istocie zdeterminowana przez zastosowany w nim interfejs. To właśnie on decyduje o konfiguracji systemu, sposobie i szybkości transmisji danych, ustala zasady wymiany informacji pomiędzy urządzeniami oraz określa środki fizyczne, za pośrednictwem których realizowana jest wymiana danych.

Układ dróg przepływu informacji w systemie określony jest przez jego konfigurację. W rozproszonych systemach pomiarowych spotyka się trzy podstawowe konfiguracje: magistralową, pierścieniową i gwiazdową. Najbardziej rozpowszechniony jest układ magistralowy, w którym wszystkie współpracujące w systemie urządzenia dołączone są równolegle do magistrali i żadne z nich nie zajmuje wyróżnionej pozycji. Sama magistrala jest zespołem linii, po których są przekazywane wszystkie informacje przesyłane pomiędzy dowolnymi współpracującymi w systemie urządzeniami. Oznacza to konieczność "udzielania zezwolenia" poszczególnym urządzeniom na nadawanie informacji, jak i powiadamianie o konieczności przyjęcia nadawanej informacji. Operacje te nazywa się odpowiednio *adresowaniem do nadawania i adresowaniem do odbioru*. Oczywiście w danej chwili może być aktywny tylko jeden nadawca i dowolna liczba odbiorców. Systemy o konfiguracji magistralowej są łatwe do modyfikacji i rozbudowy.

W rozproszonych systemach pomiarowych, lokalnych sieciach komputerowych, sieciach rozległych, ogólnie mówiąc, przy przesyłaniu danych na duże odległości, stosuje się transmisję szeregową. Przy transmisji szeregowej bity każdego słowa, jak i poszczególne słowa przekazywane są kolejno, czyli szeregowo. Transmisja szeregowa ma jedną ważną zaletę - możliwość stosowania tanich kabli o dwóch, trzech przewodach, co pozwala na budowę systemów rozłożonych na dużej przestrzeni (tzw. systemy rozproszone).

Niniejsza publikacja przedstawia cyfrowy system pomiarowy ICSM-BUS o konfiguracji magistralowej, wykorzystujący zasadę master-slave dostępu do łącza. System ten został opracowany na potrzeby Laboratorium Cyfrowych Systemów Pomiarowych w Instytucie Informatyki Politechniki Śląskiej, gdzie połączył mikroprocesorowe urządzenia pomiarowe powstające w ramach prac dyplomowych z komputerem klasy IBM-PC jako kontrolerem systemu. W systemie zaimplementowano protokół komunikacyjny MODBUS.

W systemie ICSM-BUS stosuje się szeregową, asynchroniczną transmisję znakową z prędkością od 1.2 do 19.2 kbitów/s. Format jednostek informacyjnych zgodny jest ze standardem RS-232C, a poziom elektryczny sygnałów z normą RS-485.

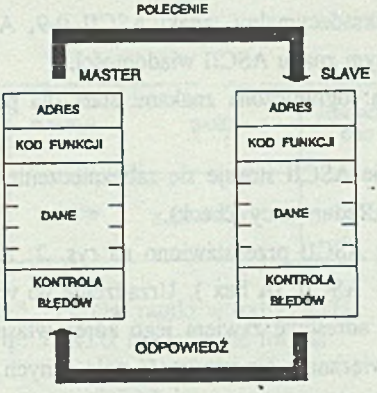
2. Interfejs MODBUS

Interfejs MODBUS został opracowany w firmie Modicon i stał się wkrótce standardem przyjętym przez większość znanych producentów sterowników przemysłowych dla asynchronicznej, znakowej wymiany informacji pomiędzy urządzeniami systemów pomiarowo-kontrolnych. O jego popularności i rozpowszechnieniu zadecydowały takie cechy, jak:

- prosta reguła dostępu do łącza oparta na zasadzie "master-slave",
- zabezpieczenie przesyłanych komunikatów przed błędami,
- potwierdzanie wykonania rozkazów zdalnych i sygnalizacja błędów,
- skuteczne mechanizmy zabezpieczające przed zawieszeniem systemu,
- wykorzystanie asynchronicznej transmisji znakowej zgodnej z RS232C.

2.1. Transakcje w systemie MODBUS

Kontrolery urządzeń pracujących w systemie MODBUS komunikują się ze sobą przy wykorzystaniu protokołu typu Master-Slave, w którym tylko jedno urządzenie może inicjować transakcje (jednostka nadrzędna - master), a pozostałe (jednostki podrzędne - slave) odpowiadają jedynie na zdalne zapytania mastera. Transakcja składa się z polecenia (query) wysyłanego z jednostki master do slave oraz z odpowiedzi (response) przesyłanej z jednostki slave do master. Odpowiedź zawiera dane żądane przez master lub potwierdzenie realizacji jego polecenia. Na rys. 1 przedstawiono transakcję jako cykl polecenie - odpowiedź pomiędzy urządzeniem master i urządzeniem slave.



Rys. 1. Transakcja w systemie MODBUS
Fig. 1. The transaction in the MODBUS system

Master może adresować indywidualnych odbiorców (jednostki slave) lub też przesyłać wiadomości 'rozgłoszeniowe' (broadcast), przeznaczone dla wszystkich urządzeń podrzędnych w systemie. Na polecenia rozgłoszeniowe jednostki slave nie przesyłają odpowiedzi. Protokół MODBUS określa format wiadomości przesyłanych z jednostki master do slave. Zawiera on adres odbiorcy, kod funkcji reprezentujący żądane polecenie, dane oraz słowo kontrolne zabezpieczające przesyłaną wiadomość. Odpowiedź urządzenia slave wysyłana jest również zgodnie z formatem zdefiniowanym w protokole MODBUS. Zawiera ona pole potwierdzenia realizacji rozkazu, dane żądane przez master oraz słowo kontolne zabezpieczające odpowiedź przed błędami. Jeżeli urządzenie slave wykryje błąd przy odbiorze wiadomości lub nie jest w stanie wykonać polecenia, przygotowuje specjalny komunikat o wystąpieniu błędu i przesyła go jako odpowiedź do mastera.

2.2. Ramka w systemie MODBUS

W systemie 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), definiuje się dwie ramki.

Ramka w trybie ASCII

W trybie ASCII każdy bajt przesyłany jest w postaci dwóch znaków ASCII. Dopuszcza się długie odstępy między znakami (do 1 s) bez sygnalizowania błędu, co stanowi główną zaletę tego trybu transmisji. Format znaku przesyłanego w trybie transmisji ASCII jest następujący:

System kodowania: heksadecymalny, znaki ASCII 0-9, A-F. Jeden znak heksadecymalny zawarty jest w każdym znaku ASCII wiadomości.

Jednostka informacyjna: ograniczona znakami start (na początku) i stop (na końcu), 10-bitowa.

Przy transmisji w trybie ASCII stosuje się zabezpieczenie części informacyjnej ramki kodem LRC (Longitudinal Redundancy Check).

Format ramki w trybie ASCII przedstawiono na rys. 2. Znacznikiem początku ramki jest znak dwukropka (':' - ASCII 3A hex). Urządzenie po wykryciu znacznika początku ramki sprawdza, czy pole adresowe zawiera jego adres własny. Jeżeli tak, to odczytuje zawartość pola funkcji i związaną z nią zawartość pola danych. Część informacyjną ramki (bez znaku ':') zabezpiecza pole kontrolne LRC. Ramka kończy się przesłaniem dwóch znaków: CR i LF.

ZNACZNIK POCZĄTKU	ADRES	FUNKCJA	DANE	KONTROLA LRC	ZNACZNIK KOŃCA
1 ZNAK ':'	2 ZNAKI	2 ZNAKI	n ZNAKÓW	2 ZNAKI	2 ZNAKI CR LF

Rys. 2. Format ramki w trybie ASCII
Fig. 2. ASCII mode frame format

Odstęp pomiędzy znakami tworzącymi ramkę nie może przekraczać 1 s. Jeżeli odstęp ten będzie większy od podanej wartości, urządzenie odbierające dane sygnalizuje błąd.

Ramka w trybie RTU

W trybie RTU wiadomości rozpoczynają się odstępem czasowym trwającym minimum 3,5 x (czas trwania pojedynczego znaku), w którym panuje cisza na łączu. Najprostszą implementacją wymienionego interwału czasowego jest wielokrotne odmierzanie czasu trwania znaku przy zadanej szybkości bodowej przyjętej w łączu. Na rys. 3 przedstawiającym format ramki w trybie RTU, odstęp początkowy zaznaczono symbolicznie jako T1-T2-T3-T4, czyli równy czterem długościom znaku (jednostki informacyjnej). Pierwszym polem informacyjnym ramki jest adres urządzenia.

Dopuszczalnymi znakami transmitowanymi w ramach pól ramki są 0-9, A-F. Połączone w system urządzenia stale (łącznie z przedziałami ciszy) monitorują magistralę. Po odebraniu zawartości pola adresu urządzenia sprawdzają, czy przesłany adres jest ich adresem własnym. Jeżeli tak, to kontynuują interpretację pozostałych pól wchodzących w skład ramki.

ZNACZNIK POCZĄTKU	ADRES	FUNKCJA	DANE	KONTROLA CRC	ZNACZNIK KOŃCA
T1-T2-T3-T4	8 BITÓW	8 BITÓW	n x 8 BITÓW	16 BITÓW	T1-T2-T3-T4

Rys. 3. Format ramki w trybie RTU
Fig. 3. RTU mode frame format

Ramkę kończy przerwa czasowa trwająca co najmniej 3,5 długości znaku. Po tym odstępie można wysłać następną ramkę, traktując go jako jej przerwę początkową. Cała

ramka musi zostać przesłana w postaci ciągłej, tzn. odstęp pomiędzy kolejnymi znakami tworzącymi ramkę nie może być większy od 1,5 długości znaku. Jeżeli odstęp ten przekroczy podaną wartość, to urządzenie odbierające uzna ramkę za niekompletną i następny znak przyjmie za bajt pola adresowego kolejnej wiadomości. Podobnie, jeżeli nowa wiadomość pojawi się na magistrali przed upływem koniecznej przerwy (3,5 x długość znaku), to urządzenie odbierające potraktuje ją jako kontynuację poprzedniej wiadomości. To doprowadzi do błędu sumy kontrolnej, ponieważ urządzenie odbierające będzie obliczać CRC dwóch wiadomości i porównywać go z CRC drugiej.

2.3. Charakterystyka pól ramki

Pole adresowe

Pole adresowe w ramce zawiera dwa znaki (w trybie ASCII) lub osiem bitów (w trybie RTU). Zakres adresów jednostek slave wynosi 0 - 247. Master adresuje jednostkę slave umieszczając jej adres na polu adresowym ramki. Kiedy jednostka slave wysyła odpowiedź, umieszcza swój własny adres na polu adresowym ramki, co pozwala masterowi sprawdzić, z którą jednostką realizowana jest transakcja.

Adres 0 jest wykorzystywany jako adres rozgłoszeniowy, rozpoznawany przez wszystkie jednostki slave podłączone do magistrali.

Pole funkcji

Pole funkcji w ramce zawiera dwa znaki w trybie ASCII lub osiem bitów w trybie RTU. Zakres kodów operacji 1 - 255.

Przy transmisji polecenia z jednostki master do slave, pole funkcji zawiera kod rozkazu, określający działanie, które ma podjąć jednostka slave na żądanie mastera. Przykładowymi rozkazami mogą być: rozkaz odczytu zespołu rejestrów, odczyt statusu, zapis rejestrów w jednostce slave, ładowanie, odczytywanie lub weryfikacja programu jednostki slave.

Kiedy jednostka slave odpowiada masterowi, pole funkcji wykorzystuje do potwierdzenia wykonania polecenia lub sygnalizacji błędu, jeżeli z jakiś przyczyn nie może wykonać rozkazu. Potwierdzenie pozytywne realizowane jest poprzez umieszczenie na polu funkcji kodu wykonanego rozkazu. W przypadku stwierdzenia błędu, jednostka slave umieszcza na polu funkcji tzw. "szczególną odpowiedź" (exception response), którą stanowi kod funkcji z ustawionym na 1 najstarszym bitem. Na przykład, plecenie (z mastera do jednostki slave) odczytu zespołu rejestrów posiada kod funkcji:

0000 0011 (03 hex).

Jeżeli jednostka slave wykona rozkaz, w swojej odpowiedzi zwraca tą samą wartość na polu funkcji. Jeżeli wykryje błąd, zwróci:

1000 0011 (83 hex).

Oprócz "szczególnej odpowiedzi" sygnalizującej błąd, jednostka slave umieszcza kod błędu na polu danych ramki odpowiedzi. Pozwala to masterowi określić rodzaj błędu lub jego powód.

Program wykonywany przez jednostkę master jest odpowiedzialny za obsługę błędów. Typową reakcją na wystąpienie błędu jest powtórzenie ramki polecenia, odczyt informacji statusowych umożliwiających diagnostykę błędów, powiadomienie operatora.

Pole danych

Pole danych tworzy zestaw dwucyfrowych liczb heksadecymalnych, o zakresie 00 - FF. Liczby te przy transmisji w trybie ASCII reprezentowane są dwoma znakami, a przy transmisji w trybie RTU jednym.

Pole danych ramki polecenia zawiera dodatkowe informacje potrzebne jednostce slave do wykonania rozkazu określonego kodem funkcji. Mogą to być adresy rejestrów, liczba bajtów w polu danych, dane itp. Na przykład, jeżeli master żąda odczytu grupy rejestrów (kod funkcji 03), pole danych zawiera nazwę (adres) rejestru początkowego oraz ilość rejestrów do odczytu. Przy operacji zapisu grupy rejestrów (kod funkcji 10 hex), na polu danych znajdują się następujące informacje: adres rejestru początkowego, ilość rejestrów, ilość pozostałych bajtów w polu danych, dane przeznaczone do zapisu. Jeżeli nie wystąpi błąd, pole danych odpowiedzi zawiera żądane informacje. Wykrycie błędu powoduje zapisanie przez jednostkę slave kodu błędu na polu danych ramki odpowiedzi, co umożliwia adekwantną reakcję mastera.

W niektórych ramkach polecenia, pole danych może posiadać zerową długość. Tak jest zawsze w sytuacji, gdy operacja określona kodem funkcji nie wymaga żadnych parametrów.

Pole kontrolne

W standardzie MODBUS słowo kontrole zabezpieczające część informacyjną zależy od zastosowanego trybu transmisji.

W trybie ASCII pole kontrolne składa się z dwóch znaków ASCII, które są rezultatem obliczenia Longitudinal Redundancy Check (LRC) na zawartości części informacyjnej ramki (bez znaczników początku i końca). Znaki LRC są dołączane do wiadomości jako ostatnie pole ramki, bezpośrednio przed znacznikiem końca (CR, LF).

W trybie RTU słowo kontrolne jest 16-bitowe i powstaje jako rezultat obliczenia Cyclical Redundancy Check (CRC) na zawartości ramki. Pole kontrolne zajmuje dwa

bajty dołączane na końcu ramki. Jako pierwszy przesyłany jest mniej znaczący bajt, jako ostatni starszy bajt, który jest jednocześnie znakiem kończącym ramkę.

2.4. Wyznaczanie LRC i CRC

Wyznaczanie LRC

Ośmiobitowa wartość LRC obliczana jest przez urządzenie nadające, które dołącza ją do wiadomości i przesyła na końcu ramki w postaci dwóch znaków ASCII. Urządzenie odbierające oblicza LRC podczas odbioru ramki i porównuje wyznaczoną przez siebie wartość ze słowem kontrolnym w ramce odebranej. Jeżeli obie wartości są różne, to znaczy że wystąpił błąd.

Obliczanie LRC polega na sumowaniu kolejnych 8-bitowych bajtów wiadomości, odrzuceniu przeniesień i na koniec wyznaczeniu uzupełnienia dwójkowego wyniku. Sumowanie obejmuje całą wiadomość z wyjątkiem znaczników początku i końca ramki.

Wyznaczanie CRC

Słowo kontrolne CRC stanowi 16-bitową wartość wyznaczaną przez urządzenie nadające, które dołącza ją na końcu ramki w postaci dwóch 8-bitowych znaków. Urządzenie odbierające dokonuje analogicznego obliczenia podczas odbioru ramki i porównuje wyznaczoną przez siebie wartość z odebranym słowem kontrolnym CRC. Jeżeli obie wartości są różne, to znaczy, że wystąpił błąd.

Obliczanie CRC realizowane jest według następującego algorytmu:

1. Załadowanie FFFF hex do 16-bitowego rejestru CRC.
2. Pobranie bajtu z bloku danych (zabezpieczana wiadomość) i wykonanie operacji EXOR z młodszym bajtem rejestru CRC (CRCLO). Umieszczenie rezultatu w rejestrze CRC.
3. Przesunięcie zawartości rejestru CRC w prawo o jeden bit połączone z wpisaniem 0 na najbardziej znaczący bit (MSB=0).
4. Sprawdzenie stanu najmłodszego bitu (LSB) w rejestrze CRC. Jeżeli jego stan równa się 0, to następuje powrót do kroku 3 (kolejne przesunięcie), jeżeli 1, to wykonywana jest operacja EXOR rejestru CRC ze stałą A001 hex.
5. Powtórzenie kroków 3 i 4 osiem razy, co odpowiada przetworzeniu całego bajtu (ośmiu bitów).
6. Powtórzenie sekwencji 2, 3, 4, 5 dla kolejnego bajtu wiadomości. Kontynuacja tego procesu aż do przetworzenia wszystkich bajtów wiadomości.
7. Zawartość CRC po wykonaniu podanych operacji jest poszukiwaną wartością CRC.

Format znaku przy transmisji szeregowej

W standardzie MODBUS znaki są przesyłane szeregowo od najmłodszego do najstarszego bitu, zgodnie z formatem określonym w standardzie RS-232C dla asynchronicznej transmisji znakowej.

Organizacja jednostki informacyjnej w trybie ASCII:

1 bit startu,

7 bitów pola danych, jako pierwszy wysyłany jest najmniej znaczący bit,

1 bit kontroli parzystości (nieparzystości) lub brak bitu kontroli parzystości,

1 bit stopu przy kontroli parzystości lub 2 bity stopu przy braku kontroli parzystości.

Organizacja jednostki informacyjnej w trybie RTU:

1 bit startu,

8 bitów pola danych, jako pierwszy wysyłany jest najmniej znaczący bit,

1 bit kontroli parzystości (nieparzystości) lub brak bitu kontroli parzystości,

1 bit stopu przy kontroli parzystości lub 2 bity stopu przy braku kontroli parzystości.

Na rys. 4 przedstawiono format jednostki informacji w trybie ASCII oraz RTU.

ASCII

START	1	2	3	4	5	6	7	PAR	STOP

START	1	2	3	4	5	6	7	STOP	STOP

RTU

START	1	2	3	4	5	6	7	8	PAR	STOP

START	1	2	3	4	5	6	7	8	STOP	STOP

Rys. 4. Format jednostki informacyjnej w standardzie MODBUS
Fig. 4. The character frame format

Pole danych znaku może być (opcjonalnie) zabezpieczone bitem kontroli parzystości lub nieparzystości. Wspomniane wcześniej zabezpieczenie LRC lub CRC dotyczy całej treści ramki. Oba zabezpieczenia, tzn. zabezpieczenie znaku oraz całej ramki, generowane

są przez urządzenie nadające i dołączane do wiadomości przed transmisją. Urządzenie odbierające sprawdza bit parzystości znaku (o ile występuje) oraz słowo kontrolne.

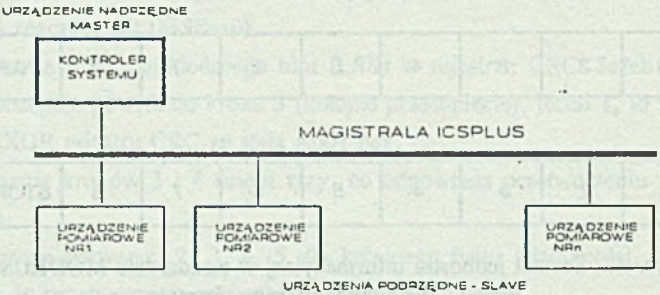
2.5. Przerwanie transakcji

W jednostce master użytkownik ustawia ważny parametr, jakim jest "maksymalny czas odpowiedzi na ramkę zapytania", po którego przekroczeniu transakcja jest przerywana. Czas ten dobiera się tak, aby każda jednostka slave pracująca w systemie (nawet ta najwolniejsza) zdążyła normalnie odpowiedzieć na ramkę zapytania. Przekroczenie tego czasu świadczy zatem o błędzie i tak też jest traktowane przez jednostkę master.

Jeżeli jednostka slave wykryje błąd transmisji, nie wykonuje polecenia oraz nie wysyła żadnej odpowiedzi. Spowoduje to przekroczenie czasu oczekiwania na ramkę odpowiedzi i przerwanie transakcji. Program realizowany w jednostce master powinien w takiej sytuacji przejść do obsługi błędu. W szczególności przerwanie transakcji powoduje zaadresowanie nie istniejącego urządzenia slave.

3. Cyfrowy system pomiarowy ICSM-BUS

W systemie pomiarowym ICSM-BUS urządzenie sterujące (zazwyczaj komputer), urządzenia rejestrujące oraz przyrządy pomiarowe są przyłączone równolegle do magistrali cyfrowej, której zadaniem jest przesyłanie rozkazów i instrukcji organizujących pracę systemu, a także informacji o stanie urządzeń składowych i wyników pomiarów (rys. 5).

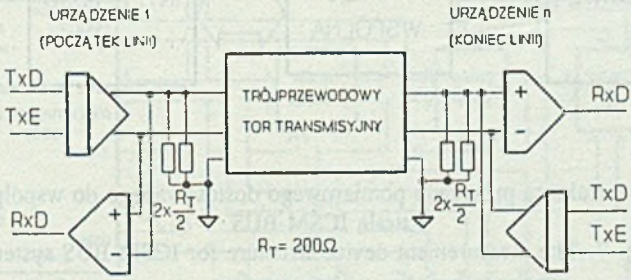


Rys. 5. Schemat blokowy systemu pomiarowego ICSM-BUS
Fig. 5. ICSM-BUS measurement system block diagram

Jakkolwiek struktura systemu pozwala na bezpośrednią współpracę między dowolną

parą urządzeń dołączonych do magistrali, to w rzeczywistości jest ona możliwa tylko przez kontroler, który jako jedyny może wyznaczyć urządzenie do nadawania, odebrać od niego informację i przesłać ją w razie potrzeby do innego urządzenia. Wymiana informacji w systemie ICSM-BUS odbywa się zgodnie z protokołem MODBUS, przy czym możliwy jest wybór trybu transmisji ASCII lub RTU.

Magistrala ICSM-BUS jest trójprzewodowym, symetrycznym łączem szeregowym, w którym realizowana jest transmisja półdupleksowa (rys. 6). Oba końce linii transmisyjnej zamknięto rezystorami dopasowującymi (2 x $R_T/2$) odniesionymi do masy. Poziomy elektryczne sygnałów w linii transmisyjnej są zgodne ze standardem RS-485. Kabel transmisyjny wykonany został jako trójskrętka (trzy przewody skręcone ze sobą).



Rys. 6. Łącze fizyczne interfejsu ICSM-BUS
Fig. 6. Driving the ICSM-BUS medium

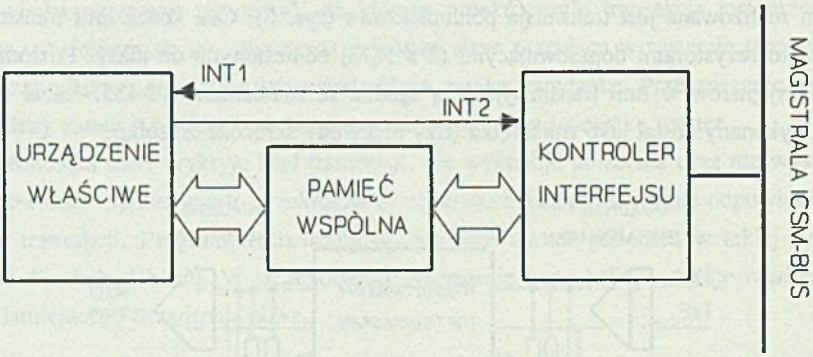
3.1. Urządzenia systemu ICSM-BUS

Wszystkie przyrządy współpracujące z magistralą ICSM-BUS muszą zawierać kontroler interfesju pośredniczący w wymianie informacji między urządzeniem a magistralą. Kontroler realizuje wszystkie funkcje związane z transmisją i odbiorem ramek zgodnie z protokołem MODBUS oraz zapewnia warunki mechaniczne i elektryczne wymagane przez interfejs łącza transmisyjnego.

Zasadniczą częścią urządzenia realizującą funkcje użytkowe przyrządu jest natomiast tzw. "urządzenie właściwe". Przyjęło się mówić, że urządzenie właściwe wykonuje "funkcje urządzenia", a kontroler interfesju "funkcje interfejsu". W urządzeniach interfejsu ICSM-BUS wymiana komunikatów pomiędzy kontrolerem interfejsu a urządzeniem właściwym odbywa się za pośrednictwem wspólnie wykorzystywanego bloku pamięci (tzw. pamięci wspólnej), do której dostęp w danej chwili ma tylko jeden z wymienionych modułów. Zarówno urządzenie właściwe, jak i kontroler interfejsu muszą być systemami

mikroprocesorowymi zdolnymi do sterowania pamięcią wspólną, jak również musi istnieć układ arbitrażu decydujący o przydziale pamięci w przypadku próby jednoczesnego do niej dostępu.

Ogólną strukturę programowanego przyrządu pomiarowego dostosowanego do współpracy z magistralą ICSM-BUS przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Ogólna struktura przyrządu pomiarowego dostosowanego do współpracy z magistralą ICSM-BUS
Fig. 7. The measurement device structure for ICSM-BUS system

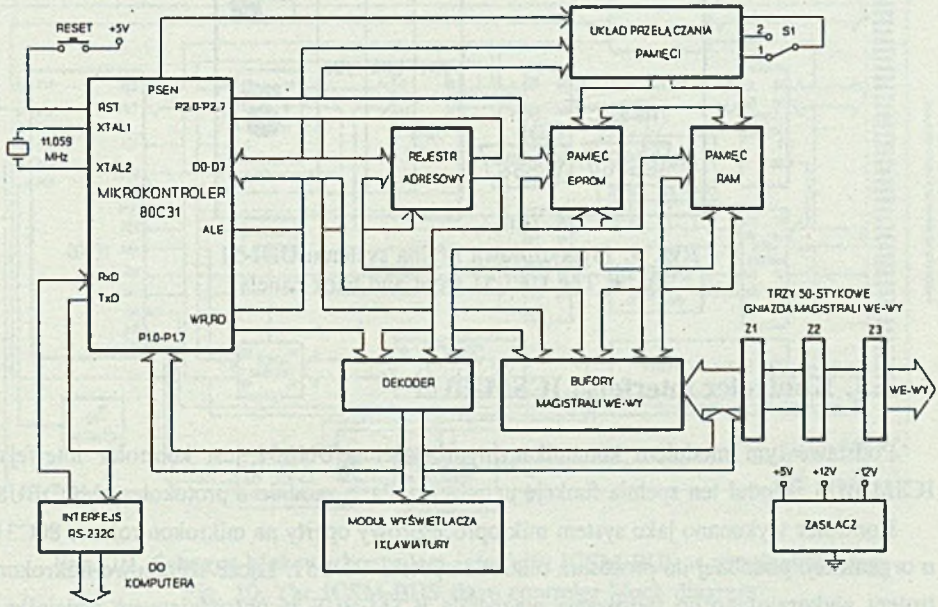
Urządzenia pomiarowe współpracujące z magistralą ICSM-BUS mają jednolitą organizację. Mogą one pracować zdalnie lub lokalnie. Podczas pracy zdalnej urządzenie podłączone jest logicznie do kontrolera systemu, z którym może wymieniać informacje za pośrednictwem interfejsu. Sterowanie wymianą danych przy pracy zdalnej realizuje program w kontrolerze systemu. Podczas pracy lokalnej urządzenie wykonuje swoje funkcje autonomicznie. Programowanie przyrządu odbywa się z klawiatury umieszczonej na jego płycie czołowej, a wyniki pomiarów wyprowadzane są na wyświetlacz cyfrowy. Urządzenie pracujące lokalnie można przełączyć na pracę zdalną wysyłając rozkaz REMOTE.

3.2. Mikroprocesorowy system UNI-51 jako baza urządzeń systemu ICSM-BUS

Urządzenia pomiarowe systemu ICSM-BUS wykonane zostały na bazie mikroprocesorowego systemu UNI-51, który opracowano w Zakładzie Urządzeń Informatyki Politechniki Śląskiej. System UNI-51 jest prostym mikrokomputerem opartym na mikrokontrolerze INTEL 80C31, współpracującym z 8-kbajtowym modułem pamięci programu (układ

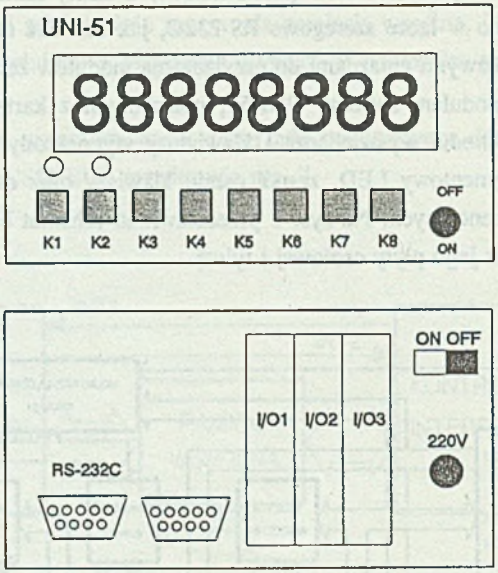
27C64) oraz modułem pamięci RAM (układ 20C64) o takiej samej pojemności. Mikrokomputer wyposażono w łącze szeregowe RS-232C, jak również magistralę wejścia wyjścia z trzema 50-stykowymi gniazdami do przyłączania modułów zewnętrznych.

Standardowym modułem systemu UNI-51, połączonym z kartą procesora przez oddzielne złącze, jest moduł wyświetlacza i klawiatury wyposażony w ośmiocyfrowy wyświetlacz siedmiosegmentowy LED, zespół ośmiu klawiszy oraz dwa indykatory na diodach elektroluminescencyjnych. Na rys. 8 przedstawiono schemat blokowy systemu UNI-51, a na rys. 9 widok jego płyty czołowej i tylnej.



Rys. 8. Schemat blokowy systemu UNI-51
Fig. 8. The UNI-51 system block diagram

Pamięć RAM systemu UNI-51 można wykorzystać jako emulator pamięci programu. W tym przypadku kod programu wprowadzany jest do pamięci RAM przez łącze szeregowe (np. z komputera IBM-PC) pod kontrolą prostego programu ładującego znajdującego się w pamięci stałej. Po tej operacji następuje przełączenie pamięci RAM, tak że staje się ona dla mikroprocesora pamięcią programu.



Rys. 9. Płyta czołowa i tylna systemu UNI-51
Fig. 9. The UNI-51 front and back panels

3.3. Kontroler interfejsu ICSM-BUS

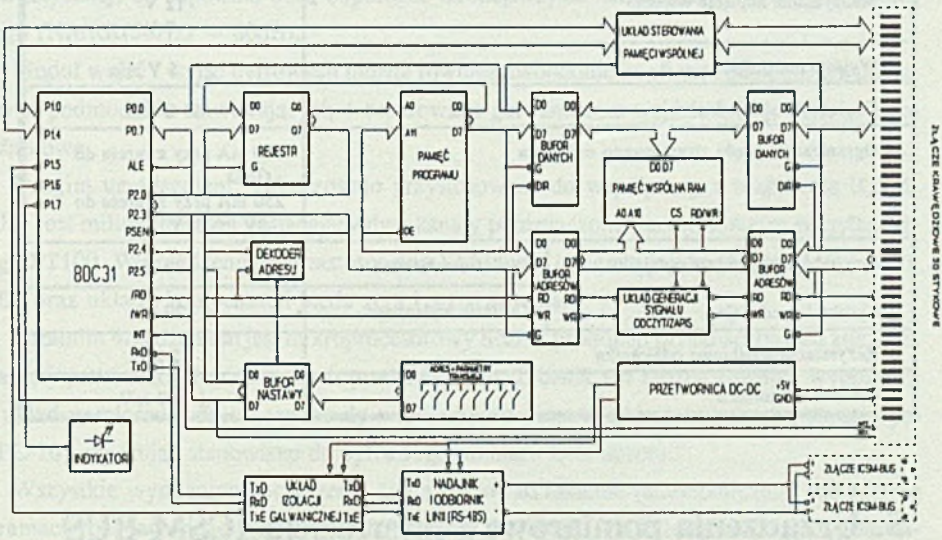
Podstawowym modułem komunikacyjnym systemu UNI-51 jest kontroler interfejsu ICSM-BUS. Moduł ten spełnia funkcję urządzenia slave zgodnie z protokolem MODBUS.

Kontroler wykonano jako system mikroprocesorowy oparty na mikrokontrolerze 80C31, o organizacji podobnej do procesora mikrokomputera UNI-51. Łącze szeregowe mikrokontrolera wykorzystano do sterowania magistralą ICSM-BUS za pośrednictwem nadajnika i odbiornika interfejsu RS-485 (odpowiednio układy SN75172 i SN75173). Izolację galwaniczną w łączu zapewniają dwa układy optoizolatorów CNY17-2 oraz przetwornica DC-DC separująca zasilanie nadajnika i odbiornika linii. Na karcie kontrolera umieszczono ośmiopozycyjny mikroprzełącznik przeznaczony do ustawienia adresu urządzenia w systemie (pięć kluczy) oraz do wyboru trybu transmisji (ASCII lub RTU), szybkości transmisji, formatu znaku i rodzaju kontroli parzystości (trzy klucze).

Wymiana informacji pomiędzy kontrolerem interfejsu i procesorem systemu UNI-51 odbywa się przez pamięć wspólną, obustronnie buforowaną, którą stanowi moduł statycznej pamięci RAM o pojemności 2 kbajty (układ 20C16). Przez pamięć tę przekazywane są zarówno dane, jak i instrukcje. Odebranie ramki i wprowadzenie jej do pamięci wspólnej

sygnalizowane jest przerwaniem INT1, wystawianym przez kontroler interfejsu. Zakończenie realizacji polecenia (zapis danych do pamięci wspólnej przeznaczonych do ramki odpowiedzi) sygnalizowane jest przerwaniem INT2 wystawianym przez procesor systemu UNI-51. W przypadku jedoczesnego żądania dostępu do pamięci przez oba współpracujące ze sobą mikroprocesory, pamięć wspólna zostanie przydzielona procesorowi kontrolera interfejsu.

Organizacja kontrolera interfejsu jako programowanego systemu mikroprocesorowego pozawala na implementację różnych protokołów komunikacyjnych realizowanych na łączu szeregowym. Na rys. 10 przedstawiono schemat blokowy kontrolera systemu ICSM-BUS.



Rys. 10. Schemat blokowy kontrolera interfejsu ICSM-BUS w urządzeniu slave
Fig. 10. The ICSM-BUS slave controler block diagram

4. Parametry interfejsu ICSM-BUS

W celu zwiększenia zasięgu transmisji i ochrony przed zakłóceniami, w systemie ICSM-BUS wprowadzono dwuprzewodowe obwody transmisyjne w standardzie RS-485. Parametry interfejsu przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Prametry interfejsu ICSM-BUS

PARAMETR		ICSM-BUS (RS-485)
Rodzaj transmisji		Różnicowa
Dozwolona liczba nadajników i odbiorników		32 Nadajniki 32 Odbiorniki
Maksymalna długość kabla		1200 m
Typowa szybkość transmisji		19.6 kbitów/s
Maksymalne napięcie wspólne		12 V -7 V
Wyjście nadajnika		± 1.5 V min
Obciążenie nadajnika		60 Ω min
Ograniczenie prądu zwarciowego nadajnika		150 mA przy zwarciu do GND 250 mA przy zwarciu do -8V lub 12V
Rezystancja wyjściowa nadajnika	Zasilanie załączone	120 kΩ
Wysoka impedancja	Zasilanie wyłączone	120 kΩ
Rezystancja wejściowa odbiornika		12 kΩ
Czułość odbiornika		± 200 mV

5. Urządzenia pomiarowe z interfejsem ICSM-BUS

W ramach badań własnych oraz prac dyplomowych powstały trzy urządzenia przystosowane do współpracy z magistralą ICSM-BUS. Wszystkie zbudowano opierając się na systemie mikroprocesorowym UNI-51 wyposażonym w kontroler interfejsu ICSM-BUS.

Pierwsze urządzenie jest mikrosterownikiem przemysłowym, zawierającym moduł wejść analogowych oraz moduł wejść i wyjść cyfrowych. Moduł wejść analogowych można swobodnie konfigurować do różnych zastosowań poprzez dołączanie wymiennych podmodułów. Przygotowano 4 typy podmodułów analogowych:

- 4-wejściowy podmoduł wejść napięciowych o zakresie 0 .. 10 V,
- 4-wejściowy podmoduł wejść napięciowych o zakresie 0 .. 1 V,
- 4-wejściowy podmoduł wejść napięciowych bipolarnych o zakresie -10 .. 10 V,
- 4-wejściowy podmoduł wejść prądowych o zakresie 4 .. 20 mA.

Do karty bazowej modułu wejść analogowych można jednocześnie podłączyć dowolne dwa spośród wymienionych podmodułów.

Zastosowany w module wejść analogowych przetwornik analogowo-cyfrowy ADC0809 jest 8-bitowym, kompensacyjnym konwerterem A/C, zawierającym 8-kanałowy multiplekser niesymetrycznych sygnałów analogowych. W celu dobrego tłumienia szeregowych sygnałów zakłócających każdy kanał wejściowy wyposażono w filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 10 Hz. Ponadto pomiar sygnałów analogowych oparto na zasadzie uśredniania arytmetycznego dwóch próbek sygnału pobranych w odstępie połowy okresu sygnału sieci energetycznej, co zapewnia dużą odporność na nieparzyste harmoniczne zakłócenia sieciowego (NMRR(50Hz) = 80dB).

Moduł wejść i wyjść cyfrowych można również swobodnie konfigurować poprzez podłączenie podmodułów zawierających 4 separowane galwanicznie wejścia lub 4 wyjścia przekaźnikowe.

Drugim urządzeniem, które zostało przystosowane do współpracy z magistralą ICSM-BUS, jest miliwoltomierz posiadający dwa kanały przeznaczone dla termometru rezystancyjnego PT100. W urządzeniu tym zastosowano 12-bitowy, integracyjny konwerter A/C Intersil 7109 oraz układy kompensacji błędu zera i wzmocnienia.

Ostatnim urządzeniem jest mikroprocesorowy licznik produkcji przeznaczony do zliczania zdarzeń zachodzących w procesach produkcyjnych. Licznik ten można również wyposażyć w układ pomiarowy przeznaczony do współpracy z prztwornikiem impulsowo-obrotowym MPL-10, uzyskując stanowisko do cyfrowego pomiaru kąta obrotu.

Wszystkie wymienione urządzenia mogą pracować lokalnie (autonomicznie) lub zdalnie w ramach rozproszonego systemu pomiarowego ICSM-BUS. Dla każdego z nich przygotowano zestaw kilku rozkazów zdalnych, odpowiednich do funkcji i przeznaczenia przyrządu.

6. Podsumowanie

Przedstawiony system ICSM-BUS jest prostym systemem pomiarowo-kontrolnym opartym na łączu szeregowym, do którego dostęp odbywa się na zasadzie master-slave, zgodnie z protokołem komunikacyjnym MODBUS. Magistralę systemu stanowią trzy przewody skręcane tworzące symetryczną, zrównoważoną linię transmisyjną. Poziomy elektryczne sygnałów na magistrali odpowiadają standardowi RS-485, a szybkość transmisji wynosi 19.6 kbitów/s. Przeznaczenie systemu obejmuje zarówno zastosowania laboratoryjne, jak i przemysłowe.

Pracę systemu sprawdzono w konfiguracji obejmującej komputer klasy IBM-PC/AT jako kontroler (urządzenie master) oraz trzy urządzenia pomiarowo-kontrolne (slave): mi-

krosterownik przemysłowy, miliwoltomierz oraz licznik produkcji. Wszystko połączono segmentami kabla o długości około 10 m, tworzącymi magistralę systemu. Wymieniony zestaw urządzeń jest stanowiskiem w ramach Laboratorium Cyfrowych Systemów Pomiarowych, przeznaczonym do badania protokołu komunikacyjnego MODBUS.

Literatura

1. Martin J.: Telecommunications and the Computer. N.J.: Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs, 1976.
2. McNamara J.: Technical Aspects of Data Communications. Digital Press. Bedford, Mass. 1978.
3. Modicon: Modicon Modbus Protocol Reference Guide. PI-MBUS-300 Rev.D. Modicon, Inc. 1992.
4. Nowakowski W.: Systemy interfejsu w miernictwie. WKŁ,Warszawa 1987.
5. Pippenger D., Tobaben E.: Linear and Interface Circuit Applications. Volume 2 Display Drivers and Data Transmission Line Circuits. Texas Instruments 1986.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Adam Mrózek

Wpłynęło do Redakcji 28 września 1993 r.

Abstract

The ICSM-BUS is the simple measurement system basing on the serial medium, with master-slave bus access method. It works under control of the MODBUS communication protocol. The bus consists of the three twisted lines, that form the differential and balanced transmission medium driven by the RS-485 drivers. The transmission speed is 19.6 kbits/s.

The system can be used for laboratory measurements and for distributed, industrial measurements and control.

The ICS-BUS was set going in the Laboratory of Digital Measurement Systems where it linked the IBM-PC/AT computer as the system controler (master) with the three measurement devices (slaves): the small industrial controller, the digital milivoltmeter and the industrial counter.