

Jerzy FIOŁKA

MODEL LABORATORYJNY MAGISTRALI CAN

Streszczenie: Skrót CAN – (ang. Controller Area Network) jest nazwą protokołu komunikacyjnego, opracowanego w drugiej połowie lat osiemdziesiątych przez firmę Robert Bosch GmbH. Główny powód, dla którego protokół ten został opracowany, wynikał z konieczności zapewnienia wzajemnej komunikacji pomiędzy gwałtownie rosnącą liczbą elektronicznych systemów sterowania stosowanych w samochodach. Obecnie magistrala CAN znajduje coraz to szersze zastosowanie w przemyśle, aparaturze medycznej, wyrobach powszechnego użytku. W ramach prac badawczych prowadzonych w Instytucie Elektroniki Politechniki Śląskiej opracowano stanowisko laboratoryjne, umożliwiające zaznajomienie użytkowników z zasadą działania oraz sposobem tworzenia sieci CAN.

1. WPROWADZENIE

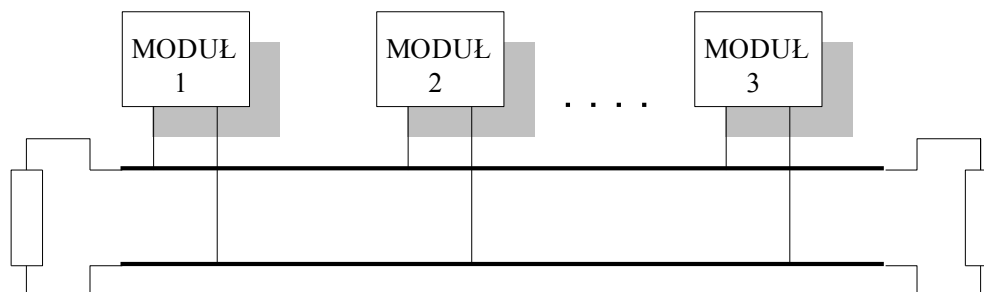
Wysokie wymagania stawiane współczesnym pojazdom pod względem ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery, obniżenia kosztów eksploatacji oraz zapewnienia komfortu i bezpieczeństwa jazdy, przyczyniły się do znaczącego wzrostu liczby elektronicznych systemów sterowania stosowanych w samochodach. Według obecnych przewidywań za kilka lat pojazdy samochodowe będą zawierać około 100 mikrokontrolerów. W związku z tym powstała konieczność opracowania nowych rozwiązań, umożliwiających komunikację pomiędzy poszczególnymi modułami. Stosowane dotychczas metody polegały na tworzeniu sieci wzajemnych połączeń pomiędzy systemami (tzw. topologia ang. point-to-point). Koncepcja ta prowadzi jednak do zwiększenia masy okablowania oraz liczby złączy, co powoduje wzrost zużycia paliwa oraz spadek niezawodności. Problem ten rozwiązano dzięki zastosowaniu szeregowych sieci transmisyjnych, w których poszczególne moduły przyłączone są do wspólnej, dwuprzewodowej magistrali. W chwili obecnej najbardziej rozpowszechnioną siecią transmisyjną stosowaną w technice motoryzacyjnej jest magistrala CAN. Niewątpliwy sukces, jaki odnieśli twórcy przyczynił się do szybkiego rozpowszechnienia tejże magistrali również i w innych obszarach zastosowań, takich jak automatyka przemysłowa, sprzęt medyczny, rozproszone systemy sterowania ogrzewaniem oraz klimatyzacją w budynkach mieszkalnych, sprzęt powszechnego użytku.

2. GŁÓWNE ZAŁOŻENIA I CEL PRACY

Wzrastająca popularność opisywanej magistrali była powodem podjęcia prac, zmierzających do stworzenia odpowiednich narzędzi oraz sprzętu, umożliwiających studentom zapoznanie się z zasadą funkcjonowania oraz sposobem tworzenia sieci CAN. W fazie projektowania modelu starano się mieć na uwadze zapewnienie dużej uniwersalności przy stosunkowo niskich nakładach finansowych. Koncepcja urządzenia dostosowana została również do realizowanego w Instytucie Elektroniki Politechniki Śląskiej programu nauczania. Finalna wersja stanowiska zostanie wykorzystana w charakterze ilustracji do zagadnień omawianych w ramach wykładu „Elektronika samochodowa”. W dalszej perspektywie model ten znajdzie zastosowanie również i w planowanym laboratorium elektroniki samochodowej, jako jedno z ćwiczeń demonstrujących zasady działania sieci komunikacyjnych spotykanych we współczesnych pojazdach.

3. TOPOLOGIA MAGISTRALI CAN

Sieć CAN zorganizowana jest w postaci dwuprzewodowej magistrali, zakończonej na obydwu końcach terminatorami, do której „równolegle” przyłącza się poszczególne moduły (rys. 1.1).



Rys.1. Topologia sieci CAN

Topologia taka umożliwia wzajemną komunikację pomiędzy istniejącymi w sieci stacjami za pośrednictwem tej samej pary przewodów. Szczegóły dotyczące formatów i typów ramek, sposobu adresowania stacji, metod detekcji i sygnalizacji błędów i stosowanych procedur arbitrażu można znaleźć m.in. w [1].

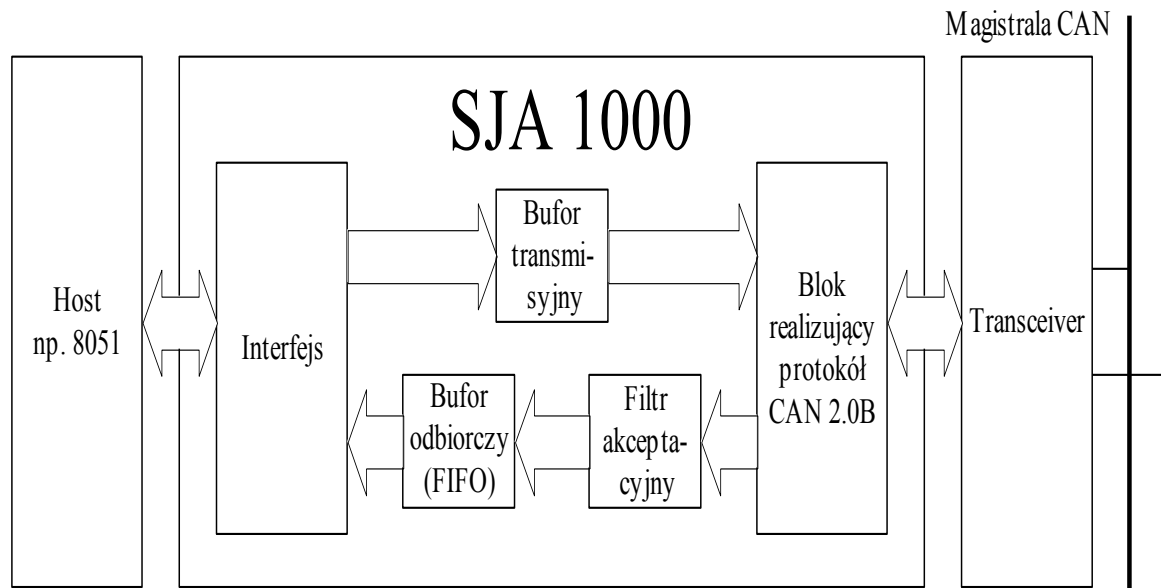
4. DOBÓR PODZESPOŁÓW

Jednym z czynników, który w sposób bezpośredni przyczynił się do wzrostu zainteresowania omawianą magistralą, jest powszechna dostępność układów realizujących protokół wymiany informacji zgodny ze specyfikacją CAN. W chwili obecnej ofertą taką dysponuje większość producentów podzespołów elektronicznych, m.in. Philips, Siemens, Intel, Microchip, Hitachi, Motorola, Atmel, Texas Instruments. W większości przypadków sterownik magistrali integrowany jest z mikrokontrolerem lub procesorem sygnałowym, dzięki czemu możliwe jest zmniejszenie liczby wyprowadzeń. Ponadto redukuje się w ten sposób koszty oraz obniża pobór mocy urządzenia. W razie konieczności rozbudowy istniejącego systemu o interfejs CAN korzysta się zwykle z „zewnętrznych” interfejsów w postaci dodatkowego układu scalonego, komunikującego się z procesorem poprzez magistralę danych. Rozwiązanie to pozwala na uzyskanie nowej funkcjonalności, bez konieczności przeprojektowania całego systemu. Z punktu widzenia projektantów elementów półprzewodnikowych interesującym sposobem dystrybucji jest również model układu w języku opisu sprzętu (VHDL, Verilog), oferowany przez szereg firm, w tym m.in. przez firmę Robert Bosch GmbH.

Model laboratoryjny magistrali CAN zrealizowano w postaci systemu mikroprocesorowego opartego na popularnym rdzeniu '51. Wybór ten podyktowany został programem kształcenia studentów, w toku którego mikrokontrolery tej rodziny omawiane są na przedmiotach obowiązkowych. W celu zapewnienia przejrzystości projektowanego systemu, model zrealizowano w postaci klasycznej struktury, tj. mikrokontroler 8051, zatrask, układy peryferyjne dołączane do ośmiobitowej magistrali danych oraz – poprzez dekodery adresów – do szesnastobitowej magistrali adresowej. W ten sposób układ peryferyjny w postaci interfejsu CAN „widziany” jest przez mikrokontroler jako fragment zewnętrznej pamięci danych. W prezentowanym modelu sieci system ten pełni rolę stacji nadrzędnej (master). Master poprzez parę przewodów komunikuje się z końcówkami podrzędnymi

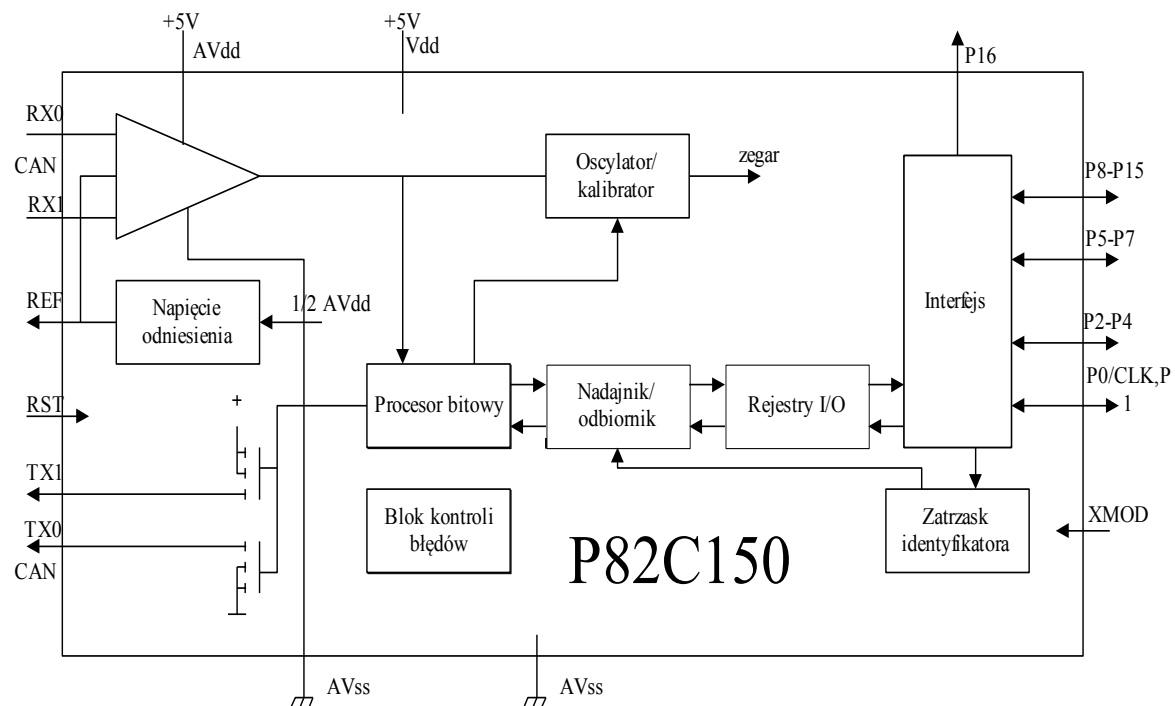
(slaves), których liczba zależy od realizowanego ćwiczenia. Uzyskujemy w ten sposób klasyczną magistralę szeregową przedstawioną na rys. 1.

W końcówce nadrzędnej jako sterownik magistrali CAN wykorzystano układ SJA1000 produkowany przez firmę Philips. Element ten powszechnie stosowany jest w aplikacjach elektroniki samochodowej oraz przemyśle. W zasadzie jest to rozbudowana o obsługę rozszerzonego protokołu CAN 2.0B oraz kilka dodatkowych funkcji wersja znanego kontrolera PCA 82C200. Schemat blokowy układu i sposób jego dołączenia do mikrokontrolera oraz fizycznej magistrali przedstawiono na rysunku 2. Szczegóły dotyczące parametrów elektrycznych, realizowanych funkcji, rozmieszczenia rejestrów oraz sposobu konfiguracji można znaleźć w [2].



Rys.2. Schemat blokowy układu SJA1000

Końcówkę podrzędną (slave) zrealizowano w oparciu o pojedynczy element PCA 82C150, będący układem zdalnych portów wejścia/wyjścia, kontrolowanych przez zawartość ramki transmitowanej poprzez magistralę CAN. Dopuszcza się przy tym transmisję danych w formacie ujętym w specyfikacji 2.0A oraz 2.0B. PCA 82C150 posiada szesnaście konfigurowalnych wyprowadzeń (oraz dodatkowo końcówki zasilania, wyboru trybu pracy, \overline{RD} , \overline{WR} itd.) mogących pełnić rolę cyfrowych portów I/O, wyjść quasi-analogowych PWM, czy też wejść wielokanałowego 10-bitowego przetwornika A/C. W związku z tym, iż element ten nie jest zintegrowany z własnym mikrosterownikiem, istnieje konieczność uprzedniej konfiguracji układu poprzez magistralę CAN. W prezentowanym modelu przewidziano możliwość przypisania indywidualnego adresu do każdej końcówki. Odbyna się to poprzez ustawienie czterech mikroprzełączników, ustalających poziom logiczny na wejściach adresowych. Mechanizm ten pozwala na przyporządkowanie 4-bitowego adresu do danej stacji, dzięki czemu na magistrali może współuczestniczyć do szesnastu elementów tego samego typu, rozróżnianych za pomocą identyfikatora zawartego w transmitowanej ramce. Schemat blokowy omawianego układu przedstawiono na rysunku 3. Szczegóły dotyczące sposobu konfiguracji, adresów poszczególnych rejestrów, wartości parametrów czasowych oraz elektrycznych można znaleźć w nocy aplikacyjnej [3].



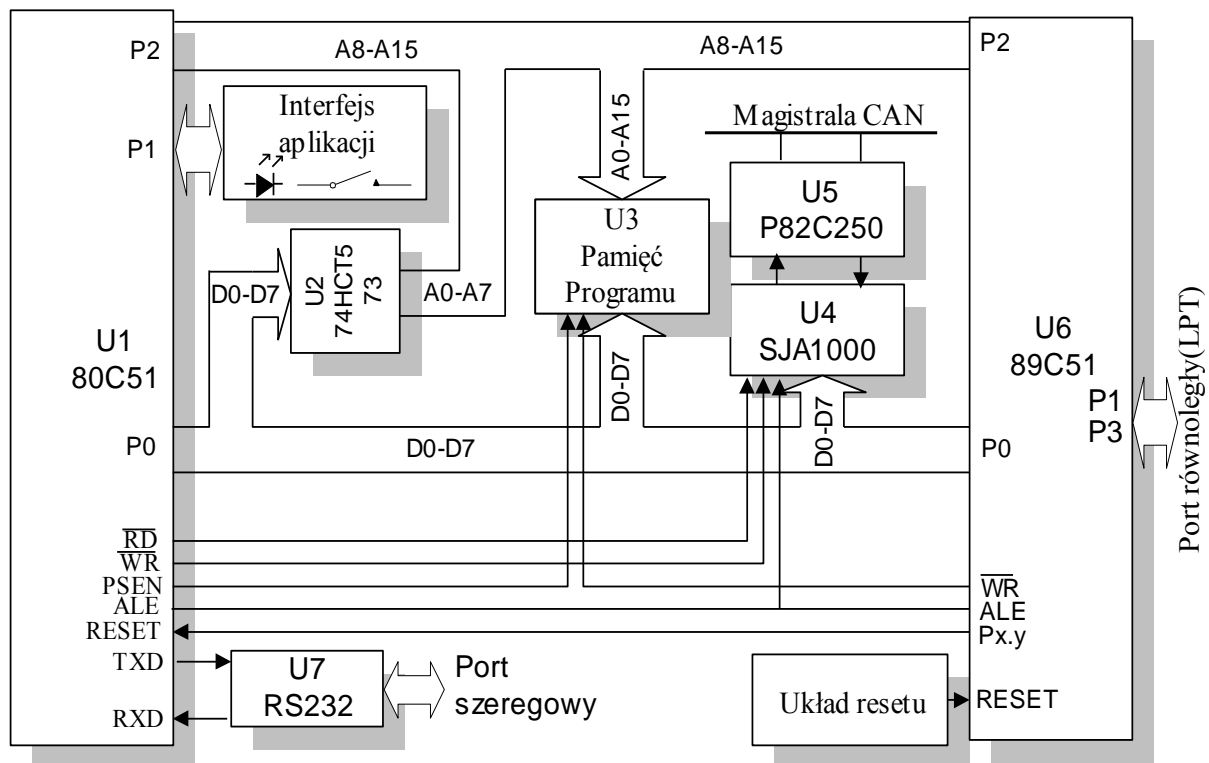
Rys.3. Schemat blokowy układu PCA82C150

Parametry elektryczne obowiązujące podczas transmisji danych wymagają zastosowania dodatkowego układu, pośredniczącego pomiędzy fizyczną magistralą a sterownikiem CAN. Rolę taką spełnia układ PCA82C250. Umożliwia on transmisję danych z szybkością 1 Mboda, posiada zabezpieczenia przed zwarcieniem linii, a także wysoką odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

5. OPIS KONSTRUKCJI

Schemat blokowy końcówki nadrzędnej przedstawiono na rys. 4. Mikrokontroler U1(8051), ośmiobitowy zatrask U2(74HCT573) oraz zewnętrzna pamięć programu U3 (RAM, 64K x 8) stanowią typowy system mikroprocesorowy. Kontroler CAN, U4 (SJA1000), komunikuje się z procesorem poprzez magistralę danych (D0-D7) oraz linie sterujące \overline{RD} , \overline{WR} , ALE . Ze względu na fakt, iż w modelu nie przewidziano dodatkowych urządzeń peryferyjnych, zrezygnowano z dekodera adresów. W ten sposób możliwe było przyłączenie wyprowadzenia \overline{CS} układu U4 na stałe do potencjału masy. Kontroler CAN widziany jest zatem w zewnętrznej pamięci danych jako blok 32 rejestrów rozpoczynający się od adresu, będącego wielokrotnością 32, tj. (0h, 20h, 40h...). Rolę transceivera spełnia układ U5(PCA82C250), pośredniczący pomiędzy warstwą fizyczną a sterownikiem. W omawianym modelu wykorzystano również dodatkowy mikrokontroler U6(AT89C51), wyposażony w 4 KB pamięci programu typu FEEPROM. Program sterujący zapisany w pamięci mikrokontrolera U6 realizuje dwie podstawowe funkcje. Pierwsza z nich umożliwia zapis programu użytkownika do pamięci programu U3. Do komunikacji pomiędzy komputerem klasy PC, na którym tworzone jest oprogramowanie, a modelem magistrali wykorzystano łącze równoległe. Rola U6 sprowadza się zatem do przepisania danej odebranej z portu LPT (D0-D7) do komórki pamięci U3 o adresie wskazywanym przez szesnastobitowy licznik, inkrementacji tego licznika, a następnie wygenerowania odpowiedniego stanu logicznego na liniach sterujących \overline{STR} , \overline{ACK} , $BUSY$. Proces ten trwa do chwili, kiedy czas oczekiwania na

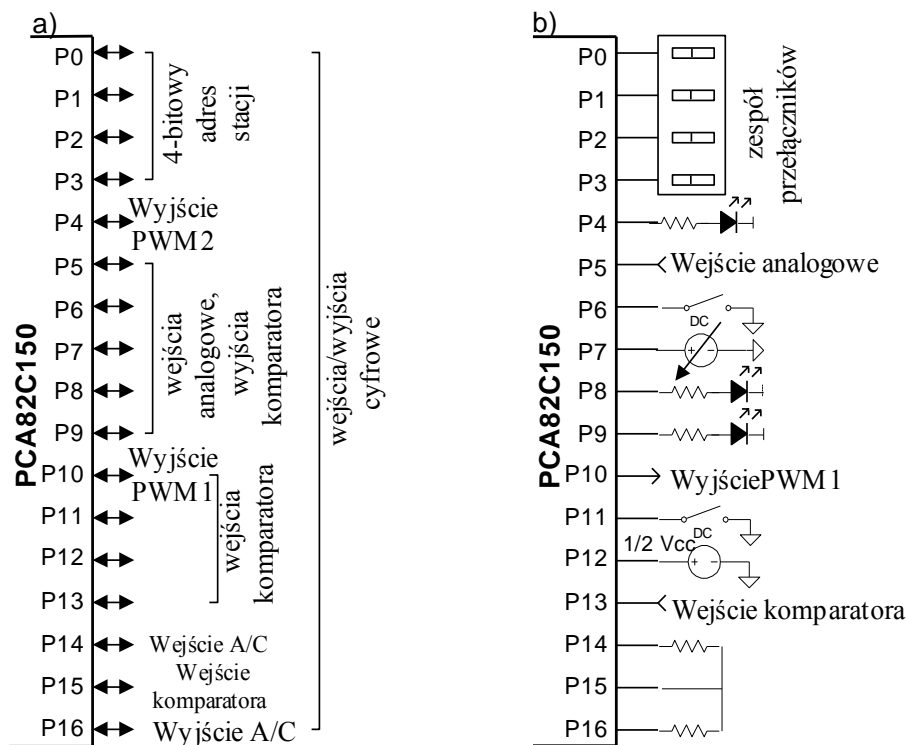
daną przekroczy określoną wartość (w tym przypadku ok. 10 ms). Pozwala to na znaczne skrócenie czasu ładowania, co ma szczególne znaczenie w przypadku transmisji skompilowanych programów o małej zajętości pamięci. Drugą funkcją realizowaną przez mikrokontroler U6 jest sterowanie wyprowadzeniem RESET układów U4(SJA1000) oraz U1(8051). W chwili wykrycia rozpoczęcia transmisji na porcie LPT U6 wymusza na U4 oraz U1 przejście w stan reset (linie adresowe oraz danych przechodzą wówczas w stan wysokiej impedancji), a tym samym przejmuje on kontrolę nad magistralą adresów oraz danych. Umożliwia to zapis odebranej danej do pamięci programu U3. Po zakończeniu transmisji końcówka ALE mikrokontrolera U6 przechodzi w stan wysokiej impedancji, po czym dokonywana jest zmiana poziomu logicznego na wyprowadzeniu RESET układów U1 oraz U4. Tym samym, system mikroprocesorowy zaczyna działać w sposób autonomiczny, realizując program użytkownika. Oprócz portu równoległego, wykorzystywanego do przesyłania oprogramowania, omawiany model może komunikować się z komputerem klasy PC poprzez łącze szeregowe. W związku z tym konieczne było zastosowanie popularnego układu MAX 232 (U7), dostosowującego poziomy napięciowe przyjęte w standardzie RS 232 do poziomów TTL. Rolę interfejsu aplikacji w modelu pełni zespół czterech przycisków oraz czterech diod elektroluminescencyjnych, przyłączonych do portu P1 mikrokontrolera U1. Pozwala to na sygnalizację działania programu oraz kontrolowane przez użytkownika przejście do wykonywania wybranych procedur (np. nadanie ramki, odczyt stanu wybranego portu itp.). Po włączeniu zasilania za zerowanie mikrokontrolera U6 odpowiedzialny jest układ resetu, wykonany w postaci prostego obwodu RC. W urządzeniu, do uzyskania napięcia +5V wymaganego do zasilania części cyfrowej, wykorzystano typowy, monolityczny stabilizator serii 7805, w obudowie TO-220, o maksymalnym prądzie 1A. Ze względu na dopuszczalną moc strat stabilizatora, zaleca się zasilanie układu napięciem stałym 8..12V.



Rys.4. Schemat blokowy stacji nadrzędnej

Podstawowym elementem wchodzącym w skład stacji podrzędnej jest układ PCA82C150. Poszczególne wyprowadzenia, w zależności od potrzeb, mogą pełnić funkcję cyfrowych portów wejścia/wyjścia lub jedną z alternatywnych funkcji, takich jak wejście przetwornika A/C, wyjście PWM, wejście komparatora analogowego. Schemat funkcjonalny oraz sposób konfiguracji układu PCA82C150 pokazano na rys. 5. Porty P0-P3, wykorzystywane do przypisania indywidualnego adresu do układu, przyłączono do zespołu przełączników, wymuszających odpowiednie poziomy logiczne („0” lub „1”). Porty P8,P9 spełniają funkcję wyjść cyfrowych, których stan sygnalizowany jest świeceniem diod LED. Wyprowadzenia P5 oraz P7 skonfigurowano jako wejścia przetwornika A/C. Pierwsze z nich przyłączono do listwy zaciskowej, dzięki czemu możliwy jest pomiar napięcia zewnętrznego źródła sygnału, którym może być np. czujnik temperatury, ciśnienia. W przypadku linii P7 napięcie wejściowe ustalane jest za pomocą potencjometru w zakresie 0..5V. Pierwsze z wyjść typu PWM (P4) wykorzystano do sterowania jasnością świecenia diody LED, drugie z nich (P10) przyłączono do listwy zaciskowej, co pozwala na sterowanie zewnętrznymi urządzeniami lub obserwację generowanego przebiegu na ekranie dołączonego oscyloskopu. Porty P6 oraz P11 pełnią funkcję wejść cyfrowych, których stan logiczny zależy od pozycji w jakich znajdują się przyciski S1 i S2. W celu ilustracji zasady działania komparatora analogowego do jednego z wejść (P12) dołączono dzielnik rezystancyjny ustalający wartość napięcia równą 2.5 V, drugie natomiast wyprowadzono w postaci jednego z zacisków listwy łączeniowej. W ten sposób przypisane portom układu PCA82C150 funkcje pozwalają na komunikację modelu z użytkownikiem (przyciski oraz diody LED), przetworzenie na postać cyfrową sygnału dostarczanego z zewnętrznych czujników, a także na sterowanie układami wykonawczymi.

Oprócz układu PCA82C150 w skład stacji podrzędnej wchodzi opisywany wcześniej transceiver PCA82C250 oraz prosty układ zerowania w postaci obwodu RC. Do zasilania końcówki podrzędnej wykorzystuje się napięcie +5V, dostarczane za pomocą przewodów z zasilacza stacji nadrzędnej.



Rys.5. Schemat funkcjonalny układu PCA82C150 (a) oraz konfiguracja portów przyjęta w modelu (b)

Na uwagę zasługuje fakt, iż element PCA82C150 nie wymaga stosowania zewnętrznego rezonatora kwarcowego, co jest szczególnie korzystne w przypadku urządzeń pracujących w szerokim zakresie temperatur. Zwiększa się w ten sposób niezawodność systemu oraz obniża koszt urządzenia. Czynniki te mają istotne znaczenie przy produkcji wielkoseryjnej, dzięki czemu element PCA82C150 znalazł szerokie zastosowanie w przemyśle samochodowym.

6. OPROGRAMOWANIE

Ważnym kryterium, decydującym o przydatności opisywanego modelu do celów dydaktycznych, jest stworzenie odpowiedniego oprogramowania pozwalającego na szybkie zaznajomienie użytkownika z protokołem wymiany informacji po magistrali CAN. Wychodząc naprzeciw tym wymaganiom, opracowano program demonstracyjny CAN-MON. Program ten, pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Windows, ułatwia zaznajomienie ćwiczącego z zasadami tworzenia ramki oraz sposobem adresowania węzłów sieci.

W skład oprogramowania dołączonego do modelu wchodzi również pakiet funkcji napisanych w języku „C”, realizujących podstawowe operacje, takie jak inicjalizacja mikrokontrolera oraz sterownika SJA 1000, wysłanie oraz odbiór ramki. Korzystając z gotowych funkcji, ułatwiono użytkownikowi proces projektowania części programowej.

6.1 Program demonstracyjny CAN-MON

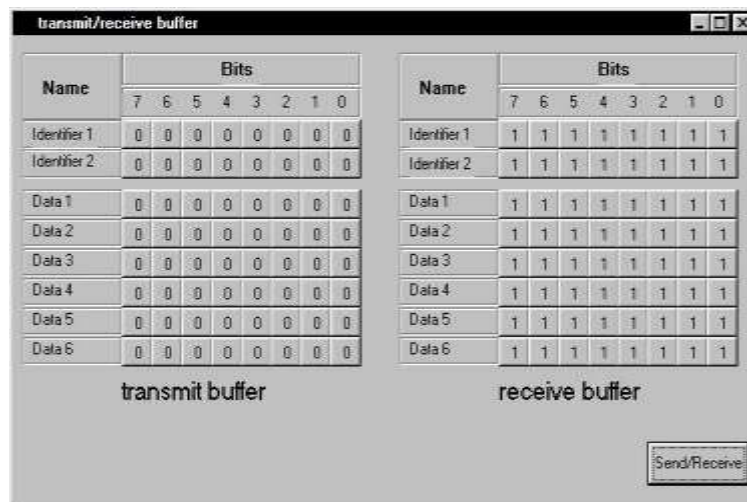
Program demonstracyjny CAN-MON powstał w środowisku Delphi. Przy projektowaniu interfejsu graficznego starano się mieć na uwadze zapewnienie zgodności z pewnymi ogólnie przyjętymi standardami. Dzięki temu użytkownik, przyzwyczajony do korzystania z aplikacji Windowsowych, w krótkim czasie zapoznaje się ze sposobem obsługi. Po uruchomieniu CAN-MON poprzez łącze równoległe ładuje do pamięci stacji nadrzędnej skompilowany wcześniej program sterujący, po czym resetuje mikrokontroler. Na podstawie informacji zawartych w dokumentacji użytkownik ustala zawartość bitową identyfikatora wiadomości, pola kontrolnego oraz pola danych, wchodzących w skład ramki. Następnie, poprzez kliknięcie w odpowiednie pole, ustala się wartość bitu. Po wypełnieniu wszystkich wymaganych pozycji pojedyncze kliknięcie w przycisk „Send/Receive” powoduje przesłanie informacji łączem szeregowym do mikrokontrolera. Po odpowiednim skonfigurowaniu rejestrów sterownika CAN (SJA1000) mikrokontroler inicjuje transmisję, po czym stworzona „wirtualnie” ramka zostaje transmitowana przez magistralę CAN do wybranej stacji podrzędnej. Ponadto, w przypadku otrzymania ramki zwrotnej, jej zawartość zostaje wyświetlona w formacie bitowym na ekranie. Okno dialogowe programu CAN-MON przedstawiono na rys. 6.

6.2 Pakiet funkcji w języku „C”

Mając na uwadze niewątpliwą przewagę języków wyższego poziomu nad podstawowym narzędziem, jakim jest asembler, pakiet podstawowych funkcji wykorzystywanych przy tworzeniu części programowej powstał w języku „C”. Dzięki temu, w znacznym stopniu przyśpieszono proces prototypowania urządzenia. W skład pakietu wchodzi funkcje:

- inicjalizacji mikrokontrolera oraz sterownika CAN z uwzględnieniem wzajemnego połączenia sygnałów sterujących pomiędzy tymi elementami;
- konfiguracji rejestrów sterownika CAN odpowiedzialnych za tryb pracy, prędkość transmisji, sposób filtracji ramek itp.;
- transmisji oraz odbioru ramek;
- inicjalizacji układu PCA82C150.

Korzystając z szeregu dostępnych kompilatorów języka „C”, użytkownik tworzy oprogramowanie realizujące postawione zadanie, po czym za pomocą DOS-owej komendy *COPY nazwa.bin prn /b* przesyła poprzez łącze równoległe program sterujący do pamięci systemu mikroprocesorowego stacji nadrzędnej. Od tej chwili układ zaczyna działać autonomicznie. W zależności od stopnia zaawansowania użytkownika przygotowano kilka zadań, takich jak np. rozproszony system kontrolujący temperaturę w kilku pomieszczeniach, w których umieszczono stacje podrzędne (wykorzystanie przetworników A/C układu PCA82C150). Po przesłaniu poprzez magistralę CAN do stacji nadrzędnej informacji o wartości temperatury w poszczególnych pomieszczeniach, układ podejmuje decyzję o załączeniu pieca, a następnie transmituje do komputera PC dane uaktualniające wskazanie wirtualnych termometrów.



Rys.6. Okno aplikacji programu demonstracyjnego CAN-MON

7. PODSUMOWANIE

Prezentowany model magistrali CAN stanowi w pełni funkcjonalne stanowisko badawczo – laboratoryjne, pozwalające na zapoznanie użytkownika ze sposobem tworzenia sieci oraz podstawowymi wiadomościami dotyczącymi protokołu wymiany informacji. Przy projektowaniu modelu duży nacisk kładziono na zapewnienie jak największej uniwersalności systemu, dzięki czemu istnieje możliwość wykorzystania stanowiska w dwóch wariantach, zarówno jako program demonstrujący (CAN-MON), jak i autonomicznie działająca aplikacja.

8. LITERATURA

- [1] Bosch, CAN Specification Version 2.0. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 1991.
- [2] Philips, Application note SJA1000 Stand-alone CAN controller AN97076, 1997.
- [3] Philips Semiconductors. Semiconductors for in-car electronics. Data handbook IC18. Philips Electronics N.V., 1997.

LABORATORY MODEL OF CAN NETWORK

Abstract: The Controller Area Network (CAN) is a serial communications protocol which efficiently supports distributed real-time control with very high level of security. It was initially developed for the use in motor vehicles by Robert Bosch GmbH, Germany, in the late 1980s. Apart from motor vehicles, other applications for CAN are industrial automation, medical equipment, building automation, household appliances. The CAN based network model for laboratory demonstration is a versatile tool being a ready-to-use hardware and software module, supports “learning about CAN” and assists in prototyping of networks.

Recenzent: dr hab. inż. Zdzisław FILUS, prof. Politechniki Śląskiej